

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко-технологічний факультет**

**ПОГОДЖЕНО**  
Декан механіко-  
технологічного факультету  
Професор, д.т.н.

\_\_\_\_\_ **Братішко В.В.**  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри сільськогосподарських  
машин та системотехніки ім. акад.  
П.М. Василенка, доцент к.т.н.  
\_\_\_\_\_ **Гуменюк Ю.О.**  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**на тему “Обґрунтування параметрів і режимів роботи роторно-лопатевого  
розподільного робочого органу машин для внесення органічних добрив”**

Спеціальність 208 "Агроінженерія"

Магістерська програма освітньо–професійної спеціалізації - Оптимізація  
процесів параметрів і режимів роботи сільськогосподарської техніки

**Гарант освітньої програми:**

Доктор технічних наук, професор \_\_\_\_\_ Вячеслав Братішко  
(підпис)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:**

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Борис Онищенко

**Виконав** \_\_\_\_\_ Олександр РУБІС

Київ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко-технологічний факультет**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри  
сільськогосподарських машин та  
системотехніки ім. акад.**

**П.М.Василенка**

**\_\_\_\_\_ Гуменюк Ю.О.**

**“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року**

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

**Рубіс Олександр**

**Спеціальність 208 «Агроінженерія»**

**Магістерська програма освітньо–професійної спеціалізації -  
Оптимізація процесів параметрів і режимів роботи сільськогосподарської техніки**

**Тема роботи “ Обґрунтування параметрів і режимів роботи роторно-  
лопатевого розподільного робочого органу машин для внесення органічних  
добрив ”**

**Затверджена наказом вищого навчального закладу від 13.11. 2024 р. № 2038 “С”**

**Термін подання студентом роботи 10.11.2025 р.**

- 3. Вихідні дані до роботи: Технології та машини для внесення органічних добрив.**
- 4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань які необхідно розробити).**
  - 1. Огляд технологічних процесів та машин для внесення органічних добрив.**
  - 2. Обґрунтування конструкції та функціональної схеми удосконаленої**

машини для внесення органічних добрив.

3. Експериментальні визначення робочої ширини захвату експериментальної машини та визначення енергетичної оцінки розробленої конструкції барабана.

5. Економічна ефективність.

Висновки, список використаної літератури, додатки.

5. Перелік листів графічного матеріалу:

Слайд 1. Титульна сторінка. Слайд 2. Мета роботи

Слайд 3. Технології. Слайд 4. Конструктивно-технологічна схема машини з роторним розкидальним барабаном.

Слайд 5. Розрахунок параметрів машини. Слайд 6. Роторний розкидальний барабан.

Слайд 7. Результати експериментальних досліджень роторного барабана.

Слайд 8. Робочі органи барабана. Слайд 9,10. Графіки.

Слайд 12. Економічні показники. Слайд 13. Висновки.

5. Дата видачі завдання 10.09.2024р.

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_ Онищенко Б. В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Рубіс О.

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, додатків та списку використаних джерел. Загальний об'єм складає 91 аркуш машинописного тексту. Текст роботи вміщує 10 таблиць та 42 рисунка. Список використаних джерел містить 46 найменувань, у тому числі 3 іноземними мовами.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** машина для внесення органічних добрив, роторно-лопатевий розподільник, робоча ширина захвату, економічна ефективність.

## ЗМІСТ

	С.
РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	5
1 СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ВНЕСЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ .....	7
1.1. Актуальність та способи внесення органічних добрив.....	7
1.2. Напрямки розвитку технічних засобів для внесення органічних добрив.....	9
1.4. Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу внесення органічних добрив.....	13
1.5. Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми навісного модуля до розкидача органічних добрив .....	19
1.6. Висновки по розділу і задачі досліджень.....	
2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
2.1. Експериментальна установка та принцип її роботи.....	
2.3. Методика експериментальних досліджень.....	30
2.4. Методика проведення польових випробувань.....	
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1. Фізико-механічні властивості технологічного матеріалу.....	31
3.2. Результати експериментальних досліджень розподільного органа.....	35
3.3. Результати польових випробувань.....	42
3.5. Визначення споживаної потужності агрегату протягом одного циклу.....	45
4. Економічна ефективність використання машини для внесення органічних добрив.....	50
4.7. Висновки по розділу.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	54
ДОДАТКИ .....	57

## ВСТУП

Збереження і підвищення родючості ґрунтів є одною з важливих умов стабільного розвитку сільського господарства України. Значна роль у відтворенні родючості ґрунтів і стабілізації запасів гумусу належить органічним добривам. За період 1990-2011 рр. в аграрному секторі України відбулися значні зміни. Змінилась структура і розміри аграрних підприємств. Водночас відбувалося зменшення поголів'я тварин, що призвело відповідно до зменшення майже в 10 разів об'ємів нагромадження органічних добрив. Щоб компенсувати дегуміфікацію ґрунтів в Україні, необхідно щорічно вносити 330-350 млн. тонн органічних добрив, або в середньому 10-11 т/га. Проте згідно статистичних даних об'єми внесення органічних добрив менші від потреби і становлять 0,8 т/га. Тому в останній час для підтримки родючості ґрунту застосовують концентровані органічні добрива на основі пташиного посліду.

**Актуальність роботи.** При створенні технічних засобів для внесення органічних добрив однією з найголовніших задач є забезпечення рівномірного розподілу добрив по поверхні удобрюваного поля, особливо це стосується концентрованих, швидкодіючих, біологічно активних добрив. Від ступеня рівномірності розподілу добрив залежить економічна ефективність їх застосування і якість сільськогосподарської продукції. Для внесення концентрованих, швидкодіючих і активних органічних добрив не можна застосовувати машини з вертикальними або горизонтальними барабанами, оскільки мінімальна доза внесення в цих розкидачах становить 15 т/га. Машини з дисковими розподільчими органами мають велику ширину захвату і високу нерівномірність внесення, що призводить до необхідності великого перекриття суміжних проходів, та збільшення енергоємності процесу внесення. Машини, обладнані роторно-лопатеvim розподільним робочим органом з горизонтальною віссю обертання для бокового внесення, здатні вносити всі види органічних добрив (дефекат, пташиний послід, ферментовані органічні добрива з біологічно

активними компонентами) з дозою до 2 т/га, з найменшою шириною перекриття суміжних проходів за рахунок кращого розподілу добрив по загальній ширині захвату. Тому є потреба в розробці вітчизняних технічних засобів з роторно-лопатовими робочими органами бокового внесення органічних добрив, які зможуть забезпечити мінімальні дози.

**Мета роботи** – підвищення ефективності застосування органічних добрив завдяки покращеному розподілу шляхом обґрунтування раціональних параметрів розподільного роторно-лопатевого робочого органу до розкидачів органічних добрив.

**Задачі досліджень:**

- провести аналіз процесу та способів внесення твердих органічних добрив
- встановити експериментальну залежність нерівномірності внесення добрив та ширини захвату від змінних параметрів роторно-лопатевого робочого органу;
- визначити техніко-економічні показники роботи машини в виробничих умовах.

# 1. СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ВНЕСЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1. Актуальність та способи внесення органічних добрив

Однією з умов підвищення врожайності сільськогосподарських культур є раціональне застосування органічних добрив при інтенсивних та енергозберігаючих технологіях вирощування сільськогосподарських культур, адже за рахунок достатнього внесення в ґрунт органічних добрив одержують близько 50% загального приросту врожаю [14]. Внесення органічних добрив – це найважливіший спосіб збагачення ґрунту на органічну речовину, яка здатна перетворюватись у гумус. При системному внесенні органічних добрив збільшується кількість органічної речовини (гумусу) в ґрунті [11,29]. Проте вплив органічних добрив на підвищення родючості ґрунтів визначається не тільки наявністю в їх складі поживних речовин, але й впливом корисних мікроорганізмів органічної речовини, що є в добривах, а також і на фізичні властивості ґрунту та їх біологічну активність [14].

У сільськогосподарських підприємствах для поповнення вмісту органічної речовини в ґрунті часто використовують незернову частину врожаю (солому, полову тощо). У соломі в середньому міститься близько 0,5% азоту, 0,25% фосфору а також інші елементи, необхідні для розвитку сільськогосподарських рослин. Солома містить також від 35% до 40% вуглецю у формі різних органічних сполук і є джерелом для утворення гумусу та вуглекислоти. Але при використанні соломи в якості органічних добрив необхідно втрати азоту компенсувати внесенням його у вигляді мінеральних добрив [1,16,46]. Треба врахувати і те, що солома підвищує кислотність ґрунту на 0,1 Рн, а додавання до неї перед загортанням у ґрунт аміачної селітри відповідно підвищує на 0,3-0,4 Рн [43].

За останнє десятиріччя в Україні спостерігається зменшення об'ємів і норм внесення органічних добрив (рис. 1.1).

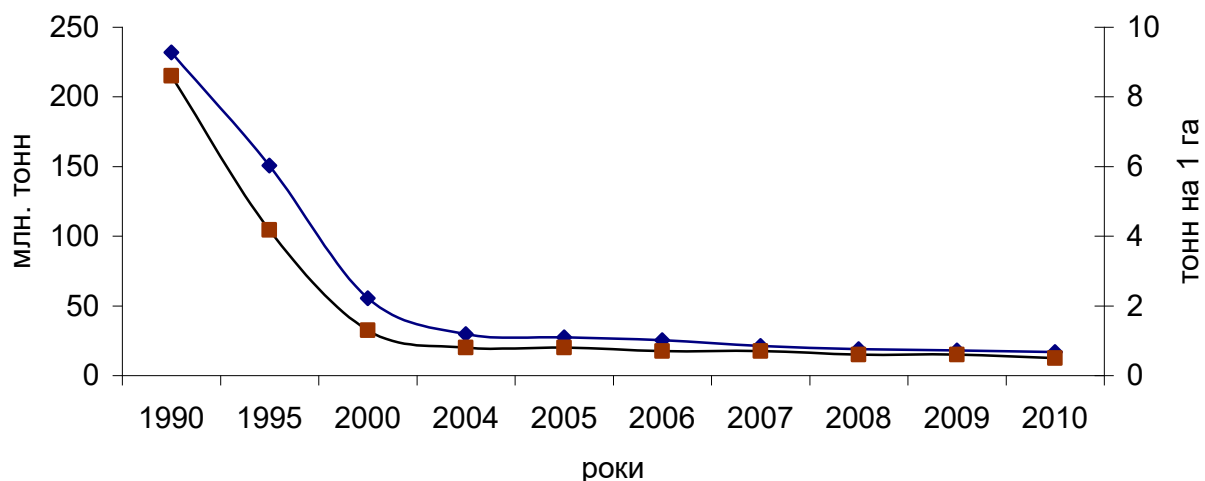


Рис. 1.1. Динаміка застосування органічних добрив:

- внесено на 1 га посівної площі, тонн;
- ◆— внесено органічних добрив, млн. тонн

Без внесення органічних добрив щорічні втрати гумусу становлять від 0,5 до 1 т/га, внаслідок чого прискорюється деградація ґрунту [3]. Крім того при цьому збільшуються площі кислих ґрунтів, оскільки органічні добрива є одним із головних чинників стабілізації рН сольового ґрунтового середовища. Площа кислих ґрунтів в Україні налічує близько 3,5 млн. га. В умовах Західного лісостепу України практично всі ґрунти, що перебувають у використанні, належать до групи сильно-, середно- і слабо кислих ґрунтів. Дані ґрунти більше піддаються процесу ущільнення орного шару, зменшенню пористості, порушення повітряно-водного режиму та підвищенню вірогідності ерозійного процесу. Такі ґрунти менш стійкі до ущільнення під дією коліс енергонасиченої техніки, погано реагують на процеси перезволоження і втрати вологи, а також важко піддаються обробітку ґрунтообробними знаряддями [24,30,43]. В той же час внесення органічних добрив з високим вмістом протеїну (пташиний послід тощо) завдяки високому вмісту кальцію нейтралізує кислотну реакцію ґрунту на 0,1–0,3 рН [23,43].

Основне і найбільш цінне органічне добриво – це підстилковий гній. Вміст поживних речовин у ньому залежить від ступеня його розкладу та виду тварин. Гній містить у своєму складі всі елементи, необхідні для живлення рослин. У гної

міститься в середньому близько 0,5-0,7% азоту, 0,6% калію, 0,5% кальцію, 0,35% фосфору, а також значна кількість інших речовин, необхідних для розвитку рослин. Враховуючи тенденцію до зменшення поголів'я великої рогатої худоби як основного джерела отримання добрив, відповідно зменшилися об'єми нагромадження гною в Україні згідно статистичних даних до 2 т/га при потребі 8-12 т/га.

За останнє десятиріччя із введенням сучасних птахокомплексів збільшилося поголів'я птиці, відповідно зростає з кожним роком і вихід пташиного посліду (рис 1.2).

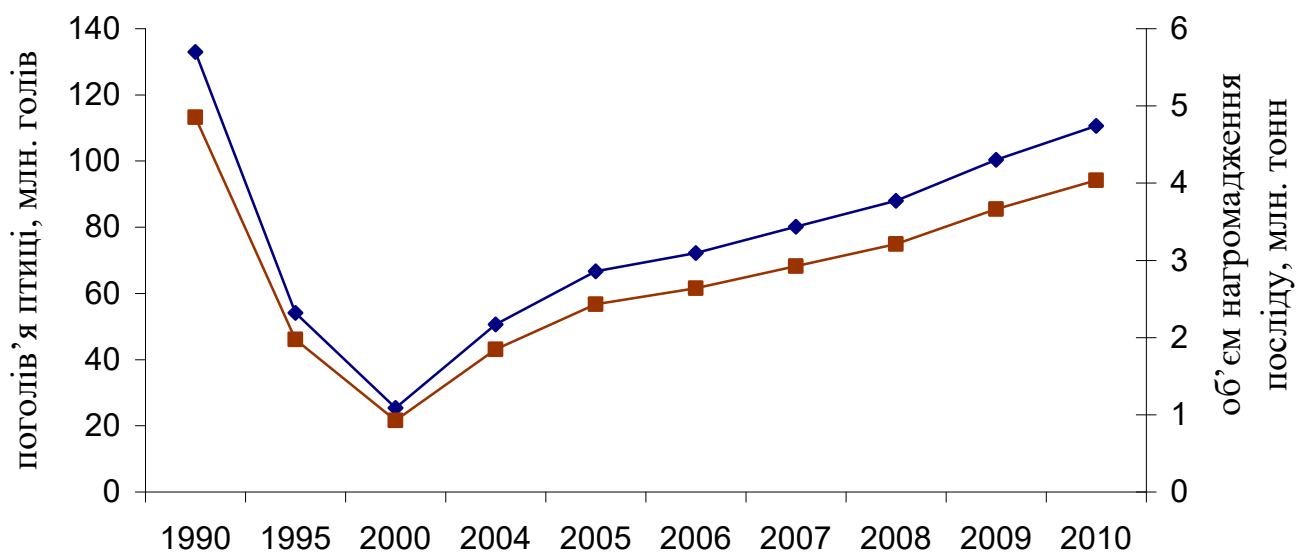


Рис. 1.2. Динаміка поголів'я птиці та об'єми нагромадження пташиного посліду:

- ◆ об'єм нагромадження посліду, млн. тонн;
- поголів'я птиці, млн. голів

На птахокомплексах України щороку нагромаджується близько 4,7 млн. тонн посліду, а разом з цим зростає проблема його утилізації. Один із способів утилізації є використання посліду в якості органічних добрив, що дає можливість підтримати родючість ґрунтів в умовах зниження об'ємів нагромадження гною. Пташиний послід – це концентроване, швидкодіюче, активне і найбільш цінне органічне добриво, придатне для підживлення майже всіх сільськогосподарських

культур [14,29,43]. Оптимальні норми внесення сухого посліду під зернові культури становлять 2,5–3 т/га, під просапні - 4–5 т/га. Норма внесення вологого підстилкового посліду під багаторічні, злакові трави та просапні культури - 8-10 т/га, під зернові - 4-6 т/га. Вносити послід у нормах, що перевищують оптимальні, не можна через зниження коефіцієнту використання поживних речовин, збільшення втрати азоту, зростання загрози хімічного і бактеріального забруднення навколишнього середовища. Пташиний послід як висококонцентроване добриво необхідно вносити рівномірно. При нерівномірному внесенні утворюються зони з високою концентрацією добрив, що призводить до пригнічення і загибелі рослини [5,14,24].

Під час внесення органічних добрив у малих дозах до розкидачів органічних добрив висуваються підвищені вимоги до якості розподілу по поверхні ґрунту. Тверді органічні добрива вносять поверхнево за допомогою кузовних розкидачів органічних добрив і розкидачів із куп. Забезпечити внесення малих доз можливо лише кузовними розкидачами. Розкидачі органічних добрив, які здатні якісно внести добрива в малих дозах по поверхні ґрунту, представлені широкою гаммою машин закордонного виробництва. Вітчизняні розкидачі органічних добрив нездатні забезпечити якісний розподіл добрив при нормах внесення менше ніж 15 т/га. Для зменшення витрат на придбання нових розкидачів органічних добрив доцільно використовувати наявні в господарствах машини, модернізуючи їх шляхом дообладнання змінними модульно–адаптивними робочими органами для внесення органічних добрив у малих дозах. Завдяки цьому можна вдосконалити кузовний розкидач, використовувати базову машину в більшому обсязі робіт, збільшити річний наробіток та зменшити капіталовкладення [24].

В залежності від віддаленості місць зберігання добрив до поля, де буде проводитися внесення добрив, а також наявної техніки для виконання робіт існує перевалочний та прямоточний способи внесення органічних добрив [13,18]. При прямоточному способу добрива накопичуються в прифермерському гноєсховищі. Транспортують їх від місць зберігання до поля і вносять на поверхню ґрунту без буртоутворення для зберігання. При перевалочному способу, який найбільш

розповсюджений у господарствах, добрива накопичуються на прифермерському майданчику, потім періодично вивозяться на край поля, а в деяких випадках безпосередньо на поле і вкладають у бурти для зберігання до моменту їх внесення. Для доставки добрив від місць зберігання до поля раціонально використовувати технічні засоби підвищеної вантажопідйомності. Бурти формують на краю поля, підготувавши заздалегідь ділянку. Розмір одного бурта формують з розрахунку внесення на 5 га [38,39]. При внесенні добрив по перевалочній технології агрегати рухаються перпендикулярно ряду буртів.

Заробку органічних добрив у ґрунт виконують ґрунтообробними знаряддями загального призначення, дотримуючись агротехнічних вимог [29,42].

Таким чином, необхідно створити технічні засоби у вигляді навісних модулів з відповідними робочими органами до серійних машин для якісного внесення органічних добрив на поверхню ґрунту з дозою від 2-10 т/га.

Дотримуючись технологічного процесу внесення органічних добрив, можна максимально збільшити процес накопичення гумусу із органічної сировини в ґрунті та підвищити врожайність сільськогосподарських культур.

## **1.2. Напрямки розвитку технічних засобів для внесення органічних добрив**

Одним із основних критеріїв підбору комплексу машин для внесення добрив є затрати на придбання або модернізацію сільськогосподарських агрегатів.

При внесенні швидкодіючих, активних органічних добрив виникає проблема в технічному забезпеченні засобами для якісного внесення їх на поверхню ґрунту. В даному напрямі вітчизняне машинобудування не забезпечує належними технічними засобами. Іноземні технічні засоби мають досить високу вартість. Необхідно врахувати, що для агрегування більшості з них необхідні спеціальні енергетичні засоби, що призводить до додаткових витрат та обмежує бажаних їх придбати. Саме тому є необхідність у дослідженні та розробці модульно-адаптивних технічних засобів для внесення органічних добрив у малих

дозах, використовуючи за базову машину серійні вітчизняні розкидачі органічних добрив.

Технічні засоби для внесення органічних добрив повинні забезпечити якісне їх подрібнення та розподіл по поверхні поля. Основні їх властивості, які впливають на ефективність роботи робочих органів машини під час внесення, є щільність, вологість, сила внутрішнього та зовнішнього тертя, швидкість витання частинок органічних добрив. Щільність залежить від підстилкового матеріалу та його вологості. Вона коливається в межах від 400 до 1100 кг/м<sup>3</sup>. Вологість твердих органічних добрив становить 40-80% [22]. Сили внутрішнього та зовнішнього тертя характеризуються коефіцієнтом тертя, який впливає на рух частинок по робочих поверхнях. З'ясовано, що з підвищенням вологості до 75% збільшується коефіцієнт тертя [4,33]. Без урахування аеродинамічних властивостей, під час розробки та проектування робочих органів, це призводить до вибору помилкових параметрів машини, що негативно відображається на якості роботи. Коефіцієнт парусності розраховується по критичній швидкості витання, яку визначають переважно експериментально. Швидкість витання частинок також залежить від розмірів і вологості [33].

Розробкою і виготовленням розкидачів твердих органічних добрив займається безліч фірм. У європейських країнах їх понад 32., в США – понад 20 [7,21,43,44,46]. Найбільш відомі з них: „Bergmann”, „Pottinger”, „Massey Ferguson”, „Agrams”, „Kaweco”, „Tim”, „John Deere”, „Kemper” та інші. Майже в усіх конструкціях машин для внесення твердих органічних добрив подавальним робочим органом слугує ланцюгово-планчастий транспортер з планками різного профілю. Привод транспортера здійснюється багатоступеневим редуктором, що має реверс і механізм зміни частоти обертання вихідного вала редуктора.

Для розподілення добрив по поверхні поля в розкидачах вітчизняних і зарубіжних фірм застосовують розподільні робочі органи чотирьох типів [7,30,458]:

- дискові;

- роторно-лопатеві, барабанно-шнекові органи з горизонтальною віссю обертання;
- барабанно-лопатеві, барабанно-шнекові органи з вертикальною віссю обертання;
- ланцюгово-фрезерні.

Розкидачі органічних добрив з дисковими розподільними органами представлені широко гамою машин іноземного виробництва таких провідних європейських виробників, як Hawe, Annaburger, Bergmann та інші [45]. На рисунку 1.3 представлено розкидач фірми Bergmann TSW 2016 S.

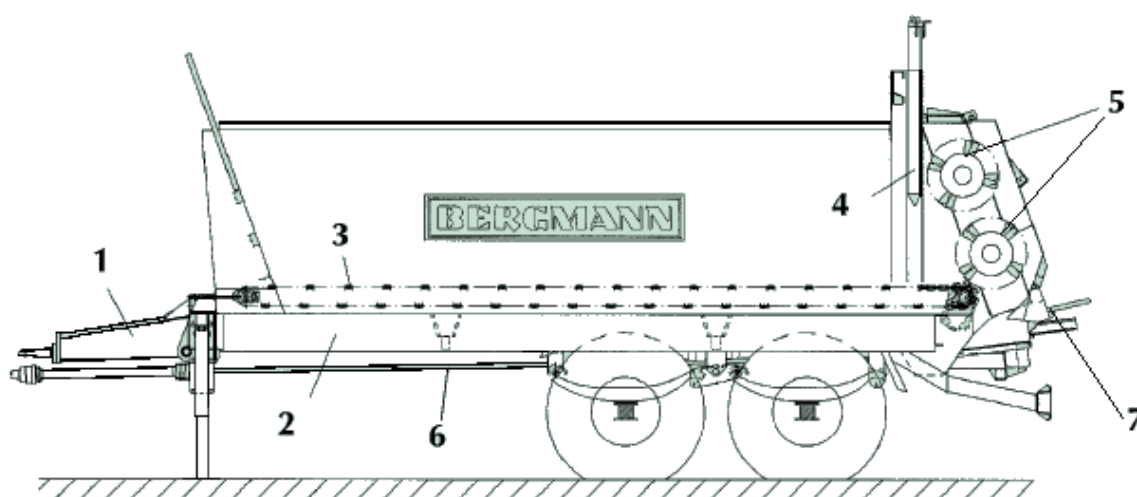


Рис. 1.3. Схема розкидача органічних добрив Bergmann TSW 2016 S:

- 1- дишло; 2- кузов; 3- ланцюгово-планчастий транспортер; 4- гідроборт;  
5- фрезерувальні барабани; 6- кардан приводу; 7- дисковий робочий орган.

Органічні добрива, які знаходяться в кузові 2, подаються до двох фрезерувальних барабанів 5 за допомогою ланцюгово планчастого транспортера 3. Потім подрібнена маса добрив надходить на дискові розподільні органи 7. Привод фрезеруючих барабанів та дискового робочого органу від ВВП трактора за допомогою кардана 6, ланцюгово-планчастий транспортер від гідросистеми трактора. За даним принципом працюють майже всі розкидачі органічних добрив з дисковими розподільними органами. Зміна в схемі конструкції може полягатися

в додатковому третьому фрезерувальному барабані для розкидачів з підвищеною вантажопідйомністю [ 45 ].

До переваг дискових робочих органів можна віднести велику загальну ширину захвату, яка становить близько 20 м, тому даного типу робочі органи використовуються лише на розкидачах, вантажопідйомність яких перевищує 17 тонн. До недоліків необхідно віднести велику нерівномірність внесення, що потребує перекриття половини ширини розподілу добрив, невелика швидкість руху агрегату по полю та велика їх вартість.

Розкидачі органічних добрив з горизонтально встановленими барабанно-шнековими робочими органами набули широкого розвитку як закордоном, так і у вітчизняному машинобудуванні. Вітчизняні зразки представлені розкидачами ПРТ-10, ПРТ-16, МТТ-23 [33]. Іноземні розкидачі також представлені широкою гамою машин, вантажопідйомність яких не перевищує 9 тонн [43]. На рисунку 1.4 представлено схему розкидача з горизонтально розміщеними барабанами.

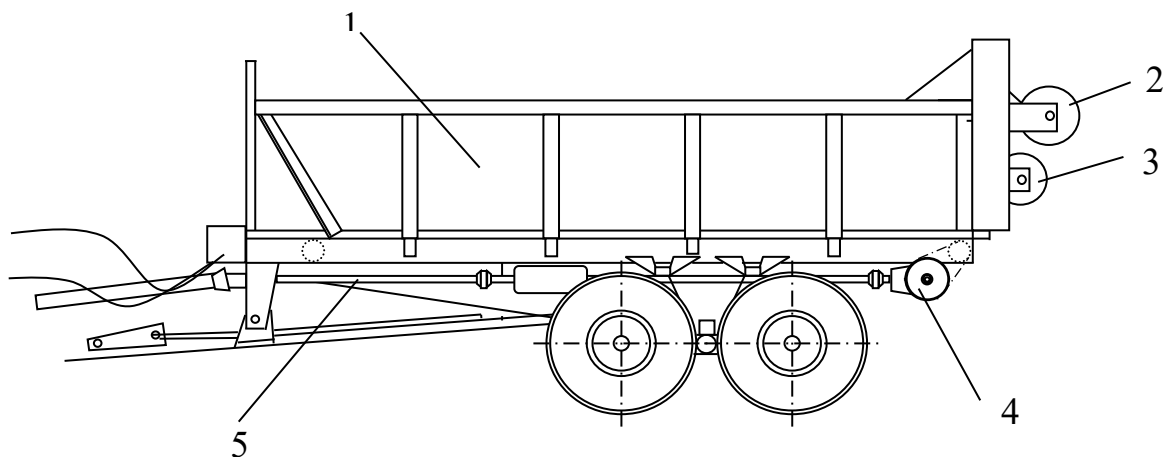


Рис. 1.4. Схема розкидача органічних добрив з горизонтально встановленими барабанно-шнековими робочими органами:

1 – кузов; 2 – розподільний барабанно-шнековий робочий орган; 3 – подрібнювальний-шнековий орган; 4 – приводний редуктор; 5 – кардан приводу редуктора

Органічні добрива, які знаходяться в кузові 1, подаються до подрібнювального шнекового органу 3. Потім подрібнена маса добрив надходить

на барабанно-шнековий розподільний орган 2. Привод подрібнювального барабана та барабанно-шнекового розподільного робочого органу приводиться в дію від редуктора 4 за допомогою кардана 5. Недоліком розкидачів даного типу є те, що мінімальна норма внесення становить 20 т/га [28], тому використання даних розкидачів неможливе для внесення малих доз органічних добрив.

Останнім часом випускаються розкидачі з вертикально встановленими барабанно-шнековими робочими органами, які встановлені в задній частині кузова, кількість їх становить 2 або 4.

На рисунку 1.5 представлено розкидач з двома вертикально встановленими барабанами. Органічні добрива, які знаходяться в кузові 1, подаються ланцюгово-планчастим транспортером 3 до барабанних розподільних органів 2, котрі одночасно подрібнюють і розподіляють їх по поверхні поля. Недоліком розкидачів з вертикально встановленими робочими органами є велика нерівномірність по ширині захвату та нездатність вносити добрива менше 25 т/га [44].

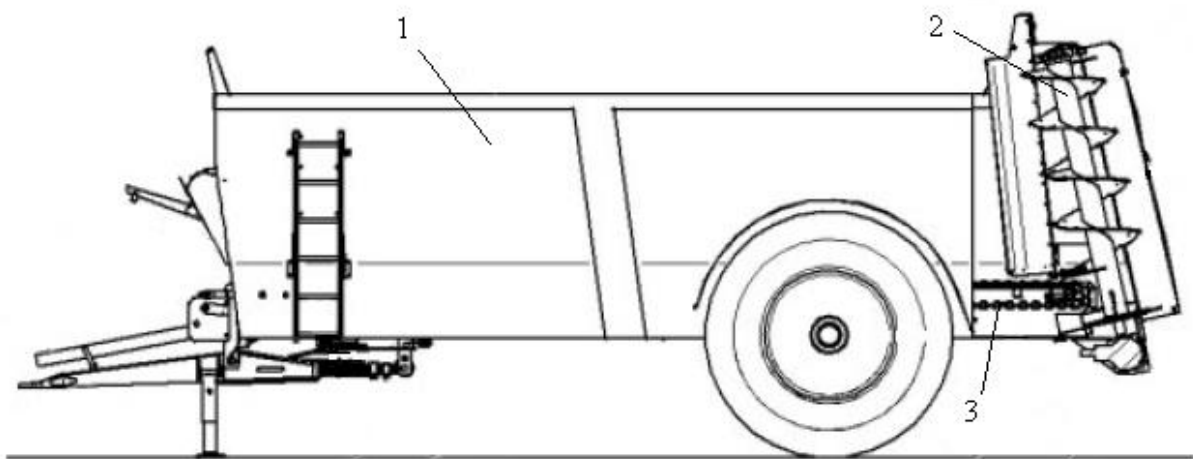


Рис. 1.5. Схема розкидача Jeantil EVR 16-12 з двома вертикально встановленими барабанами:

1 – кузов, 2 – вертикально встановлені розподільні барабани, 3 – ланцюгово-планчастий транспортер

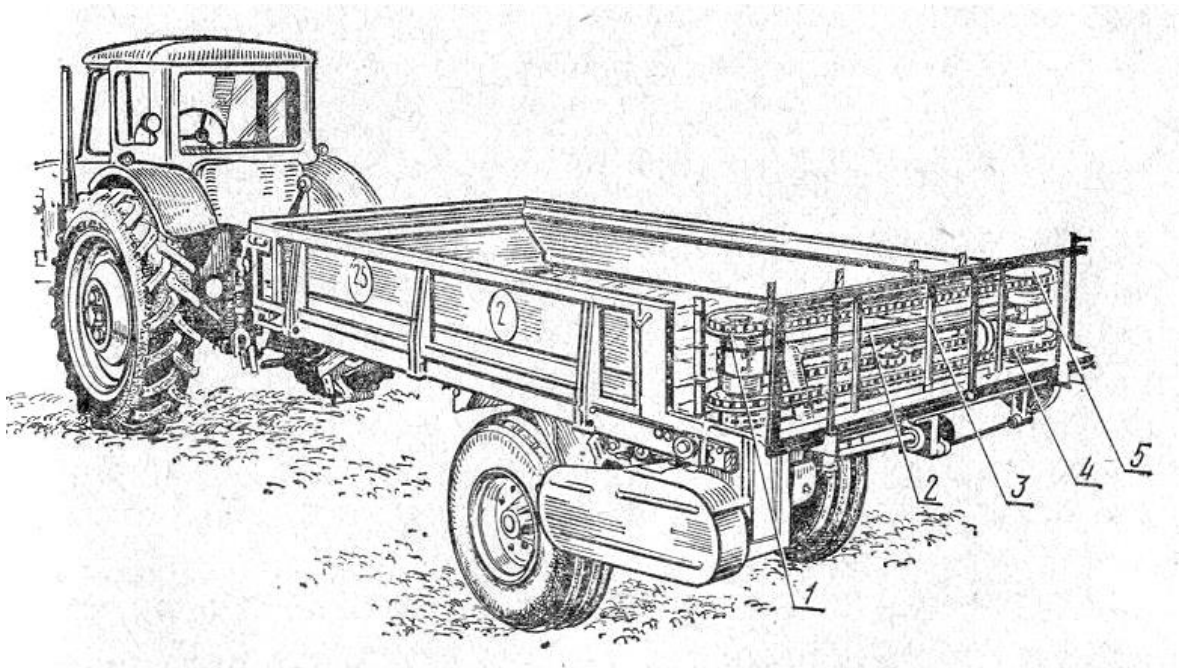


Рис. 1.6. Розкидач органічних добрив РСШ-6 з ланцюгово-фрезерним робочим органом:

1 – ведучий вал розподільного пристрою, 2 – рама розподільного пристрою, 3 – механізм приводу ланцюгів, 4 – ланцюг, 5 – вал ведений розподільного пристрою

Розкидачі органічних добрив з ланцюгово-фрезерним робочим органом призначені для поверхневого розподілу під крону дерев у садах. Даний тип робочого органу не знайшов широкого розвитку. Вітчизняне машинобудування випускало розкидач РСШ-6 (рис. 1.6).

Органічні добрива, які знаходяться в кузові, подаються транспортером – живильником до ланцюгово – фрезерного робочого органу. Добрива, захоплені скребком, подаються до вікна. Ширина розподілу не перевищує 6 м.

Також промисловість пропонує розкидачі з роторно-лопатевими робочими органами, які переважно призначені для бокового внесення добрив по поверхні поля. Вітчизняне машинобудування випускало низькорамний розкидач РПН-4 з боковим розподілом добрив по поверхні ґрунту. На розкидачі добрива подаються транспортером, який знаходиться на днищі кузова. Робочий розподільний орган встановлений вздовж всієї довжини кузова. Ширина розподілу добрив становить

14 м [22,32]. Іноземні виробники також випускають розкидачі органічних добрив з боковим викидом. Найбільш розповсюдженими розкидачами є Gafner 5.5 A-Vario та Kuhn 8100 [44]. На рисунку 1.6 представлено розкидач Kuhn 8100, а на рисунку 1.7 схема розкидача Gafner 5.5 A-Vario

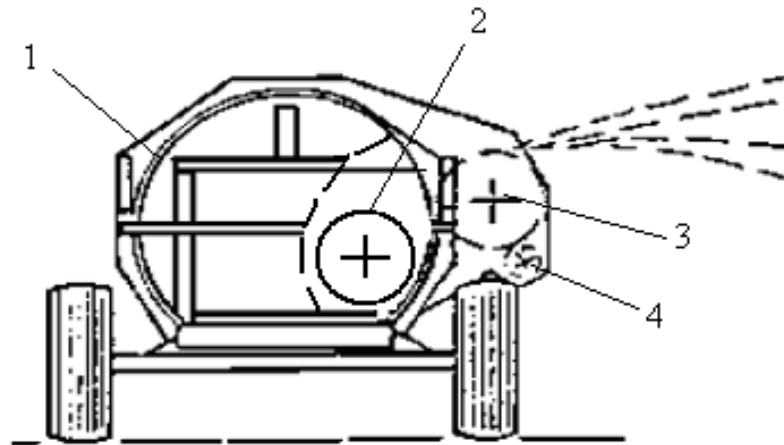


Рис. 1.7. Схема розкидача Gafner 5.5 A-Vario з боковим викидом:

1 – кузов, 2 – подавальний шнек, 3 – розподільний робочий орган,  
4 – обмежувальний барабан

Органічні добрива, які знаходяться в кузові розкидачів Gafner 5.5 A-Vario, подрібнюються та подаються одним або двома шнеками до вивантажувального вікна, яке розташоване, в передній частині кузова. Розподільний робочий орган, роторно-лопатевого типу, розташований в зоні вивантажувального вікна та призначений для бокового викиду. Для запобігання просипанню матеріалу між викидним ротором та днищем у розкидачі Gafner 5.5 A-Vario встановлено обмежувальний барабан. Як вказано в проспектах та в інструкції з експлуатації, дані розкидачі можна використовувати в якості кормороздавачів.

### **1.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу внесення органічних добрив**

Якість робіт по внесенню органічних добрив залежить головним чином від їх фізико-механічних властивостей, досконалості функціональної схеми машини, обладнання агрегату, контрольно-вимірювальних пристроїв, технічного стану,

вибраних режимів роботи та ряд інших факторів, котрі впливають на якість виконання роботи. Всі розкидачі органічних добрив виконують розподілення за металним принципом, тож існують поняття загальної ширини захвату  $B_0$  і робочої ширини захвату  $B_p$ . Характерною ознакою епюр є занадто нерівномірний розподіл добрив на загальній ширині захвату. Епюри (рис 1.8-1.12) розподілу добрив незалежно від типу робочих органів мають однаковий характер [43]. Добрива розподіляються симетрично відносно осі, яка проходить через поздовжню вісь агрегату. Наявність впадин у центрі епюр і симетричних спадних віток по краях зумовлює зміну нерівномірності по загальній ширині захвату від 34% до 56%, а в окремих випадках і до 86,6% [31].

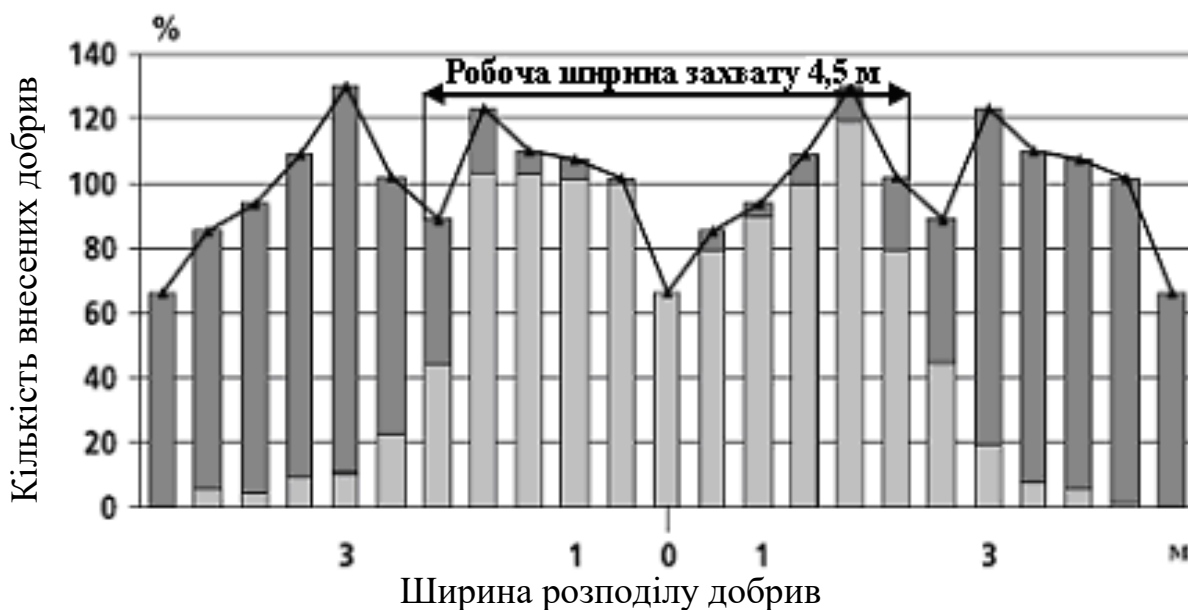


Рис. 1.8. Гістограма розподілу добрив горизонтально розташованими барабанно-шнековими робочими органами розкидача Jeantil EP 2060 Eprandor-2 з нормою внесення 25 т/га

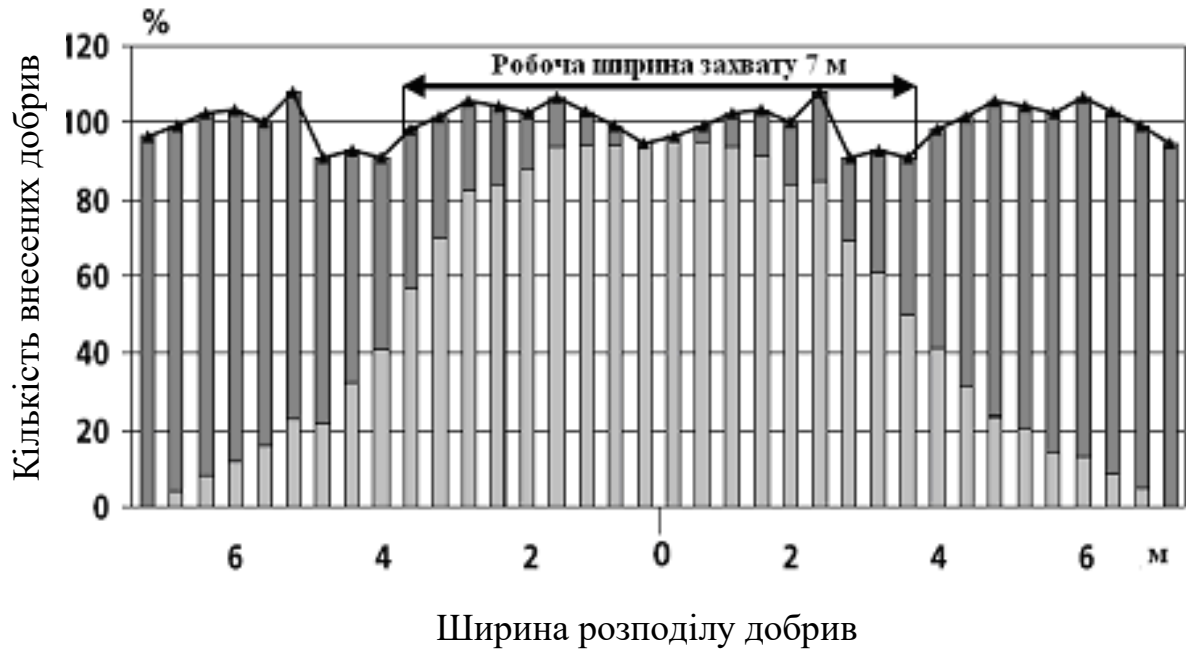


Рис. 1.9. Гістограма розподілу добрив чотирма вертикально розташованими барабанно-шнековими робочими органами розкидача Bergmann M 700 SX з нормою внесення 25 т/га



Рис. 1.10. Гістограма розподілу добрив дисковими робочими органами розкидача Jeantil EP 2060 Erandor-3 з нормою внесення 25 т/га

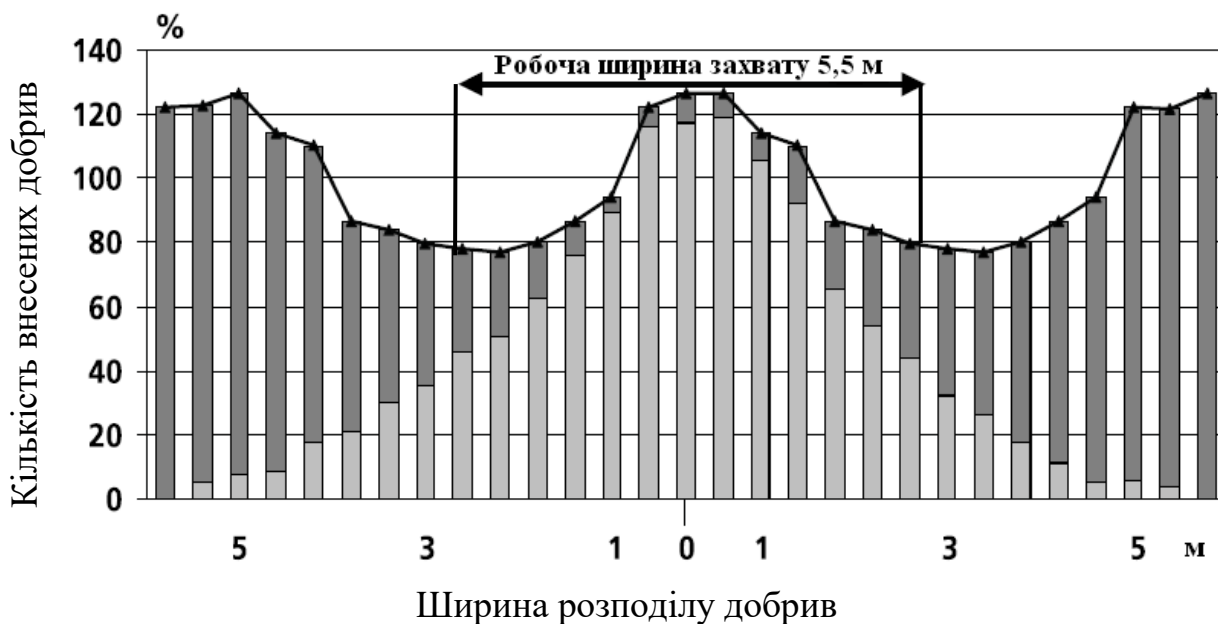


Рис. 1.11. Гістограма розподілу добрив двома вертикально розташованими барабанно-шнековими робочими органами розкидача Jeantil EVV 1000 Erandor-5 з нормою внесення 25 т/га



Рис. 1.12. Гістограма розподілу добрив горизонтально розташованими робочими органами розкидача для бокового внесення Gafner 5.5 A-Vario з нормою внесення 25 т/га

Щоб знизити нерівномірність розподілу добрив по ширині захвату, а відповідно по всьому оброблюваному полю на практиці застосовують спосіб внесення добрив розкидачами з перекриттям загальної ширини захвату. При відповідному перекритті, що задовольняє агротехнічні вимоги по нерівномірності внесення добрив визначають робочу ширину захвату розкидача. Величина перекриття загальної ширини захвату залежить від досконалості розподільних органів розкидачів і може коливатись в значних межах, іноді до половини загальної ширини захвату. Найменшу величину перекриття суміжних проходів агрегату представлено на рис 1.12, яка утворена розкидачем з боковим викидом, на якому встановлено барабанно-лопатовий розподільний орган. Зведені результати досліджень представлені в таблиці 1.

Перекриття суміжних проходів є недоліком технологічного процесу внесення добрив. При цьому знижується потенціальна можливість ефективної продуктивності розкидача, збільшуються питомі витрати роботи, збільшується техногенне навантаження на ґрунт, виникає потреба в розробці і застосуванні [24]

Таблиця 1.1

## Технічна характеристика машин для внесення твердих органічних добрив

Показники	ПРТ-10	Jeantil EP 2060 Erandor-2	Bergmann M 700 SX	Titan 18T	Jeantil EP 2060 Erandor-3	Annaburger HTS 22.04	Jeantil EVV 1000 Erandor-5	Samson SP 12	Gafner 5.5 A-Vario
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип робочого органу	Два горизонтально встановлені шнекові робочі органи	Два горизонтально встановлені шнекові робочі органи	Чотири вертикально розташовані шнекові робочі органи	Чотири вертикально розташовані шнекові робочі органи	Дискові робочі органи	Дискові робочі органи	Два вертикально розташовані шнекові робочі органи	Два вертикально розташовані шнекові робочі органи	Роторно-лопатевий робочий орган для бокового внесення
Вантажопідйомність т	10	8	9	12	8	20	10	10	6
Робоча ширина захвату м	6	4,5	7	8	12	14	12	6,5	10
Якість розподілу по робочій ширині внесення (коефіцієнт варіації) %	26,1	18,2	9,1	13	15,5	14,5	19,3	22	11,2
Технологічний матеріал	-	Гній Компост*	Гній Компост Пташиний послід*	Гній Компост Пташиний послід*	Гній Компост Пташиний послід Дефекат*	Гній Компост Пташиний послід Дефекат*	Гній Компост Пташиний послід*	Гній Компост Пташиний послід*	Гній Компост Пташиний послід Дефекат*

\* - умовно придатний технологічний матеріал

\*\* - витрати потужності при нормі внесення 25 т/га

пристроїв для точного водіння агрегату з оптимальним перекриттям суміжних робочих проходів, чого не існує у всіх без винятку розкидачах.

Одна з важливих складових операції внесення органічних добрив є витрати потужності агрегату. За результатами проведених експериментальних досліджень процесу внесення органічних добрив вченими Rainer Frick, Jakob Heusser і Matthias Schick з європейського сертифікаційного центру Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, визначено споживану потужність розкидачами органічних добрив з різними типами робочих органів. Дослідження проводилися на розкидачах: Jeantil EP 2060 Erandor-2; Jeantil EP Erandor-3; Jeantil EVV Erandor-5; Bergmann M 700 SX, Gafner 5.5 A-Vario. [28, 43,45]. В якості технологічного матеріалу використовували напівперепрілий гній з нормою внесення 30 т/га (М), компост з нормою внесення 25 т/га (К) та сапропелі (D) нормою внесення 12 т/га. На рис. 1.13 представлено результати випробувань. Так встановлено, що ланцюгово планчастий транспортер споживає від 1,5 до 2 кВт. Витрати потужності розкидачами з горизонтальними або вертикальними розподільними органами (Jeantil Erandor 2, Jeantil Erandor 5 і Bergmann M 700 SX) складають не більше 42 кВт. На привод подрібнювальних шнеків та дискових розподільних органів розкидачем Jeantil Erandor 3 витрачається до 65 кВт. Витрати потужності на привод подавального шнека та розподільного органу розкидачем Gafner 5.5 A-Vario складають до 77 кВт.

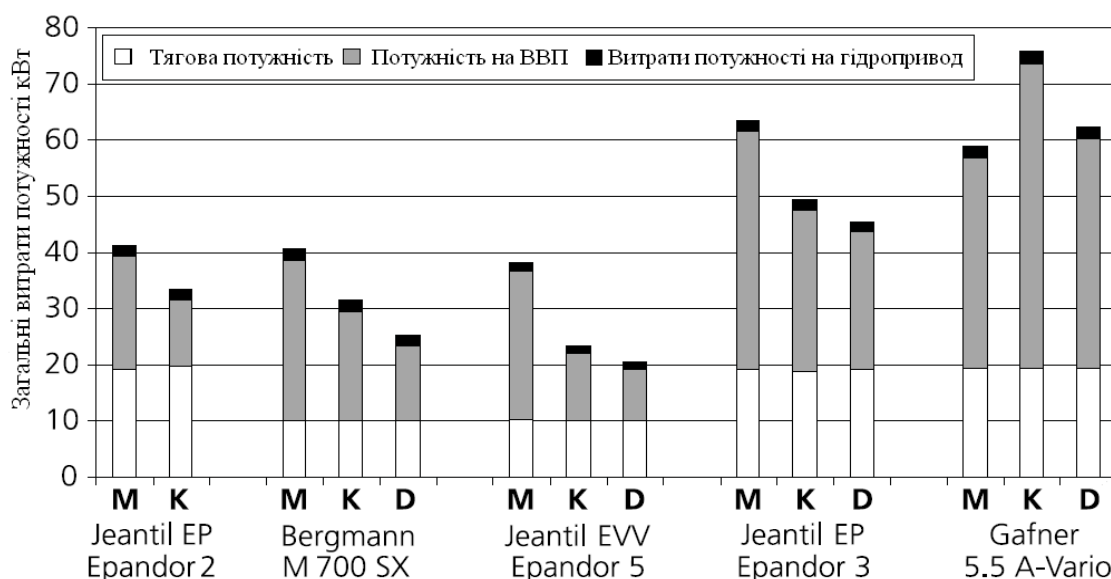


Рис. 1.13. Витрати потужності під час внесення органічних добрив

М – напівперепрілий гній, К – компост, D – сапропелі

Питаннями енергоємності також займалися Cz. Celmerowski [109, 110], Н.М. Марченко та В.П. Краснов [77]. Вони визначили експериментальним шляхом споживану потужність розкидачами органічних добрив вітчизняного машинобудування. Енергетичні показники визначалися при внесенні торфогнойового компосту з щільністю  $780 \text{ кг/м}^3$  з нормою 45 т/га. Так для внесення добрив розкидачем РОУ – 5 витрати потужності на привод транспортера становлять 1,8 кВт на привод розподільних барабанів від 20,2 до 23 кВт. Розкидачі ПРТ – 10 та ПРТ – 16 витрачають на привід транспортера 3,1 кВт та 3,2 кВт, а на привод розподільних барабанів від 29,2 – 40,4 кВт та 32,7 – 47 кВт відповідно [77].

### **1.5 Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми навісного модуля до розкидача органічних добрив**

Після проведеного аналізу літературних джерел, попередніх наукових досліджень та існуючих конструкцій кузовних розкидачів органічних добрив можна стверджувати, що для отримання оптимальних показників продуктивності, якості та енергомісткості роботи розкидача під час внесення можливо при дотриманні наступних основних умов:

- якісного подрібнення та отримання однорідності маси технологічного матеріалу;
- зменшення перекриття суміжних проходів за рахунок рівномірного розподілу добрив по поверхні ґрунту;
- дотримання технології внесення органічних добрив.

Використання розкидачів з горизонтально та вертикально встановленими розподільними барабанами неможливо із-за недостатнього подрібнення добрив. Причиною цього є шар добрив який в певні моменти часу обвалюється на подрібнювальний і розкидальний барабани, створюючи значно більшу подачу ніж

максимальна продуктивність транспортера, що призводить до нерівномірності та відхилення дози внесення [44].

Проаналізувавши розподіл добрив по ширині захвату розкидачами з дисковими розподільчими органами, робимо висновок, що для досягнення необхідної рівномірності внесення добрив необхідно працювати із значним перекриттям. Також до недоліків роботи слід віднести те що швидкість руху агрегату по полю не повинна перевищувати 5 км/год [43].

З наведених вище епюр розподілу добрив можна зробити висновок, що найбільш якісний розподіл добрив з мінімальним перекриттям можна отримати розкидачем з боковим викидом, недоліком таких машин є великі витрати потужності на транспортування добрив шнеками [46].

На основі аналізу результатів досліджень була запропонована конструкція розкидача органічних добрив з навісним модулем (рис 1.14 ) для внесення добрив у малих дозах від 2-10 т/га. Розкидач органічних добрив включає кузов 1, встановлений на ходових колесах 2, подавальний транспортер 3, встановлений вздовж кузова 1 так, що його верхня робоча частина розміщена на днищі 4 кузова 1. Поперечний транспортер 5 закріплений до задньої частини кузова 1, причому розміщений нижче подавального транспортера 3. Барабанно-лопатевий робочий орган 6, який з'єднаний з механізмом приводу в обертальний рух, розташований біля розвантажувального кінця 7 поперечного транспортера 5, причому ширина лопатей 8 ротора 6 виконана змінною, при цьому найменшу ширину мають периферійні кінці 9, лопатей 8. При розробці розкидача для малосипких і грудкуватих органічних добрив над заднім кінцем подавального транспортера 3, встановлено два лопатевих бітера 9 і 10, з'єднаних з механізмом приводу в обертальний рух і закритих зверху захисним кожухом 11 [22,31].

При роботі розкидача органічних добрив завантажені в кузов 1 добрива подавальним транспортером 3 переміщуються в напрямку задньої частини кузова. При цьому якщо розкидач розроблений для малосипких і грудкуватих добрив, то вони подрібнюються лопатевими бітерами 9 і 10, а якщо для сипких добрив, то вони просто засипаються з подавального транспортера 3 на поперечний

транспортер 5, яким подаються на барабанно-лопатевий розподільний орган 6, що обертається, де захоплюються його лопатками, втягуються в обертальний рух і під дією відцентрових сил розкидаються по поверхні поля.

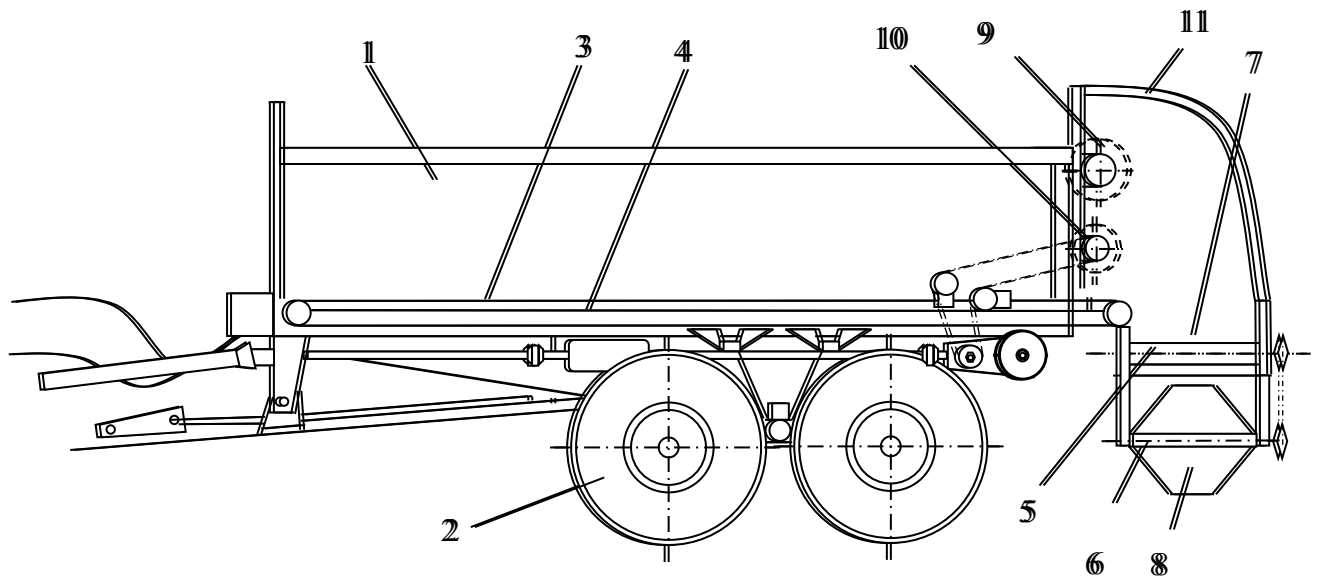


Рисунок 1.14. Схема розкидача органічних добрив з навісним модулем:

1 – кузов, 2 – ходові колеса; 3 –подавальний транспортер; 4 – днище кузова; 5 – поперечно-стрічковий транспортер; 6 – роторно-лопатевий робочий орган; 7 – розвантажувальний кінець поперечного транспортера; 8 – лопатка ротора; 9-10 –лопатеві бітера

Причому завдяки тому, що лопаті 8 розподільного органу 6, мають змінну ширину, добрива, які сходять з цих лопатей, мають різну швидкість, у результаті чого вони летять на різну відстань. Це забезпечує збільшення смуги розсівання добрив, якості їх розподілу і відповідно зростання продуктивності розкидача.

### 1.6. Висновки по розділу

На підставі аналізу експериментальних даних та літературних джерел можна зробити наступні висновки:

- при зменшенні об'ємів нагромадження гною та збільшенні об'ємів нагромадження пташиного посліду виникає потреба в технічних засобах для внесення органічних добрив у малих дозах до 10 т/га з якісним розподілом по поверхні поля. В даному напрямку вітчизняне машинобудування не забезпечує

належними технічними засобами. Розкидачі органічних добрив закордонного виробництва мають досить високу вартість, а в деяких випадках для агрегування необхідно адаптований до розкидача трактор;

- виробництво навісного модуля для внесення органічних добрив у малих дозах до серійних розкидачів дає можливість зменшити витрати на придбання нової сільськогосподарської техніки;

- при внесенні органічних добрив, орієнтуючись на результати експериментальних досліджень, доцільним є використання, роторного робочого органу на розкидачах з боковим викидом;

- при обґрунтуванні раціональних конструкційних параметрів роторного робочого органу необхідно враховувати неоднорідність маси та фізико-механічні властивості органічних добрив.

На підставі вищевикладеного мета даної роботи полягає в розробці навісного модуля з роторно-лопатевим робочим органом до серійних розкидачів органічних добрив та підвищення якості розподілу шляхом оптимізації конструктивних та кінематичних параметрів подавального і розподільного механізмів.

## 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Експериментальна установка та принцип її роботи

Для проведення експериментальних досліджень процесу подачі органічних добрив та розподілу їх по поверхні ґрунту була розроблена та виготовлена установка з набором змінних робочих органів. Схема та загальний вигляд експериментальної установки для дослідження процесу подачі та розподілу добрив по поверхні ґрунту представлено на рис.3.1, та 3.2.

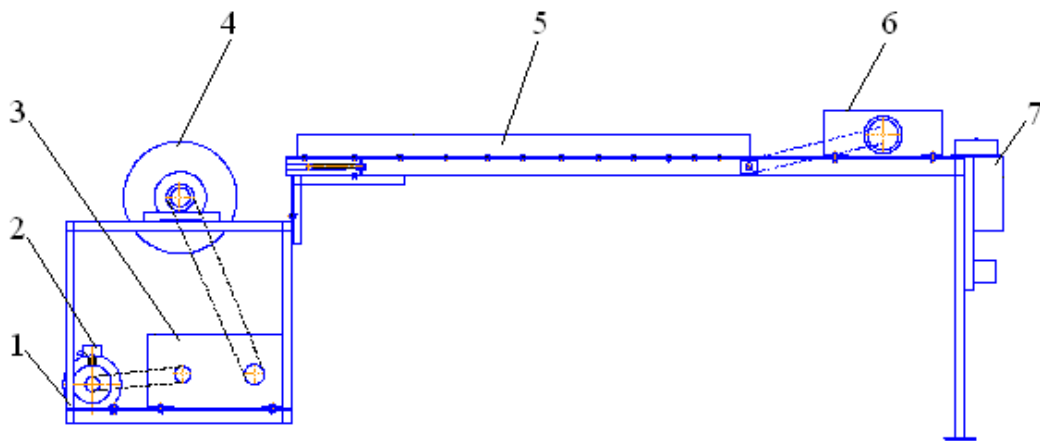


Рис. 2.1. Схема експериментальної установки для дослідження якості розподілу добрив по поверхні ґрунту:

1 – платформа; 2 – електродвигун; 3,6 – варіатори; 4 – розподільний орган; 5 – подавальний механізм; 7 – пульт керування.

Конструкція експериментальної установки включала в себе платформу 1, на якій розміщено розподільний орган 4, зі змінними лопатками, який приводиться в дію за допомогою електродвигуна 2 через варіатор 3, останній дає можливість змінювати кутову швидкість від  $42 \text{ с}^{-1}$  до  $75 \text{ с}^{-1}$ . Подавальний механізм 5 – стрічкового типу. Привод та регулювання швидкості руху стрічки подавального механізму відбувався за допомогою варіатора 6. Діапазон варіювання швидкості руху стрічки складав  $0,7 \text{ м/с} - 2,5 \text{ м/с}$ . Електрообладнання експериментальної

установки обладнане пусковою установкою 7, яка складається з пускозахисної апаратури для вмикання та вимикання електродвигуна 3 та варіатора 6.



Рис. 2.2. ЗАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

На рис. 2.3 представлено загальний вигляд експериментальних лопаток.



Рис. 2.3. Загальний вигляд змінних лопаток робочого органу

Процес роботи експериментальної установки відбувається таким чином.

Добрива рівномірно завантажувались на стрічковий транспортер з заданою товщиною відповідно до плану експерименту, подавались на розподільний робочий орган зі змінними лопатками та розподілялись по поверхні ґрунту.

### 2.3. Методика експериментальних досліджень

Основним завданням планування експерименту в даному випадку є отримання статистичної математичної моделі залежності якісних показників роботи об'єкта дослідження від режимів роботи та його конструкційних параметрів у вигляді поліному (рівняння регресії).

Для встановлення основних факторів і їх границь проведено попереднє вивчення об'єкта дослідження, яке показало, що фактори, які впливають на якісні показники роботи розподільного органу є такі: розташування осі ротора відносно осі транспортера, діаметр ротора та конструкційні параметри лопатки, товщина шару добрив, яка подається в залежності від норми внесення, вид та стан матеріалу (вологість, механічний склад та ін.) та кутова швидкість.

У процесі дослідження на експериментальній установці використовували перегній ВРХ, попередньо при необхідності зволожували його до вологості в межах 40–60 %. Визначення вологості перегною  $W_{\text{вол}}$  проводили ваговим методом згідно ГОСТ 20915-75 [19]. Фракційний склад добрив визначали з проби вагою 3 кг, яку ділили на фракції за допомогою решітного класифікатора, зважували кожну фракцію і фіксували їх значення.

Для визначення координат встановлення розподільного органу відносно осі транспортера з експериментальної установки демонтували розподільний орган, встановивши площадку паралельно площині стрічки транспортера. Відстань від площини стрічкового транспортера до площини площадки змінювалась від 100 мм до 300 мм з інтервалом 50 мм по вертикальній осі. Швидкість руху стрічки транспортера становила 1,44 м/с, 1,72 м/с, 2 м/с. У процесі дослідження визначали траєкторію руху технологічного матеріалу, фіксувавши дальність польоту частинок.

Результати пошукового експерименту та теоретичних досліджень показали, що основними факторами, які впливають на якість розподілу і показники роботи, є форма лопатки, товщина технологічного матеріалу, який подається, та кутова швидкість ротора.

В дослідженні характеру розподілу матеріалу роторно-лопатевим робочим органом використовували метод планування повнофакторного експерименту для обґрунтування параметрів і режимів роботи. Оскільки кількість факторів, які використовувались у дослідженні, дорівнювали трьом згідно положенням  $k \leq 5$ , де  $k$  – кількість факторів, то відповідно до вимог проведення лабораторних досліджень, було складено матрицю планування повнофакторного експерименту [79]. Для знаходження потрібної кількості повторностей задалися довірчою ймовірністю 0,9 і граничною похибкою 2. Необхідну кількість повторностей досліду визначали за допомогою таблиць [19], яка становила три повторності. Для переводу форми лопатки в кількісний показник використовували формулу 2.85.

Перед початком експерименту проводимо кодування факторів у відповідності з формулою [19] :

$$x_i = (X_i - X_{i_0}) / \Delta X_i \quad (2.1)$$

де  $x_i$  – кодове значення  $i$ -го фактора;

$X_i$  – натуральне значення  $i$ -го фактора;

$X_{i_0}$  – значення  $i$ -го фактора на основному рівні;

$\Delta X_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го фактора.

$$\Delta X_i = (X_{i_{max}} - X_{i_{min}}) / 2 \quad (2.2)$$

де  $X_{i_{max}}$  – натуральне значення  $i$ -го фактора на верхньому рівні;

$X_{i_{min}}$  – натуральне значення  $i$ -го фактора на нижньому рівні.

Зв'язок кодових значень факторів з натуральними забезпечується співвідношенням :

$$\begin{cases} x_1 = \frac{X_1 - 56.5}{14.5} = \frac{\omega - 56.5}{14.5} \\ x_2 = \frac{X_1 - 70}{20} = \frac{S - 70}{20} \\ x_3 = \frac{X_1 - 0.45}{0.45} = \frac{\theta - 0.45}{0.45} \end{cases} \quad (2.3)$$

Рівні варіювання факторів при плануванні експерименту приведено в таблиці 3.1

Таблиця 2.1

Інтервали значень та рівні варіювання факторів які досліджувалися при визначенні якості розподілу добрив.

Чинники	Позначення чинників		Рівні чинників			Інтервал варіювання
	Натуральне	Кодове	-1	0	+1	
Кутова швидкість, с <sup>-1</sup>	$\omega$	X <sub>1</sub>	42	56,5	71	14,5
Висота шару добрив, мм	s	X <sub>2</sub>	50	70	90	20
Форма лопатки	$\theta$	X <sub>3</sub>	0	0,45	0,9	0,45

Якість розподілу органічних добрив визначали згідно ГОСТ 28718 – 90 [19]. Нерівномірність дози внесення по робочій ширині захвату визначали методом збору добрив на деко (рис 3.4). Масу добрив заміряли на вагах УЦК-400/500-5-0,05-0. Кутову швидкість розподільного органу та лінійну швидкість транспортера заміряли годинниковим стрілочним тахометром ТЧ-10Р.



Рис. 2.4. Схема розташування дек до роботи (а) і після (б)

Дослідження проводилися в наступній послідовності: завантажені добрива на стрічковий транспортер розподілялися по поверхні розподільним органом де їх збирали в дека, після чого зважувалися на вагах, а отримане значення фіксували. Також для кожного дослідження фіксували ширину розподілу.

Лабораторні і експериментальні дослідження розподільного робочого органу та експериментального зразка розкидача органічних добрив з навісним модулем проводилися на базі лабораторії НТП застосування органічних добрив ННЦ “ІМЕСГ” НААН України. Експериментальний зразок навісного модуля для внесення органічних добрив у малих дозах був виготовлений в дослідному конструкторсько-технологічному бюро ННЦ “ІМЕСГ” НААН України.

#### **2.4. Методика проведення польових випробувань**

Для проведення лабораторно-польових досліджень і виробничої перевірки було створено експериментальний зразок машин з модульно-адаптивним технічним засобом для внесення органічних добрив у малих дозах.

Відповідно до обґрунтованих у теоретичних і лабораторних дослідженнях параметрів стрічкового транспортера та розподільного роторно-лопатевого робочого органу було виготовлено новий експериментальний зразок навісного модуля з боковим викидом (рис. 3.5). Польові випробування проводилися в три етапи.



Рис. 2.5. Експериментальний зразок навісного модуля з боковим викидом на базі ПРТ-10-1

Польові випробування виконувалися у відповідності з РД 107.2-89 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для внесения твердых органических удобрений. Программа и методы испытаний [19] При випробовуванні визначали нерівномірність внесення добрив, ширину захвату, продуктивність агрегату, відхилення від дози внесення.

На першому етапі лабораторно–польові випробування проводились у селянсько фермерському господарстві „Литвинівка” Жашківського району, Черкаської області. Внесено навісним модулем на базі розкидача ПРТ-10-1 500 т пташиного посліду об’ємною масою 0,6–0,8 т/м<sup>3</sup> при нормі внесення 8–10 т/га. До складу агрегату входив трактор Т–150К. Завантаження добрив в кузов розкидача здійснювалось фронтальним навантажувачем Т-156.

Загальний об’єм внесення складав 300 т пташиного посліду при нормі внесення 5 т/га. До складу агрегату для внесення пташиного посліду входив енергетичний засіб трактор МТЗ - 82.1 (рис. 3.6)

На другому етапі випробування та впровадження проводились в фермерському господарстві „Клевань” Васильківського району Київської області, (рис 3.7) з заміром енергетичних показників.



(a)



(б)

Рис. 2.6 – Загальний вигляд експериментального зразка навісного модуля на базі кузовного розкидача ПРТ-10-1(а), загальний вигляд процесу внесення добрив (б).



а

б

Рис. 2.7. Завантаження добрив у кузов (а), розподіл по деках (б).

Для отримання енергетичних показників експериментального зразка навісного модуля агрегатували з тензотрактором Т-150К, який обладнаний (рис. 3.8): осцилографом К-12-22, підсилювачем Топаз 3-01, силовимірювачем, блоками комутації, блоками живлення, витратоміром пального об'ємного типу (рис. 3.9) та тензоланкою для заміру тягового зусилля на гаку трактора. Тензоланка налаштована на тягове зусилля на гаку до 5 т.

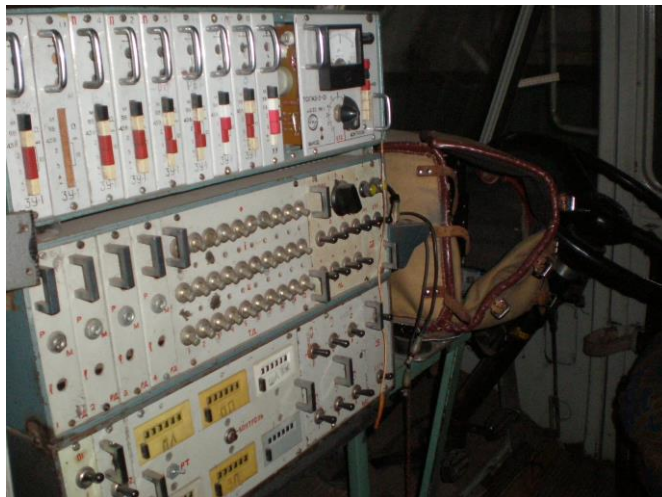


Рис. 2.8 - Блоки вимірювальних приладів тензотрактора Т-150К



Рис. 2.9 - Загальний вигляд витратоміра пального (а) та процес зняття показників (б)

Енергетичні показники отримані у вигляді осцилограми крутного моменту та тягового зусилля. На рисунку 3.10 зображено частину осцилограми. Отримана в результаті експериментальних досліджень осцилограма має відмітку нульового значення стрілки, діаграми крутного моменту та тягового зусилля, тривалість циклу ( $T_{\text{ц}} = 0,1$  с) та відмітку шляху ( $S = 0,51$  м). Діаграми потужності та тягового зусилля обробляли методом ординат [25,20].

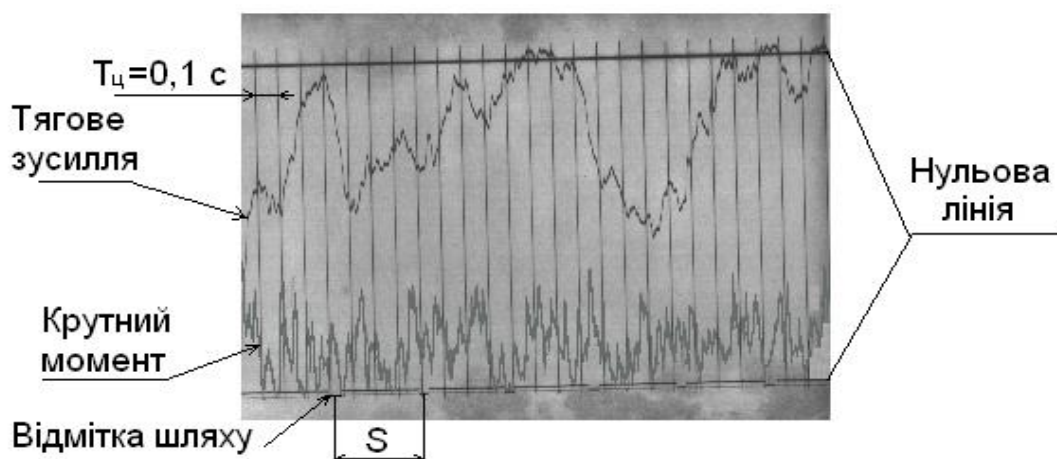


Рис. 2.10 - Осцилограма зміни крутного моменту та тягового зусилля

Загальні витрати потужності  $N$  складаються з витрат потужності на гаку та ВВП трактора [19]:

$$N = N_{\text{зак}} + N_e, \quad (2.4)$$

де  $N_{\text{зак}}$  – тягова потужність, кВт;

$N_e$  – потужність, яка знімається з ВВП трактора, кВт

$$N_{\text{зак}} = \frac{P_{\text{кр}} v_p}{3.6}, \quad (2.5)$$

де  $P_{\text{кр}}$  – тягове зусилля, кН;

$v_p$  – робоча швидкість агрегату, км/год

Діаграми обробляли методом ординат з використанням формули для перерахунку потужності  $N_e$  на ВВП трактора [25]:

$$N_e = 0.105 M_e n, \quad (2.6)$$

де  $n$  – частота обертання ВВП трактора, хв<sup>-1</sup>;

$M_e$  – крутний момент, кНм

$$M_e = \frac{8.025 k_{\text{кр}}}{1000}, \quad (2.7)$$

де  $k_{\text{кр}}$  – середнє значення ординати, мм

$$k_{\text{кр}} = \frac{\sum Y}{N}, \quad (2.8)$$

де  $\sum Y$  – сума значень ординати, мм;

$N$  – кількість замірів.

На кожному з етапів досліджень проводили хронометражні спостереження за процесом розподілу добрив по полю експериментальним навісним модулем. Відзначався час проходження кожної операції. Відлік часу виконували за допомогою секундоміра механічного.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Фізико-механічні властивості технологічного матеріалу

В якості технологічного матеріалу для проведення лабораторних досліджень використовували перегній ВРХ, а під час проведення польових випробувань в СФГ „Литвинівка” та ФГ „Клевань” – пташиний послід без вмісту підстилки, а в ТОВ „Агроколос-5” – пташиний послід з підстилковим матеріалом, до складу якого входили солома і опилки.

За результатами досліджень насипна щільність перегною коливалася в межах 480-660 кг/м<sup>3</sup>. Середнє значення насипної щільності перегною становило 583 кг/м<sup>3</sup>. Насипна щільність пташиного послід у господарстві СФГ „Литвинівка” становила 640-810 кг/м<sup>3</sup>, а середнє значення дорівнювало 760 кг/м<sup>3</sup>, в ТОВ „Агроколос-5” щільність коливалася в межах 490-610 кг/м<sup>3</sup>, середнє значення становило 570 кг/м<sup>3</sup>, в СФ „Клевань” щільність коливалася в межах 550-710 кг/м<sup>3</sup>, середнє значення становило 630 кг/м<sup>3</sup>.

В таблиці 3.1 та на рисунку 3.1 представлено результати визначення фракційного складу перегною.

Результати визначення фракційного складу перегною, за ознакою розміру свідчать про те, що основну масу добрив близько 80% становлять частинки діаметром від 20 мм до 3 мм.

Таблиця 3.1  
Фракційний склад експериментального матеріалу

Розмір фракції, мм	Маса фракції			Середнє значення маси проби, кг	Відсоткове відношення фракційного складу до загальної маси, %
	перша проба, кг	друга проба, кг	третя проба, кг		
20-10	8,4	7,6	8,5	8,2	21,55
7-10	6,5	7,2	6,7	6,8	20,4

5-7	6,2	6,4	6,4	6,3	18,39
3-5	6,7	6,6	6,5	6,6	18,96
2-3	3,8	3,7	3,6	3,7	10,63
менше 2	3,4	3,5	3,3	3,4	10,07
Всього	35	35	35	35	100

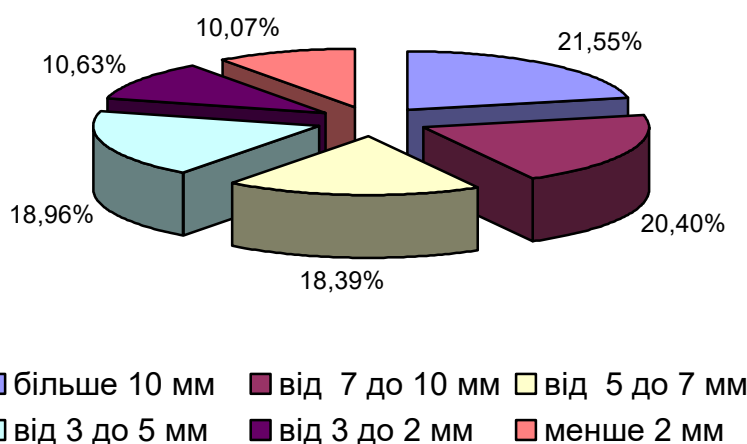


Рис. 3.1. Фракційний склад перегною

Вологість  $W_{ВОЛ}$  досліджуваних партій технологічного матеріалу становила для перегною  $W_{ВОЛ} = 47\%$ , а для пташиного посліду в господарствах СФГ „Литвинівка”, ТОВ „Агрококос-5”, СФ „Клевани”  $W_{ВОЛ} = 72\%$ ,  $W_{ВОЛ} = 51\%$ ,  $W_{ВОЛ} = 77\%$  відповідно.

### 3.2. Результати експериментальних досліджень розподільного органу

Для визначення координат встановлення розподільного органу відносно осі транспортера проведені дослідження по визначенню траєкторії руху добрив із стрічкового транспортера при швидкості руху стрічки 1,44 м/с, 1,72 м/с, 2 м/с. Кожен дослід проводили в трикратній повторності. Результати досліджень представлені на рис. 4.2

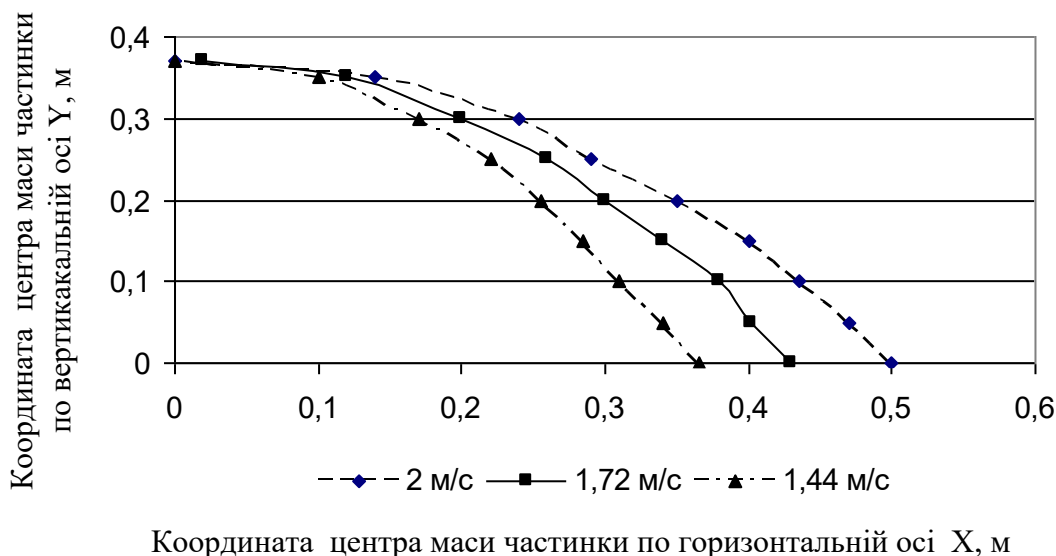


Рис. 3.2. Траєкторія руху добрив із стрічкового транспортера при швидкості руху транспортера: 1- 1,44 м/с; 2 -1,72 м/с; 3 – 2м/с.

У результаті досліджень встановлено, що для забезпечення проникнення добрив на лопатку розподільного органу швидкість руху стрічкового транспортера повинна становити 1,72 м/с. Координати встановлення розподільного органу відносно точки сходу добрив до його осі обертання повинні бути по осі абсцис 0,42 м, по осі ординат 0,37 м.

У відповідності до плану проведення лабораторних досліджень по визначенню якості та ширині розподілу добрив виконано 27 дослідів згідно матриці повнофакторного експерименту, кожен дослід виконувався в трикратній повторності.

У результаті обробки експериментальних даних отримувались коефіцієнти регресії, які представлені в таблиці 4.1, та модель полінома регресії другого рівня для визначення нерівномірності внесення добрив [19].

Таблиця 3.1

Результати обробки експериментальних даних, що характеризують нерівномірність внесення

Коефіцієнти регресії	Значення коефіцієнтів регресії	Статистична похибка коефіцієнта регресії	Коефіцієнт еластичності	Значимість коефіцієнта регресії

1	2	3	4	5
Залежна змінна				
$b_0$	132.79			
Незалежна змінна				
$b_1$	-2.9209	+0.04737	-5.20	значимий
$b_2$	-0,45179	0.97299	-1.05	значимий
$b_3$	-79.07	7.62049	-0.48	значимий
$b_{11}$	+0.02158	0.00004	+1.90	значимий
$b_{12}$	+0.01029	0.00173	+1.37	значимий
$b_{33}$	+98.041	13.88709	+0.48	значимий

Довірча ймовірність 0,9 [79,80];

Коефіцієнт множинної детермінації  $D= 0.727$ ;

Коефіцієнт множинної кореляції  $R= 0.852$ ;

Стандартне відхилення оцінки  $s= 3.503$ ;

F критерій Фішера  $F_{роз} = 0,48 < F_{таб} = F_{21;54} = 1,927$ ;

Коефіцієнт D значимий з ймовірністю  $P = 1.00000$ .

Поліном другого рівня для розрахунку нерівномірності внесення добрив:

$$V = 132.79 - 2.9209\omega - 0.45179s - 79.07k + 0.02158\omega^2 + 0.01029\omega s + 98.041k^2, \quad (3.1)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість розподільного органу,  $c^{-1}$ ;

$s$  – товщина технологічного матеріалу на стрічці транспортера, мм;

$k$  – форма лопатки в числовому виразі,  $k = \frac{B}{A}$  (рис. 2.11) ;

В результаті обробки експериментальних даних отримуємо коефіцієнти регресії, які представлені в таблиці 4.2, та модель полінома регресії другого рівня для визначення ширини розподілу добрив [19].

Таблиця 3.2

Результати обробки експериментальних даних, що характеризують ширину розподілу добрив

Коефіцієнти регресії	Значення коефіцієнтів регресії	Статистична похибка коефіцієнта регресії	Коефіцієнт еластичності	Значимість коефіцієнта регресії

1	2	3	4	5
Залежна змінна				
$b_0$	-4,6655			
Незалежна змінна				
$b_1$	+0,3982	0,00730	2.97	значимий
$b_3$	+15.22	1.90064	0.65	значимий
$b_{11}$	-0,00228	0.00001	-1	значимий
$b_{12}$	-0.00124	0.00024	-0.69	значимий
$b_{13}$	-0.087	0.00231	-0.21	значимий
$b_{22}$	+0.0003737	0.00896	0.29	значимий
$b_{23}$	-0.0377	0.12648	-0.12	значимий
$b_{33}$	-6.19	1.94695	-0.13	значимий

Довірча ймовірність 0,9 [79,80];

Коефіцієнт множинної детермінації  $D= 0,842$ ;

Коефіцієнт множинної кореляції  $R= 0,918$ ;

Стандартне відхилення оцінки  $s= 0,563$ ;

F критерій Фішера  $F_{\text{роз}}= 0,87 < F_{\text{таб}}= F_{20;54}=1,957$ ;

Коефіцієнт  $D$  значимий с ймовірністю  $P = 1.00000$ .

Поліном другого рівня для розрахунку ширини внесення добрив:

$$B = -4.6655 + 0.3982\omega_1 + 15.22k_3 - 0.00228\omega_1^2 - 0.00124\omega_1s_2 - 0,087\omega_1k_3 + 0.0003737s_2^2 - 0.0377s_2k_3 - 6.19k_3^2. \quad (3.2)$$

Для аналізу отриманих поліномів другого ступеня використовувався метод двомірних перетинів [60].

Графіки двомірного перетину поверхні відгуку, що характеризують якість розподілу добрив за коефіцієнтом варіації та ширині їх внесення, представлено на рис. 4.3, 4.4.

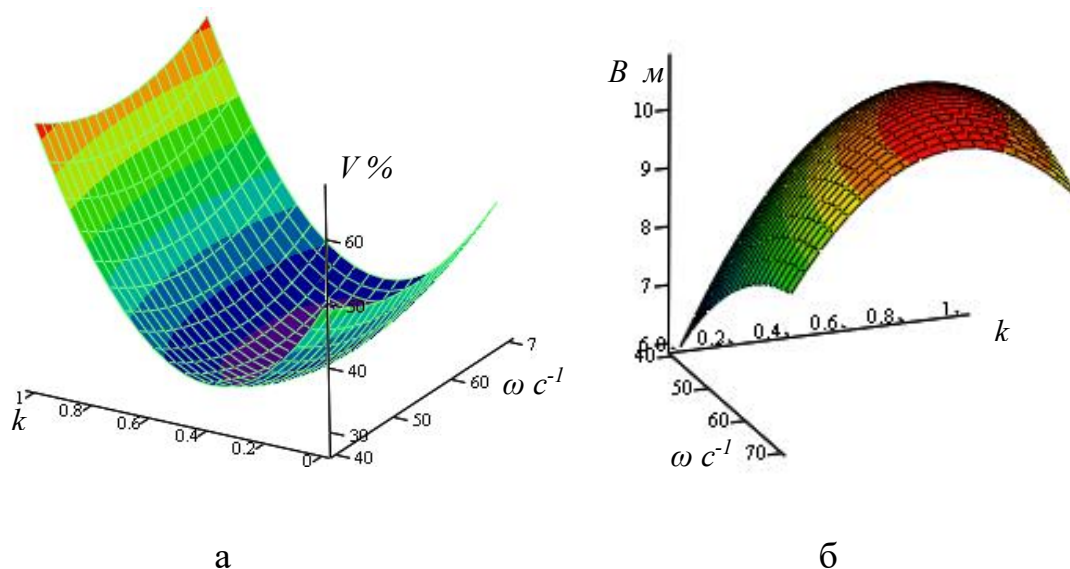


Рис. 3.3. Графіки поверхонь відгуків нерівномірності (а) та ширини (б) розподілу добрив при висоті шару добрив,  $s=50$  мм

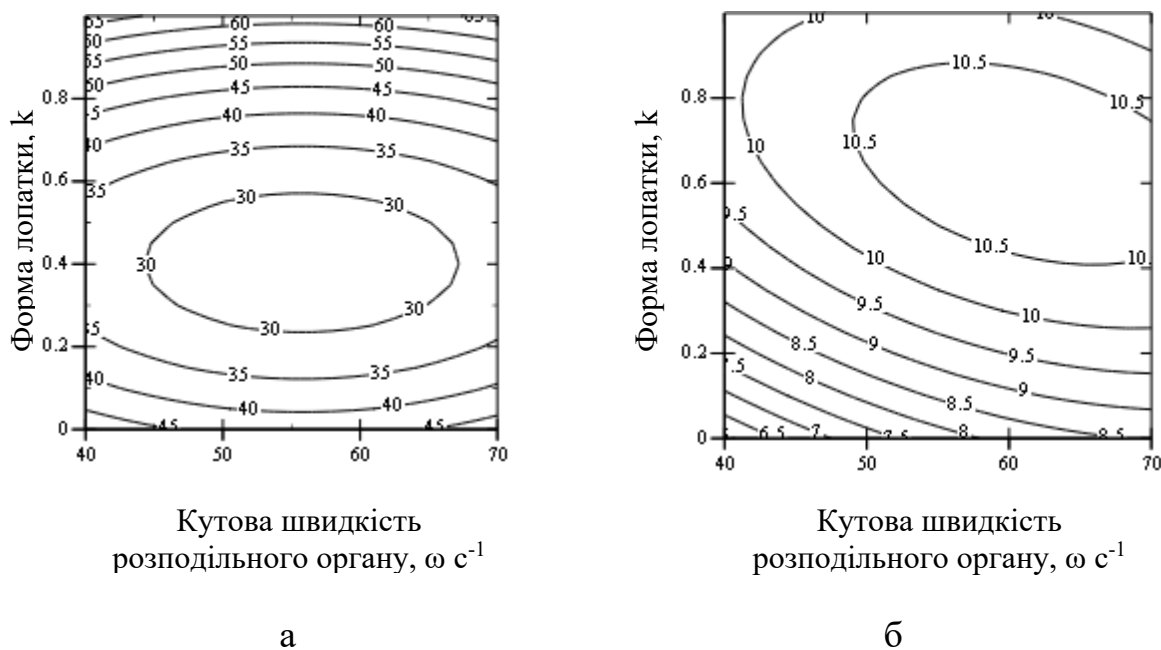


Рис. 3.4. Двовірні перетини поверхонь відгуків нерівномірності (а) та ширини (б) розподілу добрив при висоті шару добрив,  $s=50$  мм

Аналізуючи графіки (рис 3.4 та 3.5), отримали мінімальну нерівномірність  $V=27,17\%$ , яка забезпечується при подачі добрив стрічковим транспортером товщиною шару добрив  $s = 50$  мм, з кутовою швидкістю ротора  $\omega = 55,75 \text{ c}^{-1}$ , лопаткою  $k = 0,403$ . Максимальне значення ширини внесення становило  $B = 10,8$  м при подачі добрив стрічковим транспортером з товщиною шару добрив  $s = 50$  мм, кутовою швидкістю ротора  $\omega = 61,41 \text{ c}^{-1}$ , лопаткою  $k = 0,646$ .

Побудова поверхонь відгуку та її двомірні перетини, що характеризують нерівномірність розподілу та ширину внесення добрив, у залежності від частоти обертання розподільного органу, форми лопатки, при товщині подачі матеріалу  $s = 70$  мм представлено на рис. 4.5, 4.6.

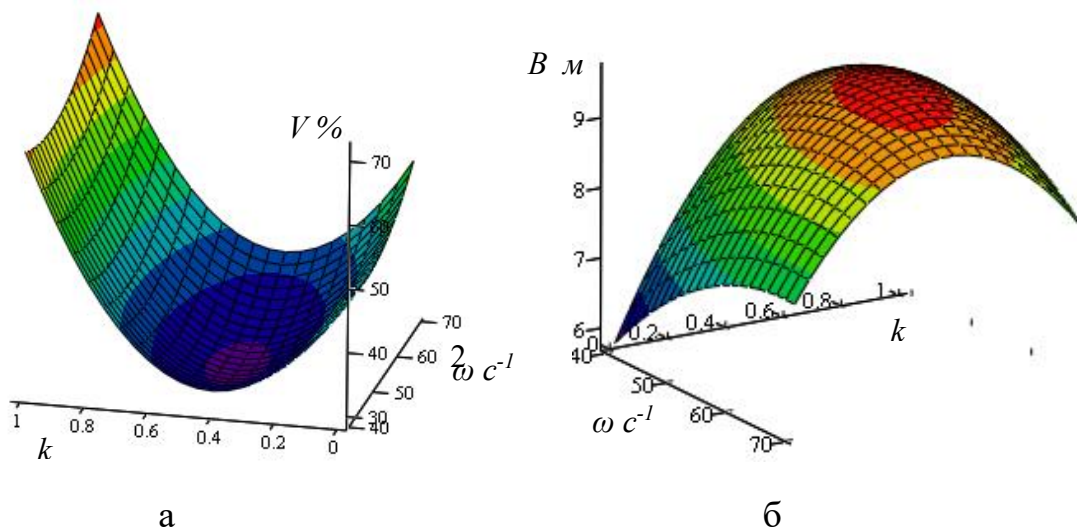


Рис. 3.5. Графіки поверхонь відгуків нерівномірності (а) та ширини (б) розподілу добрив при висоті шару добрив,  $s=70$  мм

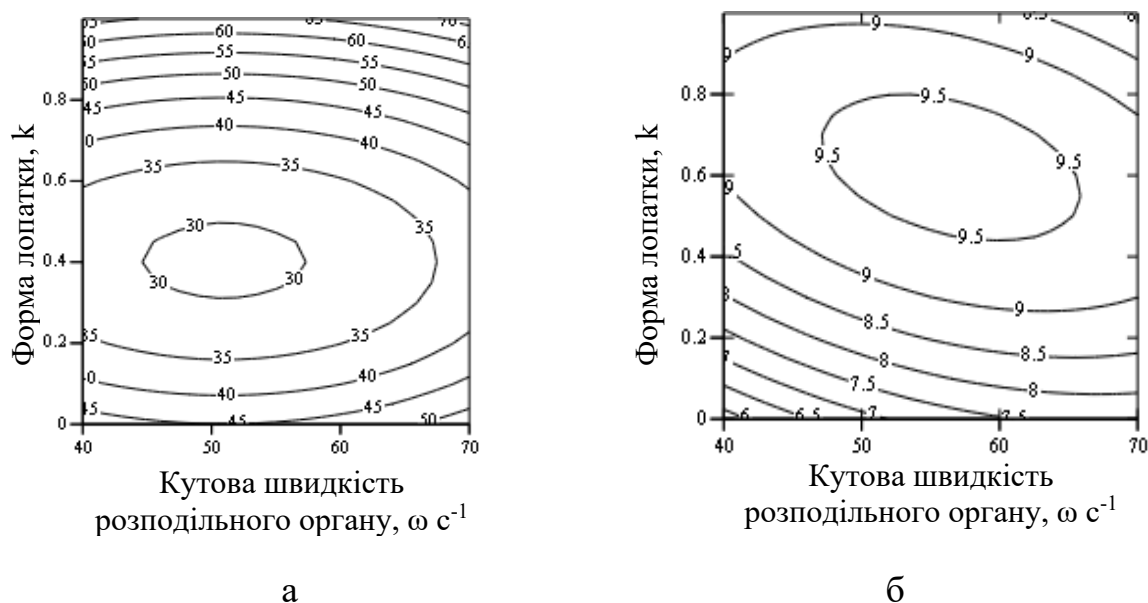


Рис. 3.6. Двомірні перетини поверхонь відгуків нерівномірності (а) та ширини (б) розподілу добрив при висоті шару добрив,  $s=70$  мм

Аналізуючи графіки (рис 4.6 та 4.7), отримали мінімальну нерівномірність  $V=29,12\%$ , яка забезпечувалась при подачі добрив стрічковим транспортером товщиною  $s = 70$  мм, з кутовою швидкістю ротора  $\omega = 50,99$   $c^{-1}$ , лопаткою  $k = 0,403$ . Максимальна ширина внесення становила  $B = 9,67$  м при подачі добрив

стрічковим транспортером товщиною  $s = 90$  мм, з кутовою швидкістю ротора  $n = 56,47$   $c^{-1}$ , лопаткою  $k = 0,619$ .

Побудова поверхонь відгуку та її двомірні перетини, що характеризують нерівномірність розподілу та ширину внесення добрив, у залежності від частоти обертання розподільного органу, форми лопатки, при товщині подачі матеріалу  $s = 90$  мм представлено на рис. 4.7, 4.8.

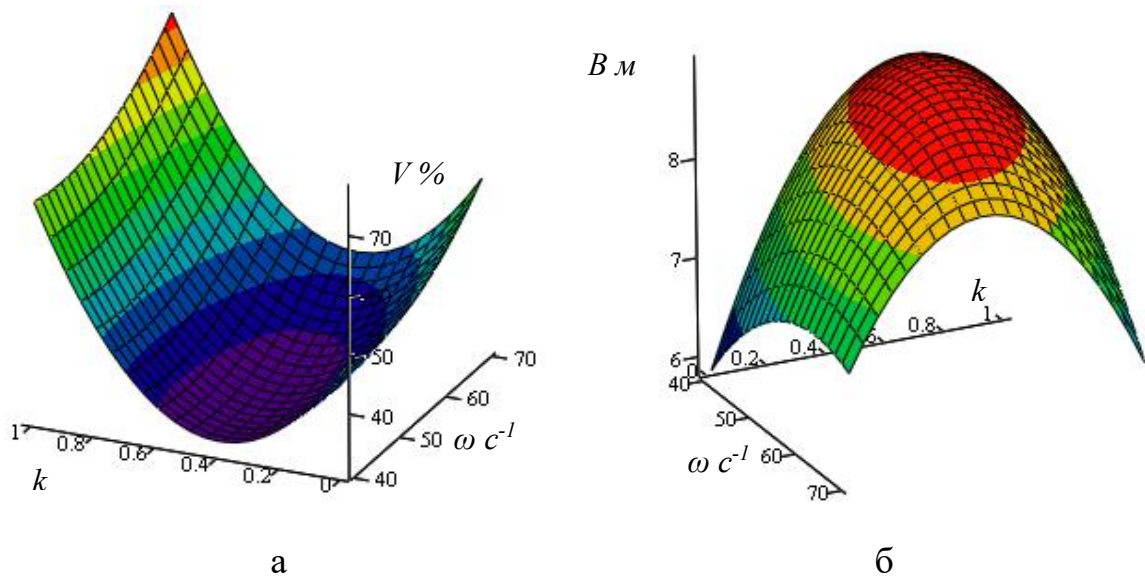


Рис. 3.7. Графіки поверхонь відгуків нерівномірності (а) та ширини (б) розподілу добрив при висоті шару добрив,  $s=90$  мм

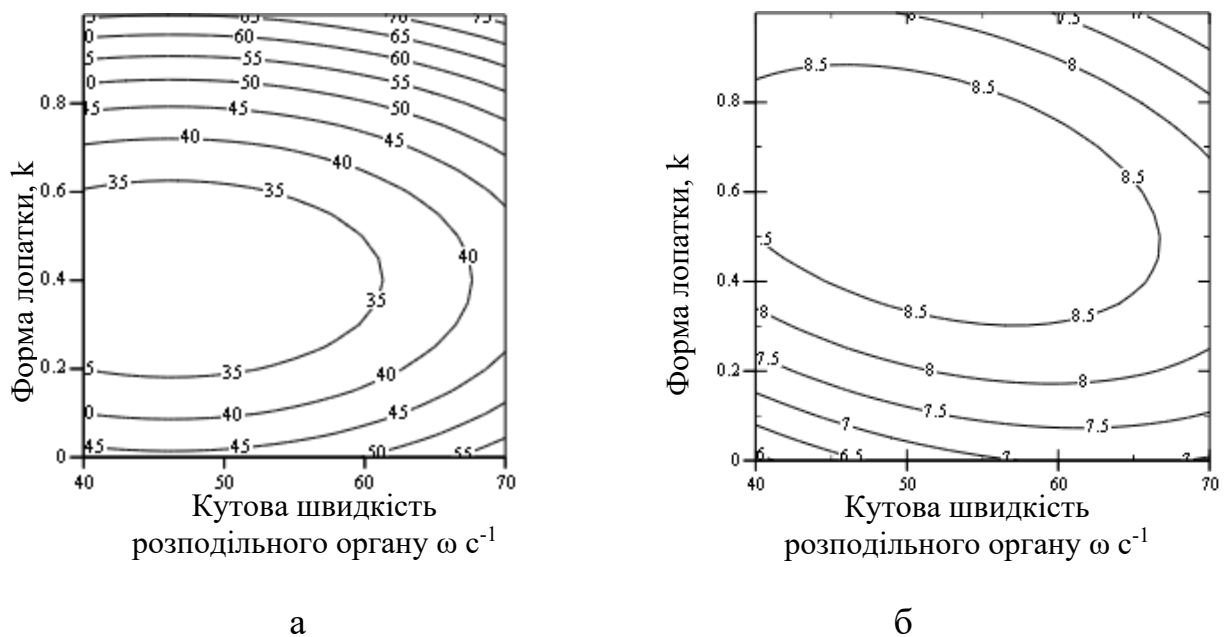


Рис. 3.8. Двомірні перетини поверхонь відгуків нерівномірності (а) та ширини (б) розподілу добрив при висоті шару добрив,  $s=90$  мм

Аналізуючи графіки (рис 3.8 та 3.9), отримали мінімальну нерівномірність  $V = 30,09 \%$ , яка забезпечувалась при подачі добрив стрічковим транспортером товщиною  $s = 90$  мм, з кутовою швидкістю ротора  $\omega = 46,22 \text{ с}^{-1}$ , лопаткою  $k = 0,403$ . Максимальна ширина внесення становила  $B = 8,96$  м при подачі добрив стрічковим транспортером товщиною  $s = 90$  мм, з кутовою швидкістю ротора  $\omega = 51,53 \text{ с}^{-1}$ , лопаткою  $k = 0,591$ .

Виходячи з аналізу результатів експериментальних досліджень для забезпечення агротехнологічних вимог до внесення добрив, необхідно робити перекриття суміжних проходів.

На рисунку 3.9 представлено залежність нерівномірності внесення від величини перекриття суміжних проходів.

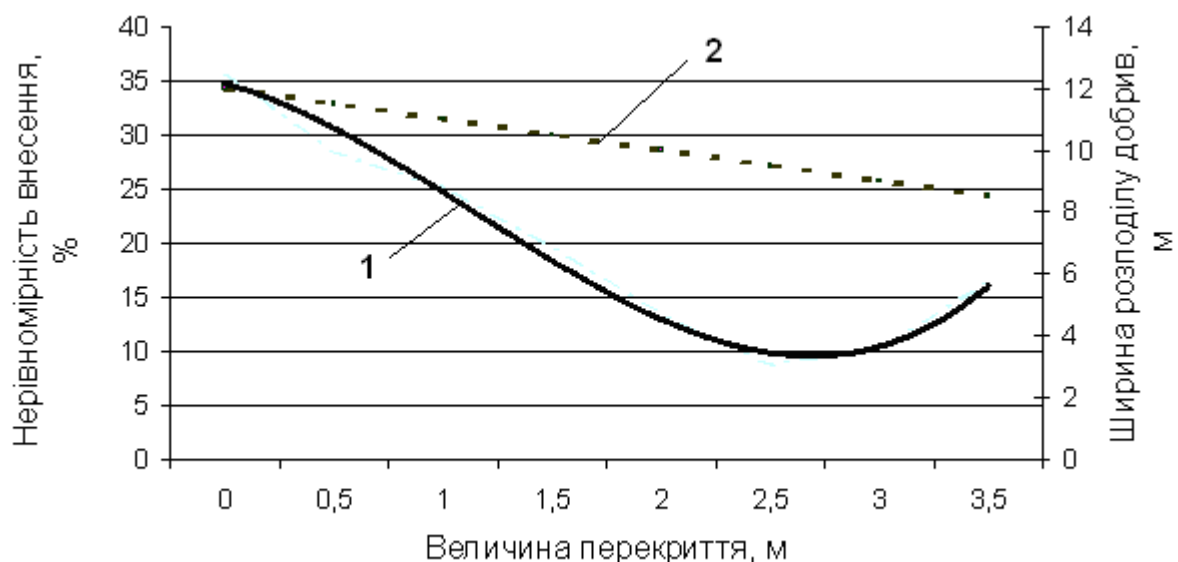


Рис 3.9. Залежність нерівномірності внесення (1) та ширини розподілу (2) від величини перекриття суміжних проходів

Без перекриття ширина внесення складала 11,5 м. Найменша нерівномірність, за результатами досліджень, дорівнювала 8,7 % за коефіцієнтом варіації при перекритті 2,5 м. Ширина внесення при цьому становить 9 м.

### 3.3. Результати польових випробувань

У відповідності до програми на першому етапі дослідження проводили на полях СФГ „Литвинівка” Жашківського району Черкаської області. Об’єм внесеного пташиного посліду становив 500 тонн при дозі внесення 8-10 т/га. До складу агрегату входить енергетичний засіб трактор Т-150К та експериментальний зразок навісного модуля на базі кузовного розкидача ПРТ-10-1.

У результаті випробувань встановлено, що навісний модуль завдяки раціональній конструкціо–технологічній схемі стабільно виконує технологічний процес внесення пташиного посліду в малих дозах. Робоча ширина внесення становила 10 м з нерівномірністю розподілу посліду по поверхні поля з перекриттям суміжних проходів у межах 0,5-1м, по коефіцієнту варіації становить 21,1 % при середньому значенні маси проби 0,23 кг при швидкості руху агрегату 4,4 км/год. Продуктивність внесення становила 1,8-2 га/год.

На базі ТОВ „Агроколос-5” Золотоніського району Черкаської області, було проведено другий етап польових випробувань у виробничих умовах.

Загальний об’єм внесення складає 60 га при нормі внесення 5 т/га пташиного посліду. До складу агрегату для внесення пташиного посліду входив енергетичний засіб трактор МТЗ - 82.1 та експериментальний зразок навісного модуля на базі кузовного розкидача ПРТ-10-1.

На рисунку 3.10 (а) показано рівномірне завантаження поперечного стрічкового транспортера. Товщина шару добрив, яка подається до розподільного робочого органу складає, 50-60 мм.



а

б

Рис. 3.10. Поперечно - стрічковий транспортер (а) та лопатка розподільного робочого органу (б)

На рисунку 3.10 (б) представлено лопатку розподільного робочого органу та глибину проникнення матеріалу до центра ротора. Відповідно до теоретичних розрахунків величина захвату лопаткою ротора повинна становити 55 мм. Відповідно після проведених випробувань найменший захват становить 47 мм, а найбільший – 53 мм. Різницю між теоретичними розрахунками та замірами під час випробувань можна пояснити тим, що на фізико-механічні властивості пташиного посліду впливають багато факторів і вони можуть змінюватись.

Час завантаження навантажувачем „Карпатець” складав 8 хв. 23 с. Середній час холостих переїздів складав 5 хв. 30 с. Тривалість внесення 6 хв. 10 с. Загальний час одного циклу 20 хв. 03 с.

Результатами виробничих випробувань підтверджено теоретичні обґрунтування параметрів ротора: частоти обертання, форму лопатки на роторі.

За результатами експериментальних досліджень визначено, що розподіл добрив по поверхні поля задовольняє агротехнічним вимогам по рівномірності розподілу по ширині внесення, що дорівнює 21%, по коефіцієнту варіації, при перекритті суміжних проходів 1м, без перекриття суміжних проходів дорівнює 25%, середнє значення 0,4 кг без перекриття суміжних проходів, за розрахунковими даними коефіцієнт варіації повинен становити 27%, середнє значення 0,38 кг. Для якісного внесення добрив, експериментальним зразком раціональне перекриття становить 1м, що задовольняє вимогам РД 10.7.2-89, EN 13080. Швидкість руху агрегату становила 3,8 км/год.

На третьому етапі проведені виробничі випробування науково-технічної розробки та впровадження науково-технічної продукції в ФГ „Клеваний” Васильківського району Київської області. За результатами випробувань отримано акт виробничих випробувань науково-технічної розробки та впровадження науково-технічної продукції (додаток Г.3). Продуктивність агрегату 1,7-1,9 га/год експлуатаційного часу. Дослідження проводились відповідно до вимог ГОСТ 28718-90 та ГОСТ 23982-85.

Показники роботи машини представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

## Показники роботи агрегату

№	Показники	Од. виміру	Значення
1	Продуктивність за годину експлуатаційного часу	га/год	1,9
2	Маса добрив у кузові ПРТ-10-1	т	12
3	Тип розподільного органу	–	Барабанно-лопатевий
4	Загальна ширина захвату	м	10-10,5
5	Робоча ширина захвату	м	9-9,5
6	Тривалість розвантаження	хв	15
7	Нерівномірність по ширині внесення	%	21
8	Нерівномірність по довжині внесення	%	6,7
9	Нестабільність дози внесення	%	8
10	Обслуговуючий персонал	чол.	1

### 3.5. Визначення споживаної потужності агрегату протягом одного циклу

При проведенні випробувань навісного модуля з заміром енергетичних показників, доза внесення складала 10 т/га. Технологічний матеріал – пташиний послід, швидкість руху агрегату – 4,5 км/год та 10 км/год.

За результатами досліджень отримано діаграми крутного моменту ВВП трактора ( рис. 4.12, 4.13 ) та тягового зусилля на гаку ( рис. 4.14 ) під час роботи експериментального зразка модульно-адаптивного технічного засобу та при холостому ході.

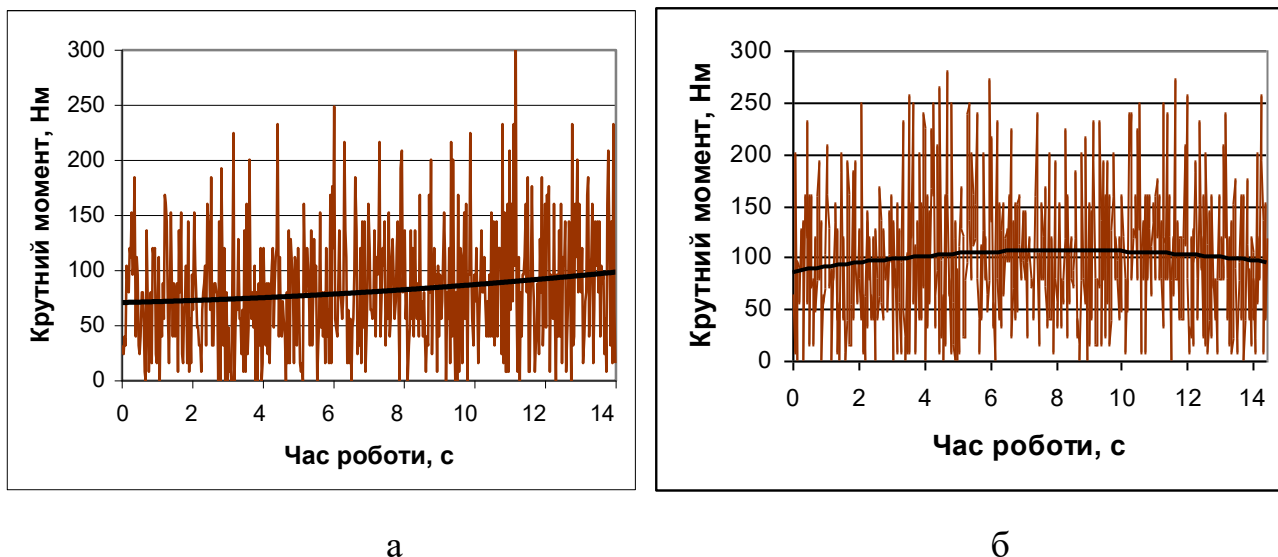


Рис. 3.12. Діаграма зміни крутного моменту при швидкості руху агрегату 4,5 км/год (а), 10 км/год (б) в робочому режимі

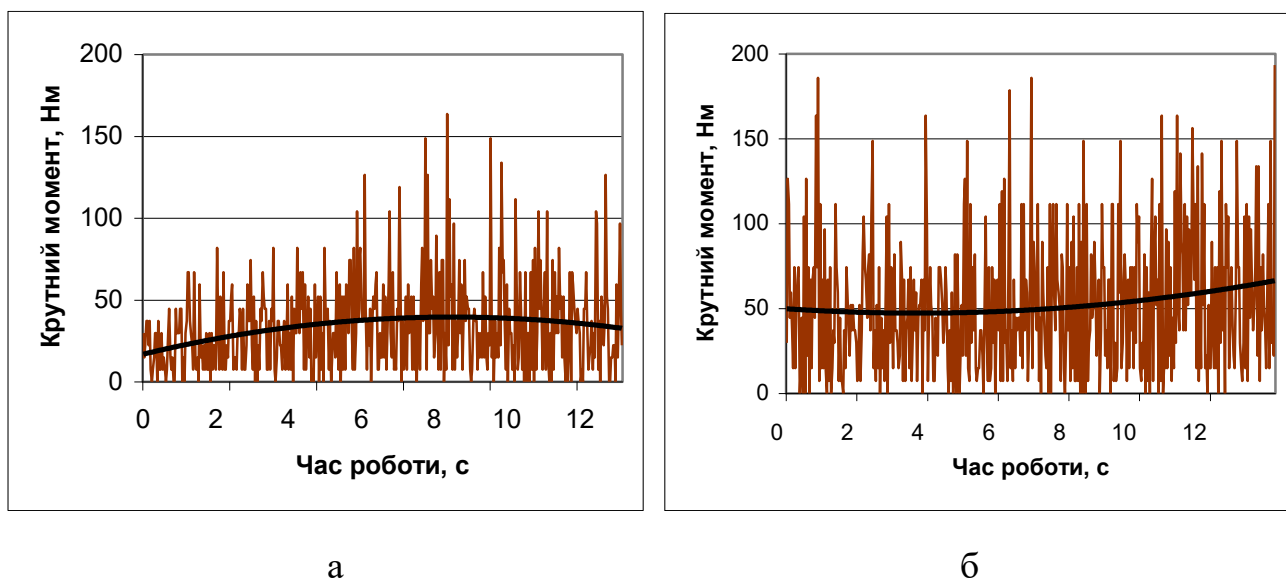


Рис. 3.13. Діаграма зміни крутного моменту при швидкості руху агрегату 4,5 км/год (а), 10 км/год (б) в холостому режимі

Середнє значення споживаної потужності ВВП трактора, витраченої під час роботи агрегату становить 8,4 кВт та 10,6 кВт відповідно при швидкості руху 4,5 км/год та 10 км/год.

Середнє значення споживаної потужності на ВВП трактора, витраченої під час роботи агрегату на холостому ході становить 4,4 кВт та 5,3 кВт відповідно при швидкості руху 4,5 км/год та 10 км/год.

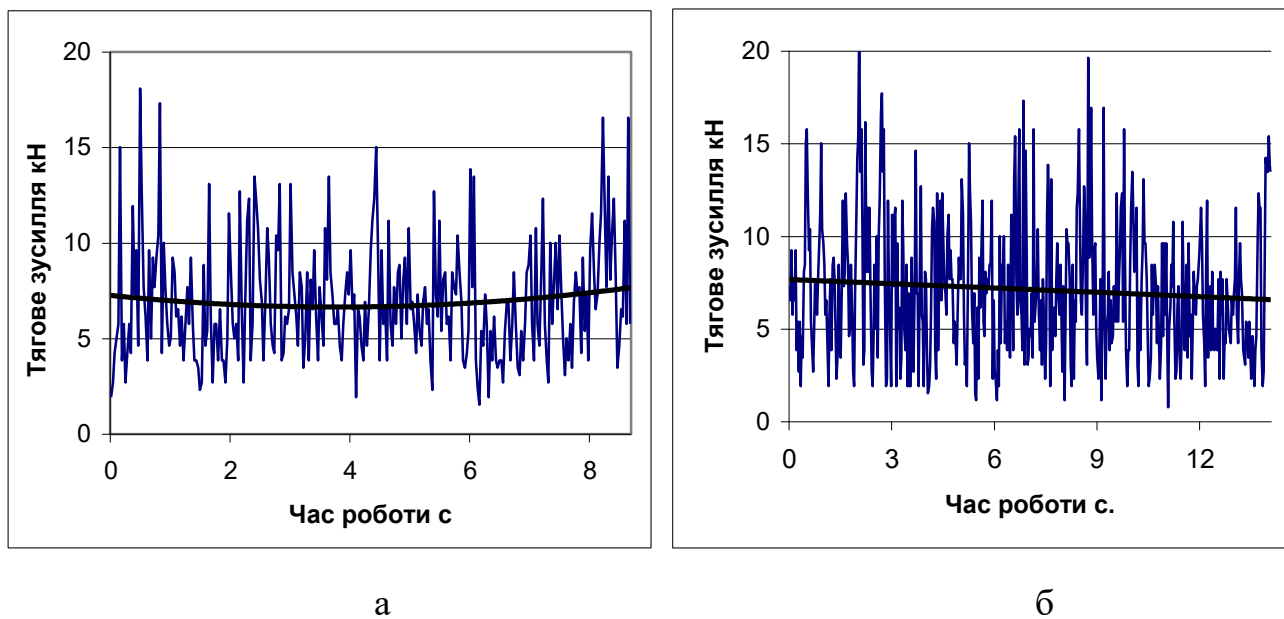


Рис. 3.14. Діаграма зміни тягового зусилля при швидкості руху агрегату 4,5 км/год (а), 10 км/год (б) в робочому режимі

Результати по витраті пального агрегатом, приведені в таблиці 4.5

Таблиця 3.5

#### Витрата пального

Передача	Довжина гону, м	Час, с.	Витрати пального		
			мм	грам	л/год
Робочий хід					
3/1	43,26	33	35	137,9	15,04
3/1	53,04	41	45	177,3	15,55
3/2	91,3	33	45	177,3	19,33
3/2	94,2	34	45	177,3	18,77
Холостий хід					
3/1	41,6	30	27	106,38	12,78
3/2	92,7	32	35	137,9	15,52

Витрата пального трактора Т–150К становила 19,05 л/год при дозі внесення 10т/га, а в перерахунку на 1 га становить 3,1 л/га. Загальні витрати потужності при швидкості 4,5 км/год та 10 км/год становили 18,6 кВт та 33 кВт відповідно [56]. Витрати потужності на 1 м робочої ширини захвата для різних марок розкидачів органічних добрив приведені в таблиці 4.6

Таблиця 3.6

Витрати потужності розкидачами органічних добрив з різними типами  
робочих органів

Марка розкидача органічних добрив	Тип робочого органу	Вантажо-підйомність тонн	Робоча ширина захвату, м	Витрати потужності на 1 м робочої ширини внесення, кВт
Gafner 5.5 Vario	Роторно-лопатевий робочий орган для бокового внесення	6	10	6,2
Jeantil EP 2060 Erandor 2	Два горизонтально встановлені шнекові робочі органи	8	4,5	6,6
Bergmann M 700 SX	Чотири вертикально встановлені шнекові робочі органи	9	7	4
Jeantil EP 2060 Erandor 3	Два дискових розподільчих органа	8	12	3,5
Jeantil EW 2060 Erandor 5	Два вертикально розташовані шнекові робочі органи	10	12	2,2
ПРТ-10+навісний модуль	Роторно-лопатевий робочий орган з боковим викидом	10	9	2,1

#### 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

Розрахунок економічної ефективності проводився у відповідності з ДСТУ 4397:2005.

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини з урахуванням кількості та якості продукції визначаємо за формулою:

$$E_p = (\dot{I}_a - \dot{I}_i) \hat{A}_\zeta + \hat{A}_y \quad (4.4)$$

де  $\Pi_b$   $\Pi_n$  – сукупні витрати на одиницю наробітку відповідно по базовій і новій машинах, грн./од;

$B_z$  – річний обсяг наробітку новою машиною, од. наробітку;

$E_y$  – річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості і якості продукції, грн.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності представлені в таблиці 4.7

Таблиця 4.7

Вихідні дані до розрахунку

Найменування показників	Числові значення показників вибору	
	базового	нового
1	2	3
Оптова ціна, грн.:		
трактора	308000	396000
машини	210000	220000
Коефіцієнт переведення оптової ціни у балансову	1.1	1.1
Продуктивність за годину експлуатаційного часу, т/год	14	19,5
Тарифна ставка тракториста, грн./год	7,95	7,95
Вартість дизельного пального, грн./кг	31,56	31,56
Питомі витрати пального, кг/т	0,457	0,40
Річне завантаження, год:		
трактора	1100	1350
машини	400	400

Норма відрахувань на ремонт, %		
трактора	10	10
машини	12,5	12,5

### Визначення економічних показників

Сукупні витрати на одиницю продукції визначаються за формулою:

$$P=I+K \cdot E_n \quad (4.5)$$

де  $I$  – прямі експлуатаційні витрати, грн./од. наробітку;

$K$  – питомі інвестиційні вкладення, грн./од. наробітку;

$E_n$  – коефіцієнт ефективності інвестиційних вкладень.

Коефіцієнт ефективності інвестиційних вкладень ( $E_n$ ) визначають за формулою:

$$A_i = \frac{\tilde{N}_a}{100} \quad (4.6)$$

де  $C_6$  – ставка пільгового кредиту Національного банку України у відсотках ( $C_6 = 7\%$ )

$$A_i = \frac{7}{100} = 0,07$$

Прямі експлуатаційні витрати ( $I$ ) у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$I=3+\Gamma+P+A \quad (4.7)$$

де  $3$  – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./од.наробітку;

$\Gamma$  – затрати на паливно-мастильні матеріали та електроенергію, грн./од. наробітку;

$P$  – затрати на технічне обслуговування, поточне та капітальне ремонтування, грн./од. наробітку;

$A$  – затрати на амортизацію, грн./од. наробітку;

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$C_{\zeta} = \frac{\sum_{i=1}^n \ddot{E}_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot k_{\ddot{A}} \cdot n_i}{W_{\zeta i}} \quad (4.8)$$

де  $L_i$  – кількість  $i$ -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонтування машини (визначають за даними випробовування), люд.;

$t_i$  – тривалість зайнятості  $i$ -го виробничого персоналу, год;

$r_i$  – погодинна тарифна ставка оплати праці на  $i$ -му виді робіт, грн/люд.-год,  
 $r_i = 7,95$  грн.;

$k_{\mathcal{D}}$  – коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо,  $k_{\mathcal{D}} = 1,17$ ;

$n_i$  – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату (пенсійний фонд, соціальне страхування, фонд сприяння зайнятості),  $n = 1,375_i$ ;

$W_{\mathcal{ZM}}$  – продуктивність нової машини за годину змінного часу, од. наробітку/год.

$$C_{\zeta(i)} = \frac{1 \cdot 7 \cdot 7,95 \cdot 1,17 \cdot 1,375}{136,5} = 0,65 \text{ \$/од.} \quad C_{\zeta(A)} = \frac{1 \cdot 7 \cdot 7,95 \cdot 1,17 \cdot 1,375}{98} = 0,91 \text{ \$/од.}$$

Затрати коштів на паливно-мастильні матеріали у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$G = q \cdot k_n \cdot C_n \quad (4.9)$$

де  $q$  – питомі витрати пального, кг /т;

$k_n$  – ціна одного кілограма пального, грн./кг ;

$C_n$  – коефіцієнт, що враховує вартість мастильних матеріалів,  $C_n = 1,1$

$$\tilde{A}_{(i)} = 0,4 \cdot 31,56 \cdot 1,1 = 13,9 \text{ \$/од.} \quad \tilde{A}_{(A)} = 0,457 \cdot 31,56 \cdot 1,1 = 15,9 \text{ \$/од.}$$

Затрати на капітальне, поточне ремонтування та технічне обслуговування (Р) у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$D = \frac{\dot{A}_{\circ} \cdot r_T}{W_{ek} T_{i(\circ\delta)}} + \frac{\dot{A}_i \cdot r_i}{W_{ek} T_{i(i)}}, \quad (4.10)$$

де  $B_T, B_M$  – балансова вартість відповідно трактора і машини;

$r_T$  – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування,  $r_T=0,11$ ;

$T_{н(тр)}$ ,  $T_{м(тр)}$  – нормативне річне завантаження відповідно трактора і машини, год.

Балансову вартість машини у гривнях визначають за формулою:

$$B = C_m k_{\delta}, \quad (4.11)$$

де  $C_m$  — ціна придбання машини без податку на додану вартість, грн.  
 $C_{м(Н)} = 210000$  грн.,  $C_{м(Б)} = 220000$  грн.;

$k_{\delta}$  – коефіцієнт для машин та устаткування, що не потребують монтажних робіт чи додаткового складання безпосередньо на місці експлуатації  $k_{\delta} = 1,1$ ;

$$\dot{A}_{\delta(i)} = 360000 \cdot 1,1 = 396000 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless}} \dot{A}_{\delta(A)} = 280000 \cdot 1,1 = 308000 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless}} \dot{A}_{i(i)} = 168000 \cdot 1,1 = 184800 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless}} \dot{A}_{i(A)} = 176000 \cdot 1,1 = 193600 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless}} \dot{A}_{i(i)}$$

$$D_{(i)} = \frac{396000 \cdot 0,115}{19,5 \cdot 1350} + \frac{184800 \cdot 0,11}{19,5 \cdot 400} = 4,33 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless} / \textit{\textless\textless\textless\textless}}$$

$$D_{(A)} = \frac{308000 \cdot 0,097}{14 \cdot 1100} + \frac{193600 \cdot 0,11}{14 \cdot 400} = 5,74 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless} / \textit{\textless\textless\textless\textless}}$$

Затрати на амортизацію машини у гривнях на одиницю виробітку визначають за формулою:

$$\dot{A} = \frac{\dot{A}_{\delta} \cdot \dot{a}_T}{W_{ci} T_{i(\delta \delta)}} + \frac{\dot{A}_i \cdot \dot{a}_i}{W_{ci} T_{i(i)}}, \quad (4.12)$$

де  $a_T$ ,  $a_M$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію трактора і машини відповідно ( $a_T = 0,1$ ,  $a_M = 0,125$ ).

$$\dot{A}_{(i)} = \frac{396000 \cdot 0,1}{19,5 \cdot 1350} + \frac{184800 \cdot 0,125}{19,5 \cdot 400} = 4,46 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless} / \textit{\textless\textless\textless\textless}},$$

$$\dot{A}_{(A)} = \frac{308000 \cdot 0,1}{14 \cdot 1100} + \frac{193600 \cdot 0,125}{14 \cdot 400} = 6,32 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless} / \textit{\textless\textless\textless\textless}}$$

Прямі експлуатаційні витрати становлять:

$$\dot{E}_{(i)} = 0,65 + 15,9 + 4,33 + 4,46 = 25,34 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless} / \textit{\textless\textless\textless\textless}} \quad \dot{E}_{(A)} = 0,91 + 13,9 + 5,74 + 6,32 = 26,87 \text{ \textit{\textless\textless\textless\textless} / \textit{\textless\textless\textless\textless}}$$

Сукупні витрати на одиницю продукції становлять:

Питомі інвестиційні вкладення у гривнях на одиницю наробітку визначають за формулою:

$$\hat{E} = \frac{\hat{A}_{\delta} + \hat{A}_i}{\hat{A}_{\zeta\delta} + \hat{A}_{\zeta i}} \quad (4.13)$$

де  $B_{зг}$   $B_{зм}$  – зональний річний обсяг наробітку відповідно трактора і машини визначають за формулою:

$$B_3 = W_{ek} T_3 \quad (4.14)$$

де  $W_{ek}$  – продуктивність нової машини за 1 год експлуатаційного часу;

$T_3$  – зональне річне завантаження машини, год.

$$\hat{A}_{\zeta i (i)} = 19,5 \cdot 400 = 7800 \text{ } \delta \quad \hat{A}_{\zeta i (A)} = 14 \cdot 400 = 5600 \text{ } \delta$$

$$\hat{A}_{\zeta i (i)} = 19,5 \cdot 1350 = 26325 \text{ } \delta \quad \hat{A}_{\zeta i (A)} = 14 \cdot 1100 = 15400 \text{ } \delta$$

Питомі інвестиційні вкладення становлять:

$$\hat{E}_{(i)} = \frac{396000 + 184800}{7800 + 26325} = 17,10 \text{ } \text{грн./}\delta \quad \hat{E}_{(A)} = \frac{308000 + 193600}{5600 + 15400} = 23,88 \text{ } \text{грн./}\delta$$

Сукупні витрати становлять:

$$\check{I}_{(i)} = 25,34 + 17,10 \cdot 0,07 = 26,53 \text{ } \text{грн./}\delta \quad \check{I}_{(A)} = 26,87 + 23,88 \cdot 0,07 = 28,54 \text{ } \text{грн./}\delta$$

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини визначають за формулою:

$$E_p = (\Pi_{\delta} - \Pi_{\eta}) W_{ek(H)} T_3 \quad (4.15)$$

$$\hat{A}_{\delta} = (28,54 - 26,53) \cdot 19,5 \cdot 400 = 15678 \text{ } \text{грн./}\delta$$

Річний прибуток від експлуатації нової машини визначають за формулою:

$$O = (I_{\delta} - I_{\eta}) W_{ek(H)} T_3 \quad (4.16)$$

$$\hat{I} = (26,87 - 25,34) \cdot 19,5 \cdot 400 = 11934 \text{ } \text{грн./}\delta$$

Результати розрахунку економічної ефективності представлені в таблиці 4.8

Таблиця 4.8

## Результати економічної ефективності

Найменування показників	Базовий варіант	Новий варіант
Затрати на оплату праці на одиницю наробітку, грн./т	0,91	0,65
Затрати на ПММ, грн./т	15,9	13,9
Затрати на КР, ПР, ТО, грн./т	5,74	4,33
Затрати на амортизацію, грн./т	6,32	4,46
Прямі експлуатаційні витрати, грн./т	26,87	25,34
Питомі інвестиційні вкладення, грн./т	23,88	17,10
Сукупні витрати, грн./т	28,54	26,53
Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн.		15678
Річний прибуток від експлуатації нової машини, грн.		11934

**4.7. Висновки по розділу**

На основі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень процесу внесення твердих органічних добрив можна зробити такі висновки:

1. За методикою повнофакторного планування і проведення експерименту визначено вплив основних конструкційно-режимних параметрів розподільного органу на якість розподілу добрив. Одержано математичні моделі у вигляді рівнянь регресії другого порядку, що адекватно описують процес роботи. Застосування методики математичного планування експерименту дало можливість визначити значення головних факторів, які мають вплив на показники якості розподілу та визначають їх режими роботи, і які були перевірені та підтверджені експериментами.

2. В результаті лабораторних досліджень встановлено залежність нерівномірності розподілу органічних добрив від кутової швидкості розподільного органу, форми лопатки та товщини шару добрив, що дозволило визначити оптимальні і раціональні значення. Так найменша нерівномірність в

$V=27,17\%$ , забезпечується при подачі добрив стрічковим транспортером з висотою шару добрив  $s = 50$  мм, кутовою швидкістю ротора  $\omega = 55,75$  с<sup>-1</sup>, лопаткою  $k = 0,403$ . З перекриттям 2,5 м при тих же параметрах найменша нерівномірність, за результатами досліджень, дорівнювала 8,7 % .

3. Встановлено, що для забезпечення якісних показників роботи розкидача з експериментальним розподільним органом значення кутової швидкості ротора повинно становити  $\omega = 53 \dots 57$  с<sup>-1</sup>, при цьому швидкість руху агрегату може змінюватись у широких межах від 4 км/год до 10 км/год.

У результаті аналізу проведених досліджень встановлено величини нерівномірності розподілу теоретично обрахованої та визначеної в результаті виробничих випробувань машини з модульно-адаптивним технічним засобом на робочій ширині захвату  $B_p = 10$  м при кутовій швидкості розподільного ротора  $\omega = 55$  с<sup>-1</sup> і лопатці  $k = 0,40$  мають близькі значення (24,05% та 26,76%), а відхилення між результатами теоретичних та експериментальних даних становить  $\Delta = 10,1\%$

4. За результатами експериментальних досліджень встановлено витрати енергії під час роботи агрегату, так при дозі внесення 10 т/га витрати потужності на ВВП трактора становили 10,6 кВт, а тягового зусилля 7,3 кН. Витрата пального в робочому режимі становила 19,05 л/год.

5. Річний економічний ефект від використання машини для внесення твердих органічних добрив, оснащеною навісним модулем для бокового внесення, становить 15678 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі підвищення ефективності застосування органічних добрив у малих дозах шляхом обґрунтування раціональних параметрів розподільного робочого органу навісного модуля з боковим викидом до розкидачів органічних добрив, що задовольняє агротехнологічним вимогам.

1. Проведений аналіз вітчизняного стану внесення органічних добрив показав, що при зменшенні об'ємів нагромадження гною та збільшенні об'ємів нагромадження пташиного посліду виникає потреба в технічних засобах для внесення органічних добрив в малих дозах до 10 т/га. На цій основі підвищити ефективність застосування органічних добрив в малих дозах можливо за рахунок застосування навісних модульно-адаптивних технічних засобів до серійних розкидачів органічних добрив оскільки вони на даний час, в найбільшій мірі задовольняють агротехнологічним вимогам.

2. Для вибору раціональних параметрів розподільного органу запропонована математична модель розподілу фракційного складу матеріалу відносно значення коефіцієнту парусності, що дає можливість отримати більш точну епюру розподілу добрив з неоднорідним фракційним складом органічних добрив.

3. Встановлено раціональні параметри розташування центру ротора відносно транспортера так при початковій швидкості руху добрив 1,72 м/с, координати по висоті становлять 370 мм, а по горизонталі 420 мм. Встановлено, що мінімальний радіус лопатки ротора повинен становити не менше 90 мм, кутова швидкість в межах 55...65 с<sup>-1</sup>, форма лопатка 0,48 при ширині внесення не менше 8 м. Нерівномірність розподілу добрив при цих параметрах коливається в межах від 17...24 %, що задовольняє агротехнічним вимогам.

4. Встановлено емпіричну залежність нерівномірності розподілу органічних добрив від кутової швидкості розподільного органа, форми лопатки та товщини шару добрив, що дозволило визначити оптимальні і раціональні значення. Так найменша нерівномірність в  $V=27,17\%$ , забезпечується при подачі

добрив стрічковим транспортером з товщиною шару добрив  $s = 50$  мм, з кутова швидкість ротора  $\omega = 55,75 \text{ c}^{-1}$ , лопаткою  $k = 0,403$ . З перекриттям 2,5 м при тих же параметрах найменша нерівномірність дорівнювала 8,7 % , а ширина розподілу добрив становить 9,5 м.

5. Якісні показники роботи розкидача з експериментальним розподільним органом досягаються при кутовій швидкості  $\omega = 53 \dots 57 \text{ c}^{-1}$ , і швидкості руху агрегату в межах від 4 км/год до 10 км/год. Встановлено нерівномірність розподілу добрив, теоретично обрахованої та визначеної, в результаті виробничих випробувань машини з модульно-адаптивним технічним засобом на робочій ширині захвату  $B_p = 10$  м при кутовій швидкості розподільчого ротора  $\omega = 55 \text{ c}^{-1}$  і лопатці  $k = 0,40$  мають близькі значення (24,05% та 26,76%).

6. За результатами випробувань встановлено витрати енергії під час роботи агрегату, так при дозі внесення 10 т/га витрати потужності на ВВП трактора становили 10,6 кВт, а тягового зусилля 7,3 кН. Витрата пального в робочому режимі становила 19,05 л/год в перерахунку на 1 га становить 3,1 л/га. Завдяки використанню навісного модуля з боковим розсіюванням до серійних розкидачів органічних добрив забезпечується внесення добрив в малих дозах до 10 т/га у відповідності з агротехнологічними вимогами, що дозволяє отримати річний економічний ефект 15678 грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В.В. Теоретичні дослідження розгону мінеральних добрив конусним розсіювальним органом [текст] / В.В. Адамчук // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства – 2003. – Вип. 21. – С. 290-296
2. Афендулов К.П. Основы системы удобрения сельскохозяйственных культур в севообороте [текст] / К.П. Афендулов. – К.: Урожай, 1971 – 252 с.
3. Бабуха Г.Л. Взаимодействие частиц полидисперсного материала в двухфазных потоках [текст] / Г.Л. Бабуха, А.А. Шрайбер. – К.: Наукова думка, 1972,- 175 с.
4. Бартош С.Г. Технічне забезпечення внесення твердих органічних добрив [текст]/ С.Г. Бартош, О.М. Калнагуз, В.О. Кудря // Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (15-19 квітня 2013 р.). – Вип 3. Т.ІІІ. – Суми, 2013 – С. 21
6. А.А. Бацула А.А. Органические удобрения [текст] / А.А. Бацула, Э.Г. Декодюк, В.И. Гамалей и др.; под. ред. А.А. Бацулы – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Урожай 1988 – 184с.
9. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. [текст] / П.М. Василенко– К.: УАСХН, 1960. –284 с.
12. Висовень В.В. До питання обґрунтування раціональної конструктивно-компоновочної схеми та способу руху розкидача органічних добрив [текст] / В.В. Висовень, В.В. Ярошенко // зб. наук. праць НАУ 100- річчю заснування НАУ – 1997 – С. 49-52
13. Вишинський О.М. Органічні добрива [текст] / О.М. Вишинський– К.: Урожай 1964 – 52 с.
5. Гайденко О. М. Дослідження динаміки руху добрив та потрапляння їх в зону дії розподільного ротора розкидача органічних добрив [текст]/ В. О. Кудря, О. М. Гайденко // Матеріали VII Всеукр. наук.-прак. конф. молодих вчених і спеціалістів “Агропромислове виробництво України – стан та перспективи

розвитку”. – Вісник Степу : наук. зб. – Кіровоград : “КОД”, 2011. – Ювілейний вип. 8. – С. 179–185.

16. Голуб Г.А. Обґрунтування основних параметрів радіально скошеного лопатевого ротора розкидача органічних добрив [текст] / Голуб Г.А., Висовень В.В., Шаблій М. Є. // Міжвідомчий тематичний науковий збірник „Механізація та електрифікація сільського господарства”. – Глеваха. – 2004. – Вип 88. – С. 200-207

17. Голуб Г.А. Радіальна швидкість компосту в барабанно-пальцевому розпушувачі [текст] / Г.А. Голуб // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства – 2003. – Вип. 21. – С. 484-491.

18. Гончаров В.В. Дослідження впливу удару на переміщення добрив по робочій поверхні лопатки розподільного робочого органу [текст] / В.В. Гончаров, В.О. Кудря // – Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених „Перспективна техніка і технології - 2009”. – Миколаїв: МДАУ, 2009 – С 20-23

19. ГОСТ 28718-90 Машины сельскохозяйственные и лесные. Машины для внесения твердых органических удобрений. Методы испытаний.

20. Дегоднюк Е.Г. Екологічні основи використання добрив [текст] / Е.Г. Дегоднюк, В.Т. Мамонтов, В.Г. Гамалей та ін: за ред. Е.Г. Дегоднюка. – К.: Урожай 1988. – 232с.

23. ДСТУ 4397:2005 „Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань”

26. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1. Частина 3. Машины для приготування і внесення добрив [текст] / Заїка П.М. – Харків.: Око – 2002. – 342с.

28. Ільченко В.Ю. Машиновикористання в землеробстві [Текст] / В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос [та ін.]; за ред. В.Ю. Ільченка, Ю.П. Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 382 с.

29. Калнагуз О.М. Аналіз розкидачів органічних добрив [текст]/ О.М. Калнагуз, В.О. Кудря, Р.І. Гнилокозов// Матеріали науково-практичної

конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ(14-18 квітня 2014 р.). – Вип 3. Т.ІІІ. – Суми, 2014 – С.18.

30. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента [Текст] : монография / В. Н. Ковшов. - К. ; Донецк : Вища школа, 1982. - 120 с.

32. Кудря В.А. Результаты исследований энергозатрат агрегата для внесения твердых органических удобрений с боковым выбросом. [текст]/ Кудря В.О., Калнагуз О.М. // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства – Минск, 2013 – Вып. 47, том 1 – С. 152-157

33. Кудря В.О. Вплив аеродинамічних властивостей органічних добрив на якість розподілу по поверхні ґрунту [текст]/ В.О. Кудря // Вісник Аграрної науки Причорномор'я – Миколаїв: Миколаївський національний аграрний університет, 2013 – Вип. 4 (74), том 1 – С. 190-196.

34. Кудря В.О. Технічні засоби для внесення рідких добрив та перспективи їх розвитку [текст] / В.О. Кудря, І.П. Прокоп'єв // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник. НААН ННЦ «ІМЕСГ» - Глеваха, 2012. - Вип. 96. – С. 201-206.

35. Лінник М.К. Модульно-адаптивні технічні засоби для виробництва і внесення органічних добрив [текст] / М.К. Лінник, Г.А. Голуб, В.О. Кудря, В.В. Висовень, М.Є. Шаблій // Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Вип. 21 – Мелітополь 2004 – С. 123-129.

40. Переходько О.Я. Обґрунтування раціональної ширини внесення твердих органічних добрив кузовними розкидачами [текст] / О.Я. Переходько, В.А. Ярощук // Механізація та електрифікація сільського господарства – 1992 – № 75 – С 70 – 74.

41. Пат. 73196 України, МПК А 01 С 3/06 Розкидач органічних добрив [текст]/ В.О. Кудря; заявник і патентовласник Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” Національної академії аграрних наук України.- №2031110074; Заявл. 30.03.2012; Опубл. 10.09.2012, Бюл.№17.

42. Снітко А.О. Розкидальні пристрої розкидачів органічних добрив [текст]/ О.М. Калнагуз, В.О. Кудря, А.О. Снітко // Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ(14-18 квітня 2014 р.). – Вип 3. Т.ІІІ. – Суми, 2014 – С. 30.

44. Чемерха Б. Зберегти родючість і зупинити деградацію ґрунтів [текст]/ Б. Чемерха // Агроном – 2006 – №1 – С.14-15.

45 Prufbericht 5304F Universalstreuer Typ Tytan mit 4-Walzen-Streuwerk / DLG Testzentrum Technik und Betriebsmittel– 2004 – p. 4

46. Prufbericht 5605F Verteilqualitat fur Zuschuss in Sachsen Universalstreuer Megafex 1700 mit Standardstreuwerk / DLG Testzentrum Technik and Betriebsmittel – 2006 – p. 5