

Міністерство освіти та науки України  
Вінницький національний аграрний університет  
Факультет механізації сільського господарства  
Кафедра сільськогосподарських машин

Допущений до захисту:  
завідувач кафедри  
к.т.н., доцент Пришляк В.М.

---

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« 07 » \_\_\_\_\_ грудня \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ  
ОРГАНІВ РОЗКИДАЧА ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»  
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи 61-АІ  
Пащук Андрій Анатолійович

---

Керівник: д.с.г.н., професор  
Курило Василь Леонідович

---

## Зміст

Завдання на магістерську роботу.....	2
Анотація.....	5
Вступ.....	7
1. Сучасний стан механізації внесення твердих органічних добрив.....	9
1.1. Органічні добрива як складова інтенсифікації сільськогосподарського виробництва.....	9
1.2. Основні технологічні властивості органічних добрив.....	11
1.3. Тенденції механізації внесення органічних добрив.....	14
1.4. Огляд розкидачів твердих органічних добрив закордонного виробництва.....	17
1.5. Технологічні схеми транспортування та внесення добрив.....	19
1.6. Висновки до розділу.....	20
2. Теоретичні дослідження основних параметрів роторного робочого органу розкидача.....	21
2.1. Вибір способу подачі добрив на робочий орган.....	21
2.2. Особливості конструкції робочого органу.....	23
2.3. Особливості робочого процесу.....	24
2.4. Фаза руху добрив по лопатці ротора.....	25
2.4.1. Визначення величини переміщення, відносної швидкості та інших параметрів взаємодії з ротором елементарної маси добрив.....	27
2.4.2. Визначення величини абсолютної швидкості та напрямку вильоту добрив з лопатки ротора.....	35
2.5. Висновки до розділу.....	40
3. Програма та методика експериментальних досліджень.....	41
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	41
3.2. Методика експериментальних досліджень та вимірювань пристрої.....	41
3.3. Вибір матеріалу для експериментів та методика визначення вологості.....	42
3.4. Опис експериментальної установки.....	43
3.5. Методика визначення якісних показників роботи ротора при зміні параметрів його робочих елементів.....	44
3.6. Методика вибору форми лопатки.....	47

3.7. Методика вибору форми та кута установ ножа.....	4
3.8. Методика вибору кута установки лопатки до радіусу ротора.....	50
3.9. Методика визначення кута обхвату ротора викидним порогом.....	50
3.10. Методика визначення дальності польоту частинок добрив та їх кількісного розподілу по поверхні поля.....	50
4. Результати експериментальних досліджень.....	51
4.1. Характер розподілу добрив на лопатці ротора при торцевій подачі добрив.....	51
4.2. Вибір форми ножа та кута його установки на барабані.....	52
4.3. Характер розподілу добрив по кутах сходу з лопатки в залежності від величини кута обхвату ротора викидним порогом та орієнтації лопатки ротора	54
4.4. Характер масового розподілу добрив по кутах сходження з лопатки та дальності розкидання в залежності від величини подачі добрив на лопатку ротора.....	58
4.5. Характер масового розподілу добрив по дальності розкидання залежно від кута установки лопатки.....	62
4.6. Компонування набору роторів у барабан.....	64
4.7. Опис конструкції та принципу роботи розкидача твердих органічних добрив.....	65
4.8. Схема розкладання куп органічних добрив на полі та методи варіювання норми їх внесення.....	66
5. Економічна ефективність впровадження розкидача органічних добрив.....	69
5.1. Економічна ефективність розробки розкидача твердих органічних добрив.....	71
5.2. Питомі капітальні вкладення.....	73
5.3. Річний економічний ефект.....	73
5.4. Строк окупності розробки конструкції розкидача твердих органічних добрив.....	73
Загальні висновки.....	75
Список використаних джерел.....	77

## Анотація

Пашук Андрій Анатолійович. Обґрунтування конструктивних параметрів робочих органів розкидача органічних добрив.

Магістерська робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія», Вінницький національний аграрний університет Міністерства освіти та науки України, Вінниця, 2018.

Магістерська робота включає в себе пояснювальну записку, котра складається із 78 сторінок друкованого тексту, 14 таблиць, 29 рисунків та 10 аркушів графічної частини формату А1.

Метою магістерської роботи є обґрунтування конструктивних параметрів та режимів роботи розкидача твердих органічних добрив.

Для досягнення зазначеної мети вирішені наступні завдання досліджень:

- визначено спосіб подачі добрив на лопатку ротора;
- досліджено процес руху маси добрив по лопатці ротора, встановити закономірності взаємодії маси добрив з лопаткою ротора;
- досліджено процес вільного польоту добрив після сходу з лопатки ротора;
- досліджено характер розподілу добрив по дальності розкидання, обґрунтувати параметри робочих органів ротора;
- надана оцінка якості розподілу добрив по площі поля при різних схемах розкладки куп;
- визначено техніко-економічну ефективність від впровадження результатів досліджень.

Ключові слова: розкидач, конструкція, параметри, технологічний процес, органічні добрива.

## Annotation

Paschuk Andriy. Justification of the structural parameters of the working organs of the spreading of organic fertilizers.

Master's work on obtaining an educational degree "Master" in specialty 208 "Agroengineering", Vinnytsia National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia, 2018.

Master's work includes an explanatory note consisting of 78 pages of printed text, 14 tables, 29 drawings and 10 sheets of graphic part of A1 format.

The purpose of the master's work is to substantiate the structural parameters and operating modes of the spreading of solid organic fertilizers.

To achieve this goal solved the following research tasks:

- the method of feeding fertilizers on the blade of a rotor is determined;
- the process of mass flow of fertilizers on the rotor blade was investigated, the regularities of the interaction of the mass of fertilizers with the rotor blade were determined;
- the process of free flight of fertilizers has been investigated as it approaches the rotor blade;
- the character of distribution of fertilizers in the spreading range is investigated, the parameters of working rotor bodies are substantiated;
- the estimation of quality of distribution of fertilizers in the field area at different layouts of the compartment is given;
- the technical and economic efficiency from the implementation of research results is determined.

Key words: spreader, design, parameters, technological process, organic fertilizers.

## Вступ

Збільшення виробництва сільськогосподарської продукції можливе тільки на основі послідовної інтенсифікації галузей сільського господарства. Важливим чинником поліпшення родючості ґрунтів є застосування органічних та мінеральних добрив, за допомогою яких найбільш швидко можна підвищити врожайність сільськогосподарських культур. Вітчизняний та зарубіжний досвід використання добрив показує що, не менше 40% приросту врожаю можна отримати за рахунок застосування добрив [1].

Органічні добрива є основним видом добривом в степовій та лісостеповій зонах України, та найкращим чином задовольняє комплекс агротехнічних та економічних вимог. Однією з основних проблем при внесенні органічних добрив є якість їх розподілу по поверхні поля.

В даний час в сільськогосподарському виробництві для внесення органічних добрив застосовують причепи-розкидачі вантажопідємністю 4,0...16 т та валкувачі-розкидачі роторного типу.

Роботи стосовно вдосконалення існуючих машин для внесення добрив потрібно направити на підвищення якості технологічного процесу. Під якість внесення добрив необхідно розуміти не тільки рівномірний розподіл їх по поверхні поля, але та внесення заданої дози в оптимальні агротехнічні терміни. Внаслідок ефекту післядії, внесення органічних добрив з низькою якістю роботи проявляється негативно протягом декількох років.

Використання причепів-розкидачів вантажопідйомністю 4000...6000 кг з колісними тракторами класу 9...14 кН на транспортуванні та внесенні добрив економічно вигідно при невеликих радіусах перевезення до 3,0 км. Зі збільшенням відстані перевезення ефективно використовуються причепи-розкидачі підвищеної вантажопідйомності, зокрема 10000...16000 кг в агрегаті з тракторами класу 30...50 кН.

Збільшення вантажопідйомності причепів-розкидачів призвело до збільшення їх тиску на ґрунт. Тиск на ґрунт ходових систем гноєрозкидачів зріс до 420 кПа, тракторів до 180 кПа. Це в 3...6 разів перевищує допустимий по агротехнічним умовам рівень тиску. Переущільнення ґрунту погіршує її

структуру, знижує ефективність дії добрив, сприяє ерозії ґрунту. Все це позначається на її родючості, знижується врожайність сільськогосподарських культур [2, 3, 4].

У пошуках найбільш ефективних засобів механізації зріс інтерес до валкувачів-розкидачів роторного типу [5, 6], які агрегуються з тракторами тягового класу 30 кН. Застосування валкувачів-розкидачів дозволяє зменшити кількість проходів агрегату по сліду, використовувати на вивезенні добрив самоскидні транспортні засоби загального призначення, якими володіють господарства, виконувати роботи по внесенню добрив у встановлені агротехнічні терміни меншою кількістю машин.

Інтерес до валкувачів-розкидачів проявляється насамперед у їх високій продуктивності, мінімальній витраті палива в порівнянні з причепами розкидачами, однак рівномірність розподілу добрив наразі не відповідає агротехнічним вимогам. Розподіл добрив по поверхні поля роторними розкидачами [7 - 10] вимагають попереднього формування куп у валок. Довжина валка залежить від норми внесення добрив, ширини розкидання та маси куп. Жодна з існуючих машин [11 - 16] не може сформувати валок з нерівномірністю 15% відповідної агротехнічним вимогам [17]. Крім того, розкидач забезпечений подільником валка, котрий при маневруванні трактора під час руху не поділяє валок на рівні частини, порушуючи цим самим розподіл добрив по сторонах.

Аналіз досліджень [18 - 20] показує, що головною причиною низької якості роботи валкувачів є недосконалість їх робочих органів. Значна частина потужності трактора (до 39 кВт) витрачається на процес валкоутворення [21]. При внесенні добрив з куп масою більше 4000 кг процес виконується в два проходи агрегату, - формування валка та розкидання добрив по довжині проходу.

Вище викладене, вказує на перспективність робіт, спрямованих на створення таких конструкцій розкидачів, які могли б розкидати добрива безпосередньо з куп без формування валка.

## **1. Сучасний стан механізації внесення твердих органічних добрив**

### **1.1. Органічні добрива як складова інтенсифікації сільськогосподарського виробництва**

Найголовнішим фактором родючості є органічна маса ґрунту, що виникла, накопичувалася та продовжує накопичуватися в ході еволюційного розвитку життя на землі. Умова накопичення тут одна: живі організми, головним чином рослинного походження, повинні залишати в ґрунті після себе органічної маси більше, ніж за своє життя вони встигають взяти з неї продуктів розкладання під час тієї ж біомаси як поживних речовин.

Органічні добрива з гною називають повним добривом, тому в його складі знаходяться всі основні компоненти та поживні речовини, необхідні для підвищення загальної родючості ґрунту.

До органічних добрив відносять гній, гнойова рідина, пташиний послід, торф, різні компости, зелені добрива, дефекація та ін..

З усіх видів органічних добрив найбільшу цінність представляють: гній, гнойова рідина та торф. Накопичення гною в чому залежить від способу утримання худоби, зокрема від виду використовуваної підстилки. Найчастіше для підстилки використовується подрібнена солома, верховий торф, тирса, тощо.

Підстилковий гній складається з твердих та рідких виділень тварин та власне підстилки. Його склад та гнойова цінність головним чином залежать від виду тварин, складу кормів, якості та кількості підстилки, способу та тривалості зберігання [23].

Кількість та співвідношення твердих та рідких виділень тварин та їх склад значно різняться в окремих видів худоби. У коней в 3,5 рази, а у овець та ВРХ в 2,5 рази більше твердих, ніж рідких виділень, у свиней кількість рідких виділень в 2 рази більше ніж твердих.

Тверді та рідкі виділення тварин нерівноцінні за складом та добривним якість. У рідких виділеннях міститься більше азоту (0,4...1,9%) та калію (0,5...2,3%), ніж твердих (відповідно 0,3...0,6% та 0,1...0,3% ), а фосфору,



навпаки, значно більше у твердих виділеннях (0,17...0,41%), ніж рідких (0,07...0,1%).

Тонна напіврозкладеного гною, внесена в ґрунт, містить від 4,5 до 8 кг азоту, 2...3 кг фосфору, калію 5...6 кг [23, 24]. Оскільки саме ці речовини, насамперед, виносяться з урожаєм з ґрунту, то таким чином вдається компенсувати цей винос.

Вважається, що в перерахунку на вуглекислі з'єднання з 30 тонами гною на один гектар в середньому вноситься: 150 кг азоту, 75 кг фосфору, 180 кг окису калію, 60 г марганцю, 10 г бору, 60 г міді, 12 г молібдену, 6 г кобальту, близько однієї тонни кальцію та магнію. Окремі, зі згаданих сполук, не тільки покращують живильне середовище, а сприяють також зниженню кислотності ґрунту. Ця обставина виступає як додаткова мотивація до застосування гною та набуває особливої важливості у зв'язку з широким використанням мінеральних добрив.

Систематичне внесення гною це щось більше, ніж разове внесення. Саме таким чином досягається процес перманентного поліпшення ґрунту, зокрема поліпшується живлення рослин кальцієм, магнієм, сіркою, мікроелементами та виділяється при розкладанні гною вуглекислота, а також накопичується гумус. При розкладанні 30...40 т гною щодня виділяється від 35 до 65 кг CO<sub>2</sub> [23]. Повітря над вгноєним полем містить в 5 разів більше вуглекислоти в порівнянні з неугноєним. Наявність вуглекислоти істотно покращує вуглецеве живлення рослин та значною мірою позитивно позначається на врожайності сільськогосподарських культур.

Органічні добрива завдяки великому вмісту органічної речовини, поряд з вже перерахованими, також надають позитивний вплив на реологічні, фізичні, фізико - хімічні та біологічні властивості ґрунту.

При систематичному внесенні гною, знижується обмінна та гідролітична кислотність, зменшується вміст у ґрунті нерухомих форм алюмінію та марганцю, а також підвищується рівень насиченості основами останніх. Завдяки органіці піщані та супіщані ґрунти стають більш в'язкими, підвищується їх поглинальна здатність та буферність, що сприяє збереженню в них вологи та

поживних речовин.

## 1.2. Основні технологічні властивості органічних добрив

Властивості гною (вологість, насипна щільність, липкість, тертя ковзання та ін.) дуже неоднорідні та залежать від великої кількості факторів. Істотний вплив на ці властивості робить вид гною, котрий визначається тим, від яких тварин він отриманий, на якій підстилці утримувалися тварини, яке співвідношення складових частин (твердих та рідких), котрий спосіб та термін зберігання. При розгляді питань механізації застосування гною та вибору раціональних технологій його внесення, а також при підборі системи машин доводиться брати до уваги особливості та закономірності зміни перерахованих властивостей.

Вологість та об'ємна маса. Об'ємна маса гною в основному залежить від підстилкового матеріалу, його щільності та вологоємності. Солома вологоємна, а, значить, добре вбирає вологу, але, тим не менш, через свою порожнистість зменшує об'ємну масу.

У разі підстилки торф'яною крихтою пустот в гної утворюється менше, рідина добре вбирається та при значній вологості об'ємна маса такого гною буде найбільшою. У таблиці 1.1 наведені дані ВІМ по вологості та об'ємній масі деяких видів злежалого гною [24].

Таблиця 1.1.

### Вологість та об'ємна маса деяких видів злежалого гною.

Вид гною	Кількість підстилкового матеріалу від загальної маси гною, %	Відносна вологість гною, %	Насипна щільність, кг/м <sup>3</sup>	Примітки
Соломистий	10	65	810	Гній вологий та м'який
	10	80	970	
	20	60	720	Гній середньої вологості
	20	75	830	

Торф'яний	15	70	920	Гній вологий та м'який
	15	86	1010	
	30	64	790	Гній середньої вологості
	30	82	910	

Маса одного кубічного метра соломистого торфо-соломистого гною коливається в межах від 780 до 980 кг при вологості 80...87%.

Відносна вологість злежалого гною великої рогатої худоби знаходиться в межах 65...85%. Торфо-соломистий гній при відношенні маси торфу до гною 1:1 містить 85...90% води. Якщо ж торфо-соломистий гній має масове співвідношення торфу до гною 2:1, то вміст води в ньому може досягати 75...88% від загальної маси.

Липкість гною, як здатність маси прилипати до різних поверхонь залежить від вологості, а також від кількості, якості та виду підстилкового матеріалу в гнойовій масі. Дані, зведені в табл. 1.2, показують, що найбільша липкість торфо-соломистого гною з вмістом торфу 20% досягається при загальній вологості 75%. Зі збільшенням відносної вологості на 11% липкість зменшується на 10 г/см<sup>2</sup>.

Таблиця 1.2.

#### Липкість свіжого гною з металевими поверхнями.

Вид гною	Відносна вологість гною, %	Липкість до сталі, г/см <sup>2</sup>
Торф'яний (торфу 20%)	66	3
	75	25
	86	15
Торфо-соломистий (торфу 10%; соломи 15%)	68	2
	75	5

Найбільша липкість чистого соломистого гною відповідає інтервалу значень відносної вологості 80...82%. При такій самій вологості найбільша липкість спостерігається та у торфо-соломистому гної при масовому відношенні торфу до гною 1: 1 та 2: 1 [25].

Дані дослідів, наведені Гімейном С.М., показують, що липкість коров'ячого гною 2-місячного зберігання в штабелях порівняно однакова стосовно дерева та сталі різних профілів та різної обробки [26].

Тертя ковзання гною залежить від чистоти поверхні ковзання, виду, вологості гною та від величини нормального тиску. При середній відносній вологості гною (78...83%) його липкість і, отже, коефіцієнт тертя ковзання, досягають максимального значення. Подальше збільшення його вологості супроводжується зменшенням липкості та коефіцієнта тертя ковзання. Ці висновки зроблені на основі аналізу експериментальних даних (табл. 1.3).

При збільшенні питомого тиску на торфо-соломистий гній з великим вмістом соломи, коефіцієнт тертя спочатку зменшиться до 0,65, а при подальшому зростанні питомої тиску збільшується до 0,80. Зниження тертя при підвищеному нормальному тиску пояснюється виділенням з гнойової маси рідких фракцій, які як би «змащують» тертьові поверхні. При подальшому підвищенні нормального тиску «змащувальні» компоненти витісняються за межі плями контакту, та тому коефіцієнт тертя зростає.

Таблиця 1.3.

**Дослідні дані визначення тертя ковзання злежаного гною.**

Вид гною	Відносна вологість, %	Метал	
		коефіцієнт тертя	кут тертя, град.
Торфо-соломистий гній з вмістом (від загальної маси підстилки): торфу 70%	72	0,89	41,5
	82	0,82	39,5
Торфу 35% Соломи 65%	76	0,85	40,5
	81	0,76	37,6
Соломистий гній	75	0,71	35,5
	79	0,60	31,0
	69	0,63	32,2

Для торфо-соломистого гною з великим відсотком торфу підвищення питомого тиску до 30 Н/м<sup>2</sup> супроводжується збільшення коефіцієнта тертя з 0,5 до 0,9. Подальше збільшення питомого тиску (до 0,07 кг/см<sup>2</sup>) викликає зменшення коефіцієнта тертя до 0,7.

Розглядаючи фізико-механічні властивості органічних добрив можна відзначити наступне:

- вологість гною ВРХ знаходиться в межах 50...90%;
- об'ємна маса гною ВРХ змінюється в межах 0,7...1,0 т / м<sup>3</sup>;
- липкість гною залежить від його вологості, виду підстилки та від поверхні тертя. Найбільше значення липкості для торфо-соломистого гною відповідає діапазону вологості 78...82% та коливаються в межах від 3,0 до 8,0 г/см<sup>2</sup>;
- тертя ковзання залежить від виду гною та від поверхні ковзання, зі збільшенням вмісту торфу в гної тертя ковзання стає більше, а із збільшенням вмісту соломи - зменшується.

З розглянутих у даному підрозділі даних випливає, що в процесі навіть нетривалого розміщення гною в купі чи штабелі, як мінімум, його вологість, а, значить, та всі залежні від неї фізико-механічні властивості не залишаються постійними ні в часі, ні по висоті шару розміщення. З цієї причини розкидальні органи повинні стійко та належним чином розподіляти добрива по поверхні поля в не залежності від згаданих обставин.

### **1.3. Тенденції механізації внесення органічних добрив**

За загальною площею угідь, в нинішній час господарства аграрного сектору України утворюють досить широкий спектр, котрий можна умовно розділити на три області, а відносяться до них господарства - на три групи: великі, середні та дрібні (рис. 1.1).

Рис. 1.1. Переважне використання розкидачів з різною продуктивністю залежно від площі ріллі.

У велико- та середньоплощадних господарствах застосовують здебільшого вітчизняні причепи-розкидачі ПРТ-16, ПРТ-10, КСВ-9, РТО-4, РОУ-5, МТО-6, МТО-12 та валкувач-розкидач з куп РУН- 15Б. Для дрібноплощадних господарств на сьогоднішній день можна рекомендувати розкидачі РТО-4 та МТО-3, а також їх аналоги.

У зв'язку з розвитком фермерських господарств на Україні актуальним стає питання розробки машин для внесення твердих органічних добрив саме для них.

Враховуючи дрібноплощадність фермерських господарств, а так само складність конфігурації полів, вживання існуючих гноєрозкидачів стає менш ефективним (кузовні розкидачі понад 10000 кг) або зовсім не ефективними.

Недоліком роботи таких розкидачів є невелика (до 10 метрів) ширина розкидання, та досить висока нерівномірність розподілу добрив по поверхні поля. Перш за все, це пов'язано з нерівномірною подачею добрив з кузова на робочі органи. У процесі розкидання зменшується товщина шару добрив у кузові, це призводить до збільшення нерівномірності їх дозування по довжині проходу. У зв'язку з цим, в технологічному процесі можна виділити три періоди: перший - вхід в режим; другий - робота в сталому режимі; третій - вихід з усталеного режиму.

При середній нормі внесення гною 20...30 т/га, довжина шляху першого періоду у причепів розкидачів ПРТ-10, КСВ-9 становить 27...32 м, а довжина шляху другого - 500...600 м. Протягом другого періоду середня нерівномірність близька до вершини, зазначеної в агротехнічних вимогах. Довжина шляху третього періоду спорожнення кузова знаходиться в межах - 170...200 м. Таким чином, нерівномірність внесення добрив на початку та заключній частині робочого шляху доходить до 60%, що значно вище агротехнічних вимог [27].

Нижче пропонується класифікація розкидачів (рис. 1.2) по компоновальним та конструктивним ознакам. Найбільш добре досліджені процеси виконуються кузовними розкидачами з хвостовими та бічними робочими органами [28], а також розкидачі з куп типу валкувачі-розкидачі [5]. У той же час, розкидачі добрив з куп без формування валка [29], залишилися не достатньо вивчені, хоч та представляють певний інтерес як найбільш підходящі машини для застосування на полях малої площі та складної конфігурації. Розкидачі добрив з куп застосовувалися за кордоном в Англії, Франції та Німеччині. Призначені вони були для розкидання добрив з невеликих куп, масою до 400 кг. Деякі з цих розкидачів забезпечували невелику ширину розкидання.

Рис. 1.2. Класифікація розкидачів для внесення твердих органічних добрив.

Процес розподілу добрив по полю у такого типу розкидачів безпосередньо залежить від якості роботи їх робочого органу. Найбільш працездатними є робочі органи у вигляді барабана або ротора (рис. 1.3).

Рис. 1.3. Класифікація робочих органів розкидачів з куп.

Процес відділення порції добрив та метання лопаткою ротора в більшості залежить від напрямку їх подачі. Досить детально вивчені робочі органи з бічною подачею добрив на лопатку ротора, та з подачею добрив під кутом до лопатки ротора [31, 32]. А торцева подача добрив, на предмет відділення порції добрив від основної їх маси, та накопичення їх на своїй поверхні, а також характеру розподілу добрив по поверхні поля, ще недостатньо досліджена.

#### **1.4. Огляд розкидачів твердих органічних добрив закордонного виробництва**

Найбільш відомими зарубіжними фірмами по виробництву розкидачів твердих органічних добрив є такі: німецькі фірми - «Бергманн», «Кемпер», «Штраутманн», «Вельгер», «Аннабургер», «Хаве», «Кухманн», «Ебберхардт-Менгеле», «Фрике», «Кеенан»; французькі фірми - «Міро», «Роланд», «Лебоулх», «Джантіль», «Брімонт»; голландські фірми - «Аг-Хем», «СР»; датські фірми - «Джі-Еф» та «Самсон»; чеська - «Агробуд-Пельгримов»; словацька - «Фарматех»; іспанська «Агріка-Бемвіч»; австрійська - «Поттінгер»; польська - «Пол-Мат-Варфарма» та ін. [33, 41].

Розкидачі, що випускаються кожним з виробників, разом утворюють широкі типорозмірні ряди. Кількість моделей однієї фірми знаходиться в межах від 4 до 17, об'єм їх кузова варіює в межах від 5,5 до 31 м<sup>3</sup>, а споживана потужність коливається від 29 до 132 кВт. Ходова частина виготовляється

одновісною, тандемом або тридемом. Практично всі розкидачі - причіпні та напівнавісні. З'явився також та самохідний, але поки виробляється тільки однією голландською фірмою «Аг-Хем Ейропе». Такий розкидач має одне переднє кероване колесо та підвіску тандем. Місткість його кузова становить 18 м<sup>3</sup>. Між кузовом та кабіною встановлений навантажувач грейферного типу.

Робочі органи, якими оснащуються зарубіжні розкидачі твердих органічних добрив, є здебільшого горизонтальними одновальними та двохвальним з лопатями або з розташованими нижче їх двома розкидальними дисками великого діаметру. Одно- та двохвальні з лопатями робочі органи використовують такі фірми СР - Голландія; «Хаве», «Аннабургер», «Вельгер», «Кохманн», «Ебберхардт-Менглі», «Теббіт», «Сапфір» та ін. - Німеччина; «Джантіль» - Франція, «Агріка» - Іспанія та ін. (табл. 1.4).

Для збільшення ширини розкидання добрив деякі фірми у складі робочих органів встановлюють нижче горизонтальних валів два диски великого діаметру. Це фірми «Фарматех» - Словаччина, СР - Голландія, «Міро» - Франція, «Куксманн» - Німеччина.

Таблиця 1.4.

**Коротка технічна характеристика  
зарубіжних розкидачів твердих органічних добрив**

Фірма виробник та державна	Об'єм кузова, м <sup>3</sup>	Вантаж-сть, т	Тип підвіски	Кількість модифікацій, шт.	Споживана потужність, кВт/л.с.
«Бергманн» Німеччина	10,6...27,5	7...20	одновісна, тандем, тридем	14	55...132
«Тебе» Німеччина	-	6...21,6	одновісна, тандем	8	-
«Штраутманн» Німеччина	11...14	10,2...18	одновісна, тандем	5	59...125
«Кемпер» Німеччина	9,5...31	-	одновісна, тандем	14	-
«Міро» Франція	-	4,75...20	одновісна, тандем	16	-



«СР» Голландія	8...14	-	одновісна, тандем	5	-
«Джантіль» Франція	8,3...17	6...14	одновісна, тандем	17	-
«Агрострой- Пельгримов»	5,5...14	5,5...14	одновісна, тандем	4	35...120
«Джи-Еф» Чехія	-	4,8...2	одновісна, тандем	5	30...90
«Вельгер» Німеччина	2,7...5,2	4,1...6,7	одновісна, тандем	5	29/40...44/60

Деякі зарубіжні фірми, такі як: «Самсон» - Данія, «Лебоулх» - Франція, «Аннабургер», «Штраутманн», «Хаве» - Німеччина, «Роллану», «Джантіль», «Міро» - Франція, обладнують свої розкидачі вертикальними двох або чотирьохлопатовими валами, в нижній частині яких встановлені диски з напрямними лопатями. За оцінками західних фахівців такі робочі органи краще використовувати при розкиданні розсипчастого гною. Німецька фірма «Кеенан» розробила робочий орган у вигляді диска великого діаметру з горизонтальною віссю обертання, на якому встановлені лопаті та розпушувач. Розташовується такий робочий орган в передній частині розкидача.

Значна частина фірм, що виготовляють розкидачі встановлюють перед робочими органами шибер, котрий переміщується у вертикальній площині. При завантаженні шибер знаходиться в нижньому положенні та запобігає потраплянню гною на робочі органи розкидача. При включенні ВВП трактора шибер переводиться у верхнє положення, після чого забезпечується подача гною на робочі органи розкидача.

### **1.5. Технологічні схеми транспортування та внесення добрив**

Технологія внесення органічних добрив передбачає виконання комплексу робіт: накопичення та зберігання, навантаження, перевезення, розкидання та закладення в ґрунт. Широке поширення набули три технологічні схеми внесення добрив: прямоточна перевантажувальна та двофазна. Незалежно від схеми внесення добрив існує дві схеми їх перевезення: безперевалочна (ферма - поле)

та перевалочна (ферма - бурт - поле). [34].

Сутність прямої технології полягає в тому, що з гноєсховища органічні добрива завантажують у транспортно-технологічні машини, ними доставляють на поле та цими ж агрегатами розкидають по поверхні поля. При перевантажувальній схемі внесення функції перевезення та розкидання розділені. Перевозять добрива автомобілями самоскидами, а розкидають причепами розкидачами або розкидачами з низькоопущеним кузовом РПН-4. Двофазна схема також передбачає поділ функцій перевезення та внесення добрив. Заздалегідь, за 5...6 днів до внесення, гній вивозиться на поле та укладається в позначених місцях в купи масою 4000...5000 кг. Перевезення гною та розкладання в купи здійснюється автомобілями самоскидами або тракторами з причепами. Розподіляють добрива валкувачами-розкидачами або розкидачами безпосередньо з куп.

Безперевалочна схема доставки добрив передбачає перевезення з прифермського гноєсховища безпосередньо на полі. При перевалочній схемі добрива перевозяться завчасно з прифермського гноєсховища в бурти, які формуються на краю удобрюваного поля, потім з буртів безпосередньо на полі.

Головна мета перевалочної схеми перевезення - скоротити відстань перевезення на маршруті бурт - поле і, виконати роботи у встановлені агротехнічні терміни меншою кількістю причепів розкидачів.

Порівнюючи прямоточну, перевантажувальну та двофазну схеми внесення добрив, бачимо, що при поділі функцій перевезення та внесення витрати енергії різко скорочуються. Двофазна схема внесення при розкиданні добрив з куп є енергозберігаючою.

Для застосування органічних добрив технологічні процеси та засоби механізації вибирають залежно від спеціалізації та розмірів тваринницьких ферм (як джерел надходження органіки) та наявності техніки. Показники якості внесення та заробки добрив повинні відповідати агротехнічним вимогам [17].

## **1.6. Висновки до розділу**

1. Органічні добрива є важливим фактором інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та поліпшення родючості ґрунтів.

2. Фізико-механічні властивості твердих органічних добрив у процесі внесення їх у ґрунт можуть змінюватися в широких межах та тому конструктивні параметри робочих органів, їх режими роботи та технологічний процес розкидання добрив в цілому повинні забезпечувати стійку працездатність при дотриманні якісних показників роботи в цих умовах.

3. Аналіз структури орних угідь України показує, що їх значну частину (близько 30%) становлять поля площею менше 30 га (здебільшого у східних областях). У прикарпатських областях, середній розмір польової ділянки разом менше (близько 6 га). Значна частина полів малих розмірів мають складну конфігурацію. В даний час бурхливими темпами розвивається фермерство, що також сприяє появі полів малого розміру. У таких умовах застосування існуючих гноєрозкидачів, стає менш ефективним (кузовні розкидачі понад 10 т) або зовсім не ефективним (валкувачі-розкидачі). Все це істотно актуалізує питання розробки та виробництва засобів механізації внесення твердих органічних добрив на невеликих полях зі складною конфігурацією.

## 2. Теоретичні дослідження основних параметрів роторного робочого органу розкидача

### 2.1. Вибір способу подачі добрив на робочий орган

Проаналізувавши роботу відомих робочих органів розкидачів твердих органічних добрив роторного типу [30 – 32] можна прийти до висновку, що подача добрив на їх робочу поверхню здійснюється переважно двома способами: перший - бічний (рис. 2.1 а), коли добрива подаються по нормалі до площини обертання ротора; другий - під деяким кутом до тієї ж площини (рис. 2.1, б).

а

б

в

Рис. 2.1. Варіанти подавання добрив на лопатку ротора (1 - диск, 2 - лопатка, 3 - добрива):

а - бічна подача (по нормалі до площини обертання); б - кутова подача (під кутом  $\sigma$  до площини обертання); в - торцева подача (по нормалі до осі обертання)

Розкидач твердих органічних добрив з куп з кутовою їх подачею на ротор, раніше вже розроблявся Луньовим Ю.І. [30]. Робочий процес такого розкидача припускав кругові руху агрегату навколо купи. Робочий орган являв собою ротор діаметром 1,25 м з шістьма лопатями. Подача добрив на лопать, як уже було сказано, здійснювалася під кутом до неї. Ширина захвату такого робочого органу безпосередньо залежить від його розмірів. Чим більше діаметр ротора, тим більше добрив він може розкидати за один оборот навколо купи. Але надмірне збільшення діаметра: по-перше, неминуче тягне підвищена витрата потужності двигуна трактора; по-друге, призводить до необґрунтовано великому радіусу розкидання. Зниження дальності розкидання добрив таким робочим органом за рахунок зниження його швидкості обертання призводило до зниження стійкості технологічного процесу.

Таким чином, прийнята кутова швидкість обертання ротора  $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$  та його діаметр 1,25 м це компроміс між продуктивністю агрегату та стійкістю технологічного процесу, що безумовно є не стільки досягненням, скільки недоліком відомої конструкції. У кінцевому підсумку такий розкидач все одно мав недостатню продуктивність, а, значить, високі питомі витрати енергії.

У запропонованій конструкції робочого органу передбачається торцева подача добрив на лопатку (рис. 2.1, в). Ця особливість відрізняє його від відомих робочих органів розкидачів роторного типу.

Мотивацією до вибору такого конструктивного рішення в основному послужила та обставина, що відомі конструкції роторів некомпонуються в барабан, а, значить, власними розмірами, які вибираються з позицій продуктивності та працездатності, обмежують ширину області забору добрив. Пропонований до застосування спосіб подачі добрив дозволяє створювати робочі органи, як у вигляді роторів, так та у вигляді їх наборів, тобто барабанів.

У самому загальному розумінні, ротор являє собою диск із закріпленими на ньому рухливими або нерухомими лопатками. Барабан набирається з декількох таких дисків (роторів).

З погляду ширини захвату такого робочого органу його діаметр значення не має, адже ширина захвату тепер визначається шириною барабана (кількістю роторів у наборі) а, значить, шляхом зменшення його діаметра відкривається можливість знизити енергетичні втрати. Відносно частоти обертання такого робочого органу немає підстав змінювати вбрання в роботі [30] значення, рівне  $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$ .

## 2.2. Особливості конструкції робочого органу

Пропонований робочий орган (рис. 2.2) являє собою барабан, що включає в себе підставу з валом 1, на якому змонтовані диски 2. На дисках жорстко закріплені за допомогою болтів 3 ножі 4 та лопатки 5. Внутрішні кромки лопаток віддалені від центру диска на відстань  $r_{\min}$ , а зовнішні - на  $r_{\max}$ .

Довжина робочої поверхні лопатки визначається параметром  $l$ . По відношенню до зовнішньої кромці диска, діаметр якого дорівнює  $r_{\partial}$ , лопатки

розташовані таким чином, що  $r_{\max} < r_{\delta}$ .

Барабан має горизонтальну вісь обертання та забезпечений нижнім викидним порогом  $b$ . Поріг охоплює барабан по зовнішньому контуру в межах кута охопту  $i$ , тим самим визначає момент початку сходу добрив з лопатки. Орієнтація площин кожної лопатки та ножа, по відношенню до радіусу диска, задається, відповідно кутами  $\alpha$  та  $\varepsilon$ .

### Рис. 2.2. Робочий орган розкидача органічних добрив

Ключовим розміром робочого органу є його радіус  $r_{\max}$ , котрий спираючись на відому роботу [30] та вище наведені міркування був прийнятий рівним 0,4 м та в дослідах не змінювався.

### 2.3. Особливості робочого процесу

Технологічний процес роботи барабана полягає в наступному. При його обертанні ножі відокремлюють шар добрив від основної їх масі, а лопатки захоплюють відокремлений шар та накопичують на своїй поверхні. У цей час добрива рухаються по робочій поверхні лопатки в напрямку центру їх обертання, розподіляючись та заповнюючи собою всю робочу поверхню лопатки. Об'єм накопичених на лопатці добрив залежить від величини подачі їх на лопатку.

При подальшому обертанні барабана накопичена маса добрив, спочатку, головним чином, під впливом доцентрових сил зупиняється, а потім під їх же дією починає переміщатися по поверхні лопатки на її периферію. Одночасно з цим, у своєму обертальному русі перебуваючи на лопатці, заодно з нею, порція добрив переміщається до краю викидного порога.

Далі під дією інерційних сил, отримавши початкову швидкість, порція добрив сходить з лопатки. Сам процес відразу добрив з лопатки протяжний в часі. Добрива залишають її не одномоментно, а поступово, по частинах. Та частина порції добрив, котра була ближче до периферії сходить з лопатки першого. За нею йдуть інші.

Таким чином, робочий процес розподілу добрив по поверхні поля кожної лопаткою ротора, можна умовно розділити на три фази: перша - заповнення лопатки добривами (з моменту початку процесу відділення порції добрив від основної їх масі та до моменту її зупинки на лопатці); друга - ковзання добрив на периферію лопаток (починаючи з моменту їх зупинки в кінці фази заповнення та включаючи момент відриву від лопатки); третя - фаза вільного польоту (від моменту відриву частинок добрив, до моменту торкання ними поверхні поля). Виконання робочого процесу, в межах кожної названої фази, підпорядковане своїм специфічним законам.

Перша фаза заповнення лопатки добривами вивчалася експериментально та з цього буде проаналізована дещо пізніше. Далі, в поточному розділі, розглядаються залишилися дві фази (ковзання та вільного польоту) у порядку згадування.

Зрештою, виходячи з вище викладеного, щодо параметрів пропонованого робочого органу розкидача та його робочого процесу, будуть визначені наступні величини: а) кут установки лопатки до радіусу ротора; б) шлях руху частинки по лопатці ротора; в) напрямок по відношенню до горизонту та швидкість відразу частинок добрив з лопатки ротора; г) дальність польоту частинок добрив в напрямку розкидання.

#### **2.4. Фаза руху добрив по лопатці ротора**

Процес руху добрив по лопатці ротора взагалі, та швидкість сходу добрив з лопатки зокрема, залежить від ряду фіксованих та змінних величин, до них необхідно віднести: по-перше, конструктивні параметри робочого органу, тобто вже згадувані радіуси  $r_{\min}$ ,  $r_{\max}$ , довжину робочої поверхні лопатки  $l$  та кут  $\alpha$ , а також кут охопту ротора викидним порогом  $l$  (рис. 2.2, 2.3); по-друге, режимні параметри, зокрема, подача добрив на лопатку ротора  $p$ ; по-третє, фізико-механічні властивості добрив та матеріалу лопаток, а саме, кут тертя добрив по матеріалу лопаток  $\varphi$ ; по-четверте, параметри  $x_m$ ,  $y_m$  та  $r_m \in [r_{\min}, r_{\max}]$  початкового положення (точка) елементарної порції добрив (маси  $m$ ) на робочій поверхні

лопатки  $M$  (рис. 2.3).

а б

Рис. 2.3. Два варіанта орієнтації робочої поверхні лопатки ротора (1 - ротор; 2 - лопатка; 3 - викидний поріг;): а - радіальна ( $\alpha = 0$ ); б - під кутом до радіусу ( $\alpha > 0$ ).

Тут порція добрив, що знаходиться на лопатці на початку фази ковзання розглядається у вигляді сукупності елементарних мас, одна з яких рівна  $m$  та розташовується в точці  $M$ . Параметри  $x_m, y_m$  слід розуміти, як координати точки  $M$  в рухомій декартовій системі координат  $OXY$ , базисна точка  $O$  якої поєднана з віссю обертання ротора, а вісь абсцис паралельна (коли  $\alpha > 0$ ) робочій поверхні лопатки або збігається з нею (якщо  $\alpha = 0$ ). Таким чином  $x_m, y_m$  - завжди позитивні фіксовані величини.

У загальному випадку кут  $\alpha$ , що визначає нахил лопатки по відношенню до радіусу ротора  $r_{\max}$ , переведеного в крайню точку на робочій поверхні лопатки, може мати як негативні  $\alpha < 0$ , так та позитивні, включаючи нуль  $\alpha > 0$ , значення. Рис. 2.3 ілюструє останні два варіанти, які використовуються у разі застосування нижнього викиду. Ці варіанти розглядаються далі.

Відносно матеріальної точки  $M$ , а, значить, елементарної маси  $m$  можна сказати, що, чим далі від зовнішнього торця лопатки вона знаходиться (чим менше  $r_m$  або чим більше  $x_m$ ), тим більшу розгінну ділянку вона матиме, а в підсумку і, ймовірно, більшу швидкість сходу. Зміна кута нахилу лопатки  $\alpha$  в значній мірі впливає не тільки на кількісні показники процесу ковзання добрив по лопатці, а навіть визначає сам характер взаємодії лопатки з добривами. Значне збільшення  $\alpha$  може призвести до відриву добрив від поверхні лопатки, а, значить, до неможливості ковзаючої їх взаємодії. Зрештою, так чи інакше, зміна кута  $\alpha$ , співвіднесені зі значеннями кута охоплення барабана викидним порогом  $\iota$  та іншими перерахованими вище параметрами, спричиняє зміну швидкості та напрямки вильоту добрив.

Описана вище фаза ковзання добрив по поверхні лопатки може бути формалізована як процес руху вагової матеріальної точки  $M$  по обертовій



плоскій поверхні.

На початку фази ковзання, елементарна маса  $m$ , що знаходиться на лопатці ротора, яку ми приписуємо фізичній точці  $M$ , при обертанні ротора, як відомо, бере участь у складному русі: переносному - разом з лопаткою та відносному - вздовж лопатки. Абсолютна швидкість  $V_{abc}$  елементарної маси  $m$  в момент сходу з лопатки складається з переносної  $V_{nep}$  та відносної  $V_{відн}$  швидкостей (в м/с)

$$\vec{V}_{abc} = \vec{V}_{nep} + \vec{V}_{отн}, \quad (2.1)$$

де всі три швидкості розуміються як векторні величини.

Визначення модуля  $V_{nep}$  переносної швидкості  $V_{nep}$  виконується по відомій формулі

$$V_{nep} = \omega \cdot r_x, \quad (2.2)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість ротора,  $c^{-1}$ ;

$r_x \in [r_m, r_{max}]$  - радіус поточного положення елементарної маси  $m$  на лопатці ротора (рис. 2.4), м.

#### 2.4.1. Визначення величини переміщення, відносної швидкості та інших параметрів взаємодії з ротором елементарної маси добрив

Питання визначення відносної швидкості  $V_{відн}$  дещо складніше. Нагадаємо, що точка  $M(x_m, y_m)$  початкового положення елементарної маси  $m$  фіксована ( $x_m = \text{const}$ ,  $y_m = \text{const}$ ), тобто нерухома по відношенню до лопатці і, обертової заодно з ротором, декартовій системі координат  $OXY$ .

Оскільки, вісь абсцис цієї координатної системи паралельна поверхні лопатки, то, у разі безвідривного ковзання, поточне положення елементарної маси  $m$  (точки  $M'$ ) по відношенню до точки початкового положення  $M$  визначається різницею абсцис  $x - x_m$ , а поточні відносна швидкість  $V_{відн}$  та відносне прискорення  $W_{відн}$ , відповідно, першої та другої похідної  $x$  за часом  $t$ , тобто

$$V_{відн} = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \quad \text{та} \quad W_{відн} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}.$$

Розглянемо схему сил, діючих на елементарну масу  $m$  (рис. 2.4):  $mg$  - вага, де  $g$  - прискорення вільного падіння;  $m\omega^2 r_x$  - відцентрова сила інерції;  $2m\omega x$  -

Кориолісова сила інерції;  $F=Nf$  - сила тертя, де  $N$  - нормальна сила реакції, а  $f=\operatorname{tg}\varphi$  - коефіцієнт тертя матеріалу, що становить елементарну масу  $m$  по матеріалу лопатки.

При цьому пружністю згадуваних матеріалів, взаємодією елементарних мас  $m$  між собою, а також опором повітря, нехтуємо.

Рис. 2.4. Схема сил, що діють на елементарну масу добрив  $m$ , котра ковзає по лопатці, у випадку, коли кут нахилу лопатки  $\alpha$  позитивний, тобто  $\alpha > 0$ .

Далі, маючи на увазі відносний рух та розкладаючи діючі сили по осях рухомої системи координат  $OXY$ , складаємо диференціальні рівняння силового балансу [35]:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = m\omega^2 r_x \cos \gamma + mg \sin \xi - F, \\ m\ddot{y} = m\omega^2 r_x \sin \gamma - mg \cos \xi - 2m\omega \dot{x} + N, \end{cases} \quad (2.3)$$

де:  $\gamma$  - кут між радіусом  $r_x$  поточного положення елементарної маси  $m$  добрив на лопатці та площиною робочої поверхні лопатки, град.;

$\xi$  - кут між нормаллю до робочої поверхні лопатки та напрямком вектора прискорення вільного падіння, град.;

$\ddot{y}$  - нормальна (по відношенню до робочої поверхні лопатки) складова відносного прискорення  $W_{\text{відн}}$ , котра в даному випадку безвідривного руху рівна нулю, ( $\ddot{y} = 0$ ), а, значить,  $\ddot{x} = W_{\text{відн}}$  - повне відносне прискорення.

Оскільки  $\ddot{y} = 0$ ,  $r_x \sin \gamma = y_m$ ,  $r_x \cos \gamma = x$ , а  $F=Nf$ , то система (2.3) перетвориться до виду

$$\begin{cases} m\ddot{x} = m\omega^2 x + mg \sin \xi - Nf, \\ -N = m\omega^2 y_m - mg \cos \xi - 2m\omega \dot{x}, \end{cases} \quad (2.4)$$

де

$$\xi = \xi_0 - \omega t, \quad (2.5)$$

а  $\xi_0$  - початкове значення кута  $\xi$ , коли  $t=0$ , в свою чергу, визначається виразом

$$\xi_0 = \frac{\pi}{2} + \alpha - \iota. \quad (2.6)$$

З другого рівняння (2.4), після підстановки (2.5) і початкового значення часу  $t = 0$  слідує умова безвідривного ковзання

$$\dot{x}_m \geq \frac{\omega^2 y_m - g \cos \xi_0}{2\omega}, \quad (2.7)$$

де  $\dot{x}_m = \dot{x}(t)|_{t=0}$  - початкове значення відносної швидкості елементарної маси  $m$ . Щоб відрив не відбувся пізніше, необхідно щоб значення швидкості  $\dot{x} = \dot{x}(t)$  аж до сходу елементарної маси з поверхні лопатки задовольняло умову  $\dot{x}|_{t>0} > \dot{x}_m$ , як ми побачимо пізніше, умова  $\dot{x}|_{t>0} > \dot{x}_m$  виконується завжди.

Підстановка другого рівняння (2.4) в перше, а також вирази (2.5) для кута  $\xi$ , після формальних перетворень в кінцевому підсумку призводить до звичайного лінійного неоднорідного диференціального рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами

$$\ddot{x} + 2\omega f \dot{x} - \omega^2 x = \frac{g}{\cos \varphi} \sin(\xi_0 - \varphi - \omega t) + \omega^2 y_m \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.8)$$

Загальний розв'язок неоднорідного рівняння (2.8) представляється як сума якого-небудь часткового рішення цього рівняння та загального рішення відповідного однорідного рівняння. Алгоритм пошуку такого рішення добре відомий [36], на ньому ми зупинятися не будемо, а наведемо лише кінцеві вирази:

$$(2.9)$$

$$(2.10)$$

$$(2.11)$$

$$\text{де} \quad (2.12)$$

а  $C_1$  та  $C_2$  - постійні інтегрування, які знаходимо виходячи з прийнятих початкових умов

$$(2.13)$$

Для цього у вирази (2.9) та (2.10) виконуємо підстановку  $t=0$ ,  $x=x_m$ ,  $\dot{x} = \dot{x}_m$ . Далі отримані таким чином два рівняння розглядаємо як систему з двома невідомими  $C_1$  та  $C_2$ . Вирішивши його отримуємо

$$(2.14)$$

де  $\dot{x}_m$  - або призначається виходячи з апіорних міркувань, або визначається виходячи з умови безвідривного ковзання (2.7) зі знаком рівності. У всіх виразах (2.7), (2.10), (2.11), (2.12) та (2.14), що представляють собою, що відповідає початковим умовам (2.13), шукане загальне розв'язання рівняння (2.8), кут  $\zeta_0$  замінюється відповідно з виразом (2.6).

На рис. 2.5 представлені графіки, що ілюструють загальні закономірності ковзання елементарних мас  $m$  добрив по лопатці ротора. При його побудові початкові значення  $x_m$  та  $y_m$  з урахуванням (рис. 2.4) розраховували по формулам

$$x_m = r_{\max} \cos \alpha - l, \quad \text{та} \quad y_m = r_{\max} \sin \alpha. \quad (2.14)$$

а

б

Рис. 2.5. Закономірності зміни шляху  $x$ , швидкості  $\dot{x}$  та прискорення  $\ddot{x}$  ковзання елементарної маси  $m$  по робочій поверхні лопатки в залежності від кута повороту ротора для двох значень кута нахилу лопатки (а -  $\alpha=0$ ; б -  $\alpha=1/18\pi$ ;) та трьох значень кута зовнішнього тертя (— -  $\varphi=0,1$ ; — — -  $\varphi=0,541$ ; — · — -  $\varphi=0,7$ ;) при наступних значеннях задіяних параметрів:  $\iota=0,611$ ;  $\omega=42,82 \text{ c}^{-1}$ ;  $r_{\max}=0,4\text{м}$ ;  $l=0,15\text{м}$ .

На рис. 2.5 крайні значення кута тертя  $\varphi$  взяті нереальними (для органічних добрив), з метою більшої ілюстративності відносно оцінки дрейфу досліджуваних величин  $x$ ,  $\dot{x}$ ,  $\ddot{x}$  в випадку різних  $\varphi$ .

Якщо  $\alpha \neq 0$  та  $\dot{x}_m = 0$ , то безвідривне ковзання елементарних мас  $m$  по поверхні лопаток ротора можливе не завжди. Але, тим не менш, якщо на початку взаємодії умова (2.7) виконується (за рахунок зминання порції добрив в період проходження області охоплення барабана викидним порогом), то в подальшому, в процесі ковзання, відрив елементарної маси від поверхні лопатки можливий тільки після закінчення довжини самої лопатки.

У такому випадку початкове значення відносної швидкості  $\dot{x}_m$  не рівне нулю. Саме цей випадок, ковзаючого руху, відображає рис. 2.5, б, якому відповідає  $\alpha=1/18\pi$  та  $\dot{x}_m = 2,906 \text{ м/с}$ .

Момент сходу елементарної маси з лопатки на рисунку не контролюється. Передбачається, що довжини лопатки вистачає аж до повороту ротора на одну чверть оберту

Введемо наступні позначення:  $t_c$  - інтервал часу протягом якого елементарна маса  $m$  сходить з лопатки;  $l_c$  - шлях який проходить елементарна маса від початку взаємодії з лопаткою до сходу з неї;  $\dot{x}_c$  - значення відносної швидкості  $V_{відн}$  елементарної маси  $m$  в момент сходу її з лопатки;  $\theta = \omega t_c$  - кут на який повертається ротор протягом часу  $t_c$ . Відповідно до прийнятих позначеннями

$$l_c = r_{\max} \cos \alpha - x_m, \quad (2.15)$$

де

тобто, чим ближче до периферійному краю лопатки розташовується елементарна маса  $m$  (чим більше  $x_m$ ), тим менший шлях  $l_c$  вона проходить у стані ковзання по лопатці до моменту сходу з неї.

На рис. 2.6 наведено залежності виду  $t_c = t_c(l_c, \alpha)$ ,  $\theta = \theta(l_c, \alpha)$  та  $\dot{x}_c = \dot{x}_c(l_c, \alpha)$ , де  $t_c$ ,  $\theta$  та  $\dot{x}_c$  представляються як функції двох аргументів.

Рис. 2.6. Закономірності зміни інтервалу часу ковзання  $t_c$ , величини кута повороту ротора  $\theta = \omega t_c$  та відносної швидкості сходу  $\dot{x}_c$  елементарної маси  $m$ , в залежності від його початкового положення  $x_m = r_{\max} \cos \alpha - l_c$  на лопатці та величини кута нахилу лопатки  $\alpha$  при наступних значеннях постійних параметрів:  $\varphi = 0,541$ ;  $t = 0,611$ ;  $\omega = 42,82 \text{ c}^{-1}$ ;  $r_{\max} = 0,4 \text{ м}$ ;  $l = 0,15 \text{ м}$ .

Розрахунок значення  $t_c$  виконувався з виразу (2.9) шляхом ділення відрізка навпіл, час ковзання  $t$  підводилося до такого значенню  $t_c$ , коли вираз (2.9) дає  $x_{t=t_c} = r_{\max} \cos \alpha$ .

Цей розрахунок, зокрема, а також побудова графіків цього розділу та всі наступні графіки, та розрахунки взагалі, виконувалися на ЕОМ, шляхом застосування спеціально написаних на Visual C ++ 6.0 програм, які виконувалися під управлінням OS Microsoft Windows 2000.

Маючи  $t_c$  далі, відповідно з визначенням  $\theta = \omega t_c$  обчислювали кут  $\theta$  та будували поверхню рис. 2.6 б. Потім, прийнявши, що  $t = t_c$  та застосувавши вираз (2.10) - поверхня рис. 2.6 в.

З рис. 2.6 видно, що чим далі від краю лопатки (чим більше  $l_c$ ) починає рух елементарна маса  $m$  та чим більше  $\alpha$ , тем більшу відносну швидкість  $V_{відн}/_{t=t_c} = \dot{x}_c$

вона має в момент відриву від лопатки.

Час ковзання  $t_c$  та кут повороту барабана  $\theta$ , навпроти, тим більше, чим менше кут  $\alpha$ .

У відношенні значення  $l_c$  характер зміни  $t_c$  та  $\theta$  якісно такий самий, як та швидкості сходу  $\dot{x}_c$ . Все це вказує на той факт, що розглянутий робочий орган здатний розсіювати добрива по куту вильоту та початковій швидкості, та тим самим впливати на дальність польоту елементарних мас добрив після сходу їх з лопатки.

В табл. 2.1 для соломистого гною вологістю 79%, 69% та 75% якому відповідають наступні кути тертя  $\varphi \in \{31,0^\circ; 32,2^\circ; 35,5^\circ\}$  наведені конкретні розрахункові значення часу ковзання  $t_c$ , кута повороту ротора за період ковзання  $\theta$  та відносної швидкості в момент сходу елементарної маси з лопатки  $V_{\text{відн}}/t=t_c = \dot{x}_c$  в залежності від першопочаткового положення елементарної маси на лопатці, тобто величини шляху ковзання  $l_c$  та величини кута нахилу лопатки  $\alpha \in \{0^\circ; 10^\circ; 20^\circ; 30^\circ\}$ . Всі інші параметри були прийняті наступними:  $i=35^\circ$ ;  $\omega=42,82 \text{ с}^{-1}$ ;  $r_{\text{max}}=0,4\text{м}$ ;  $l=0,15 \text{ м}$ .

Таблиця 2.1.

**Результати розрахунків часу ковзання  $t_c$ , кута повороту барабана  $\theta$  та відносної швидкості  $V_{\text{відн}}/t=t_c = \dot{x}_c$  для серії заданих значень довжини шляху ковзання  $l_c$ , кута зовнішнього тертя  $\varphi$  та кута нахилу лопатки  $\alpha$**

$l_c$ , м	$\varphi$ , рад	$\alpha$ , рад	$t_c$ , с	$\theta$ , рад	$\dot{x}_c$ , м/с
1	2	3	4	5	6
0,03	0,541	0,000	0,0100	0,433	5,540
		0,175	0,0078	0,337	5,969
		0,349	0,0063	0,270	6,507
		0,524	0,0052	0,224	7,116
	0,562	0,000	0,0101	0,435	5,505
		0,175	0,0079	0,338	5,937
		0,349	0,0063	0,270	6,485
		0,524	0,0052	0,225	7,101
	0,62	0,000	0,0103	0,441	5,373
		0,175	0,0079	0,340	5,847
		0,349	0,0063	0,271	6,422
		0,524	0,0052	0,225	7,056
0,06	0,541	0,000	0,0154	0,650	7,144

		0,175	0,0126	0,540	7,649		
		0,349	0,0106	0,455	8,139		
		0,524	0,0092	0,395	8,596		
	0,562		0,000	0,0155	0,664	7,058	
			0,175	0,0126	0,543	7,583	
			0,349	0,0106	0,455	8,087	
		0,562	0,524	0,0092	0,395	8,559	
			0,62	0,000	0,0158	0,676	6,814
				0,175	0,0128	0,549	7,398
	0,349	0,0107		0,459	7,947		
		0,62	0,524	0,0093	0,397	8,452	
			0,09	0,541	0,000	0,0202	0,867
0,175					0,0169	0,723	8,660
0,349	0,0145	0,621			9,140		
0,524	0,0128	0,549			9,543		
	0,562	0,000	0,0204	0,874	7,953		
		0,175	0,0169	0,727	8,563		
		0,349	0,0145	0,624	9,074		
		0,524	0,0128	0,551	9,484		
	0,62	0,000	0,0209	0,895	7,610		
		0,175	0,0172	0,739	8,292		
		0,349	0,0147	0,631	8,859		
		0,524	0,0129	0,555	9,315		

Продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6
0,12	0,541	0,000	0,0251	1,075	8,663
		0,175	0,0210	0,903	9,320
		0,349	0,0183	0,783	9,827
		0,524	0,0163	0,701	10,184
	0,562	0,000	0,0253	1,086	8,511
		0,175	0,0212	0,909	9,197
		0,349	0,0183	0,787	9,726
		0,524	0,0164	0,703	10,104
	0,62	0,000	0,0260	1,117	8,086
		0,175	0,0216	0,927	8,850
		0,349	0,0186	0,798	9,445
		0,524	0,0166	0,710	9,879
0,15	0,541	0,000	0,0302	1,295	9,041
		0,175	0,0253	1,088	9,762
		0,349	0,0221	0,948	10,287
		0,524	0,0199	0,854	10,623
	0,562	0,000	0,0305	1,309	8,863

		0,175	0,0255	1,096	9,614
		0,349	0,0222	0,954	10,166
		0,524	0,0120	0,857	10,525
	0,62	0,000	0,0315	1,354	8,371
		0,175	0,0261	1,122	9,203
		0,349	0,0226	0,970	9,827
		0,524	0,0202	0,868	10,251

Наведені в табл.2.1 дані надалі будуть використані для проведення розрахунків, стосовно дальності аналітичних переміщення добрив після сходу їх з лопатки, тобто протягом фази вільного польоту.

#### 2.4.2. Визначення величини абсолютної швидкості та напрямку вильоту добрив з лопатки ротора.

Відомо, що абсолютна швидкість  $V_{абс}$  елементарних мас добрив в момент їх сходу з лопатки барабана рівна векторній сумі переносної  $V_{пер}$  та відносної  $V_{відн}$  швидкостей. Для розрахунку модуля  $V_{абс}$  абсолютної швидкості та визначення її напрямку (кут  $\beta_c$ ) звернемося до рис. 2.7.

Рис. 2.7. Схема швидкості, з якими елементарна маса  $m$  добрив покидає лопатку ротора.

Маючи на увазі, загальний випадок, (рис. 2.3, б) похилій орієнтації лопаток ротора ( $\alpha \geq 0$ ), скориставшись законами тригонометрії [37], запишемо вирази для обчислення модуля абсолютної швидкості

$$(2.16)$$

де

$$(2.17)$$

Виконавши підстановку (2.17) в (2.16), остаточно маємо

$$(2.18)$$

В окремому випадку (рис. 2.3а), коли лопатки ротора орієнтовані радіально ( $\alpha=0$ ) вираз (2.18) зводиться до виду



Кут  $\beta$  нахилу вектора  $V_{a\bar{b}c}$  до горизонту визначимо через кут  $\psi$  між векторами  $V_{nep}$  та  $V_{a\bar{b}c}$ . Виходячи з геометричних побудов (рис. 2.7) записуємо

$$(2.20)$$

$$(2.21)$$

Тепер виконавши підстановку  $\psi$  (2.21) в (2.20) і вирішивши отримане стосовно  $\beta_c$  отримуємо остаточний вираз

$$(2.22)$$

Отримані вирази (2.18) та (2.22) визначають модуль  $V_{a\bar{b}c}$  та напрямок  $\beta_c$  вектора абсолютної швидкості  $V_{a\bar{b}c}$  елементарної маси  $m$  в момент її сходу з лопатки ротора.

На рис. 2.8 приведені залежності виду,  $\beta_c = \beta_c(l_c, \alpha)$  та  $V_{a\bar{b}c} = V_{a\bar{b}c}(l_c, \alpha)$ , де кут  $\beta_c$  та швидкість  $V_{a\bar{b}c}$  представляються як функції двох аргументів, перший з яких  $l_c$  позначає довжину шляху, пройденого елементарною масою в стані взаємодії з лопаткою до моменту сходу з неї, а другий  $\alpha$  визначає кут нахилу лопатки.

а

б

Рис. 2.8. Закономірності зміни величини кута нахилу  $\beta$  вектора абсолютної швидкості  $V_{a\bar{b}c}$  елементарної маси  $m$  в момент його сходу з швидкості, в залежності лопатки ротора та модуля  $V_{a\bar{b}c}$  абсолютної від його початкового положення  $x_m = r_{\max} \cos \alpha - l_c$  на лопатці та величини кута нахилу лопатки  $\alpha$  при наступних значеннях постійних параметрів:  $\varphi = 0,541$ ;  $\iota = 0,611$ ;  $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$ ;  $r_{\max} = 0,4 \text{ м}$ ;  $l = 0,15 \text{ м}$ ;  $V_{nep} = 17,168 \text{ м/с}$ .

З рис. 2.8,а випливає, що чим ближче до периферійного краю лопатки спочатку знаходиться елементарна маса добрив  $m$ , тим менший кут  $\beta_c$  утворює з горизонтом вектор її абсолютної швидкості  $V_{a\bar{b}c}$  в момент сходу з лопатки. Збільшення кута нахилу  $\alpha$  самої лопатки також спричиняє зменшення кута  $\beta_c$ . Крім того, з цього ж рисунка можна зробити висновок, що радіально встановлена лопатка більшою мірою розподіляє добрива по куту вильоту.

Залежність модуля  $V_{a\bar{b}c}$  абсолютної швидкості від тих самих параметрів

дещо складніша.

Встановлені закономірності зміни кута  $\beta_c$  та швидкості  $V_{abc}$  не дають підстави сформулювати висновок відносно обґрунтування довжини та кута установки лопатки. Поки немає можливості говорити про те, котрий варіант поєднання цих параметрів повинен бути. Щоб відповісти на це питання необхідно проаналізувати таку фазу руху елементарних мас добрив (фазу вільного польоту), для якої значення кута  $\beta_c$  та модуля абсолютної швидкості  $V_{abc}$  (табл. 2.2) є вихідними даними.

Таблиця 2.2.

**Визначення абсолютної швидкості  $V_{abc}$  та кута вильоту  $\beta_c$  елементарної маси добрив в момент їх сходу з лопатки ротора**

$l_c$ , м	$\varphi$ , рад	$\alpha$ , рад	$\beta_c$ , рад	$V_{abc}$ , м/с
1	2	3	4	5
0,03	0,541	0,000	0,732	18,043
		0,175	0,598	17,169
		0,349	0,492	16,145
		0,524	0,410	14,940
	0,562	0,000	0,736	18,029
		0,175	0,601	17,164
		0,349	0,494	16,144
		0,524	0,411	14,942
	0,62	0,000	0,748	17,989
		0,175	0,608	17,148
		0,349	0,499	16,142
		0,524	0,415	14,946
0,06	0,541	0,000	0,876	18,595
		0,175	0,707	17,540
		0,349	0,577	16,291
		0,524	0,481	14,868
	0,562	0,000	0,885	18,562
		0,175	0,713	17,522
		0,349	0,581	16,284
		0,524	0,484	14,868
	0,62	0,000	0,909	18,471
		0,175	0,730	17,475
		0,349	0,593	16,266
		0,524	0,494	14,869

1	2	3	4	5
0,09	0,541	0,000	1,039	18,972
		0,175	0,836	17,835
		0,349	0,682	16,462
		0,524	0,572	14,899
0,09	0,562	0,000	1,051	18,921
		0,175	0,845	17,805
		0,349	0,689	16,447
		0,524	0,578	14,895
	0,62	0,000	1,089	18,779
		0,175	0,871	17,722
		0,349	0,709	16,407
		0,524	0,594	14,886
0,12	0,541	0,000	1,219	19,230
		0,175	0,981	18,057
		0,349	0,805	16,610
		0,524	0,681	14,954
	0,562	0,000	1,237	19,162
		0,175	0,993	18,014
		0,349	0,814	16,587
		0,524	0,815	14,994
	0,62	0,000	1,288	18,977
		0,175	1,029	17,897
		0,349	0,842	16,524
		0,524	0,711	14,924
0,15	0,541	0,000	1,421	19,403
		0,175	1,143	18,216
		0,349	0,943	16,726
		0,524	0,805	15,007
	0,562	0,000	1,444	19,321
		0,175	1,159	18,162
		0,349	0,955	16,694
		0,524	0,815	14,994
	0,62	0,000	1,511	19,100
		0,175	1,206	18,016
		0,349	0,991	16,611
		0,524	0,843	14,961

Дані табл. 2.2  $V_{abc}$  та  $\beta_c$  були розраховані при тих же значеннях постійних параметрів, як та табл. 2.1, тобто:  $l_c \in \{0,03; 0,06; 0,09; 0,12; 0,15\}$  м;  $\varphi \in \{31,0^\circ;$

$32,2^\circ; 35,5^\circ$ ;  $\alpha \in \{0^\circ; 10^\circ; 20^\circ; 30^\circ\}$ ;  $\tau_a = 35^\circ$ ;  $\omega = 42,92 \text{ c}^{-1}$ ;  $r_{\max} = 0,4 \text{ м}$ ;  $l = 0,15 \text{ м}$ .  
Переносна швидкість склала  $V_{\text{пер}} = 17,168 \text{ м/с}$ . Розрахована  $V_{\text{пер}}$  по формулі (2.2) при умові коли  $r_x = r_{\max}$ .

## 2.5. Висновки до розділу

1. Якщо лопатки ротора орієнтовані не радіально, а під гострим кутом до радіусу ротора, то безвідривна ковзання добрив по робочих поверхнях лопаток можлива тільки у випадку, якщо до моменту проходу викидного порога за рахунок власного зминання грудки добрив здобувають деяку початкову відносну швидкість руху.

2. На швидкість  $V_{\text{абс}}$  та напрямок  $\beta_c$  сходу грудок добрив з лопаток ротора істотно впливає кут  $\alpha$  установки лопаток, коефіцієнт тертя  $\varphi$  добрив про поверхні лопаток та параметр  $l_c$  початкового положення грудок добрив на лопатці ротора.

### 3. Програма та методика експериментальних досліджень

#### 3.1. Програма експериментальних досліджень.

Відповідно до вище викладеного, була намічена та виконана наступна програма експериментальних досліджень:

- провести дослідження з вивчення ефективної форми лопатки ротора стосовно до торцевої (рис. 2.1, в) подачі на неї добрив;
- визначити раціональний кут охопту викидним порогом барабана;
- визначити оптимальний кут установки ножа на робочому органі барабана;
- обґрунтувати величину подачі добрив на лопатку ротора;
- визначити характер розподілу маси частинок добрив по кутах сходу  $\beta_c$  з лопатки барабана до горизонту;
- встановити закономірність впливу конструктивних параметрів на якість розподілу добрив по полю.

#### 3.2. Методика експериментальних досліджень та вимірювальні пристрої

Беручи до уваги програмні питання досліджень та конструктивні можливості лабораторної установки, методикою передбачалося проведення експериментів з вивчення вище зазначених питань.

Кількісну оцінку передбачених методикою величин передбачалося виконувати із застосуванням таких контрольно-вимірювальних приладів та апаратури: ваги електричні ВТК-500, ГОСТ 19491-74; ваги товарні РП-100-13, ГОСТ 11219-71, 0,5х0,5х0,05 м; об'ємний ящик розміром 0,50х0,75х0,75 м; секундомір ГОСТ 5072-79Е; рулетка 10 та 20 м ГОСТ 11900-75; термометр, ГОСТ 22823-73Е; вила господарські, ГОСТ 21044-75; лопата будівельна ГОСТ 3620-76; електрична сушильна шафа; рівень-кутомір ТУ-50-252-80.

Однакові умови роботи розкидального пристрою (повторюваність досліду) забезпечилися за рахунок деяких конструктивних особливостей лабораторної

установки, які будуть розглянуті нижче та наступних факторів:

- проведення експериментів із застосуванням добрив певного виду, соломистості та вологості;
- щоб виключити можливість зміни фізико-механічних властивостей добрив (за рахунок перемішування та висушування) в процесі проведення експериментів вони використовувалися тільки один раз;
- при вивченні одного фактора всі інші приймалися постійними.

### **3.3. Вибір матеріалу для експериментів та методика визначення вологості**

Експерименти проводилися з напівперепрілим гноем ВРХ соломистістю 10...20%, вологістю 55...70% та насипною щільністю 485 кг/м<sup>3</sup>.

При підготовці гною перед початком проведення дослідів визначалася вологість добрив та їх насипна щільність, котра в подальшому підтримувалася на одному рівні за рахунок зволоження добрив.

Для зберігання добрив підготовлених до проведення експериментів використовувався спеціальний ящик, що виключає їх висихання.

Для визначення вологості добрив, використовувалися проби постійної ваги. Висушувалися вони в сушильній шафі при температурі 105°C. Відсоток вмісту води визначався за формулою

$$W = \frac{g' - g''}{g'} 100, \quad (3.1)$$

де  $g'$  - вага проби до сушарки;

$g''$  - вага проби після сушарки.

Насипна щільність (кг/м<sup>3</sup>) добрив визначалася за допомогою об'ємного ящика розміром 0,5x0,75x0,75 м з наступним зважуванням на товарних вагах, ГОСТ 11219-71.

### 3.4. Опис експериментальної установки

Лабораторна установка (рис. 3.1, 3.2) складається з рами 1, на якій змонтовані приводи ротора та лотка, сам ротор та лоток. У свою чергу привід ротора складається з електродвигуна 2 (потужністю 5 кВт) та ланцюгової передачі 3. Привід лотка має власний електродвигун 4 (потужністю 2 кВт) та включає в себе три ланцюгових передачі 5, 6, 7 та черв'ячний редуктор 8.

Рис. 3.1. Схема лабораторної установки:

а - вид зверху; б - вид збоку.

Ротор має встановлену на двох підшипникових опорах 9 основу 10, на якій закріплені - противага 11 та сектор 12 з лопаткою 13 та ножем 14. У нижній частині ротор частково охоплює викидний поріг 15, нерухомо закріплений на рамі 1. По зовнішньому контуру ротор захищений кожухом 16. Лоток 17 встановлений на з можливістю зворотно-поступального руху. Рама 1 змонтована на опорних колесах 19.

Лабораторна установка працює таким чином. Добрива завантажуються в лоток 17. Після цього спочатку включається привід 2, 3 ротора 10 - 14, а потім привід 4 - 8 лотка 17. У цей момент лоток 17 починає поступальний рух по напрямних 18 ротора 10 - 14. Обертаючись, ротор 10 - 14 ножем 14 відокремлює частину добрив в лотку 17, а лопатка 13 захоплює ці відокремлені добрива, накопичує їх на своїй поверхні та переносить на край викидного порога 15.

Після проходження лопатки 13 за межі викидного порога 15, що знаходяться на ній добрива сходять з неї та надалі польоту. Так продовжується до тих пір, поки не буде витрачений запас добрив в лотку 17, після чого обидва електроприводи вимикаються.

У лабораторній установці була передбачена можливість зміни наступних параметрів:

- передавального відношення між валом редуктора 8 та привідною зірочкою ланцюгової передачі 6 приводу лотка 17 (з метою зміни величини

подачі добрив на лопатку ротора);

- кута  $\alpha$  нахилу лопатки 13 до радіуса ротора;
- кута  $\varepsilon$  нахилу ножа 14;
- кута обхвату  $\iota$  ротора викидним порогом 15.

### **3.5. Методика визначення якісних показників роботи ротора при зміні параметрів його робочих елементів.**

Показники роботи розкидального пристрою визначалися такими величинами, як середнє значення ваги добрив в деках, середньоквадратичне відхилення та нерівномірність розподілу добрив у %, а також дальність розкидання часток добрив.

Рис. 3.2. Лабораторна установка.

Характер розподілу добрив у напрямку розкидання методикою передбачалося визначати за допомогою дек розміром 0,5x0,5x0,05 м кожен, які вкладалися в напрямку розкидання, як показано на рис. 3.3. Добрива з деки збиралися та зважувалися на вагах з точністю до 5 гр.

Для визначення кількості добрив, що сходять з лопатки під різними кутами сходу до горизонту, перед лабораторною установкою 1 (рис 3.4, 3.5) у напрямку розкидання на певній пастка 2, котра по вертикалі була розбита на дев'ять секцій. Кожна секція пастки відповідала кутку сходу добрив з інтервалом в 5°: перша - від 0° до 5°; друга - від 5° до 10° та так до 45°.

Після проведення експерименту, добрива, що потрапили в кожную з секцій пастки, зважувалася на вагах. Методикою передбачалося проводити дослід з триразовою повторністю. Початковий об'єм добрив в лотку, при всіх повтореннях був однаковим.

Рис. 3.3. Схема розміщення дек.

Середнє значення ваги добрив  $g$  на деках визначалося за відомою



формулою:

$$\bar{g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i, \quad (3.2)$$

де  $g_i$  - вага добрив на деці, кг;

$n$  - кількість дек.

Середнє квадратичне відхилення від  $\sigma$  визначалося за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2}. \quad (3.3)$$

Нерівномірність (%) розподілу добрив в круговій зоні розподілу визначалася за формулою:

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{g}} 100\%. \quad (3.4)$$

Розрахунки дози внесення добрив визначалися за формулою:

$$H = \frac{\bar{g}}{F100}, \quad (3.5)$$

де  $F$  - площа деки, м<sup>3</sup>.

Рис.3.4. Схема лабораторної установки для визначення кількісного виходу (кг) часток органічних добрив з лопатки під різними кутами до горизонту:

1 - пастка; 2 - лабораторна установка.

Помилка досліду визначалася за формулою:

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (3.6)$$

де  $n$  - кількість дек.

Точність досліду визначалася за формулою:

$$\sigma_{\bar{g}} = \frac{\Delta\sigma}{\bar{g}} 100\%. \quad (3.7)$$

Рис. 3.5. Лабораторна установка з пасткою.

Кількісні показники внесення добрив визначалися відповідно до ОТС 70.7.2.-82.

### 3.6. Методика вибору форми лопатки

Дослідження з вибору форми лопатки виконувалися на лабораторній установці (рис. 3.1).

Розглядалися дві форми лопатки (рис. 3.6). Перша - жолобоподібна з перпендикулярними бічними сторонами до площини наповнення добрив (рис. 3.6). Друга - аналогічна (рис. 3.6, б), але в периферійній її частині встановлювалася пластина під кутом до площини накопичення добрив. Згідно робочої гіпотезі повинна сприяти поліпшенню процесу накопичення добрив на робочій поверхні лопатки. На підставі результатів проведених пошукових дослідів висота та ширина лопатки була прийнята в співвідношенні 1:2 та в подальших експериментах не змінювалася. Така форма лопатки в точності збігається з поперечним перерізом швелера №10.

а

б

Рис. 3.6. Форма лопатки:

а - жолобоподібна; б - жолобоподібна з пластиною в периферійній частині.

Частота обертання ротора  $\omega$  та величина подачі добрив на лопатку ротора приймалися фіксованими. Дослідження проводилися на підлозі перепрілим гноєм з приблизно однаковою вологістю.

### 3.7. Методика вибору форми та кута установки ножа

Величина кута  $\varepsilon$  нахилу площини ножа до дотичного кола ротора досліджувалася шляхом зміни його від  $0^\circ$  до  $10^\circ$ . Необхідність застосування ножа диктувалася станом лопатки ротора. Якщо лопатка орієнтована радіально, або більше того, кутом входження в масу добрив, то наявність ножа радикальним чином покращує процес забору добрив на лопатку.

Конструктивно ніж виготовляли відповідно до рис. 3.7.

а

б

Рис. 3.7. Форма ножа:

а - Г-подібна з болтовим з'єднанням з диском; б - плоска; зі зварним з'єднанням з диском.

### **3.8. Методика вибору кута установки лопатки до радіусу ротора.**

Величина кута нахилу лопатки до радіусу ротора  $\alpha$  змінювалася за рахунок перестановки її кріплення в заздалегідь підготовлені отвори (рис. 3.8, 3.9), що дозволяло встановити лопатку під кутом від  $0^\circ$  до  $30^\circ$  з кроком  $10^\circ$ .

Рис. 3.8. Схема для визначення кута нахилу лопатки до радіусу ротора та кута обхвату ротора викидним порогом: 1 - противага; 2 - болтове кріплення; 3 - ротор; 4 - сектор; 5 - лопатка; 6 - ніж; 7 - викидний поріг.

Рис. 3.9. Ротор лабораторної установки.

Вплив величини кута нахилу лопатки до радіусу ротора  $\alpha$  на якісні показники роботи ротора визначалися характером розподілу добрив у напрямку розкидання.

### **3.9. Методика визначення кута обхвату ротора викидним порогом**

Величина кута обхвату ротора викидним порогом  $\iota$  визначалася, як кут між вертикальною площиною проходить через центр ротора та закінченням викидного порогу (рис. 3.8, 3.9). Досліджувалися два варіанти положення викидного порога, коли кут обхвату  $\iota$  дорівнював  $0^\circ$  та  $35^\circ$ .

Вплив величини кута обхвату ротора викидним порогом  $\iota$  на якісні показники роботи ротора оцінювався характером розподілу добрив у напрямку розкидання.

В рамках пошукових експериментів було встановлено, що збільшення кута обхвату ротора викидним порогом  $\iota$  більше  $35^\circ$  призводить до збільшення частки грудок добрив, які сходять з лопатки ротора під кутами  $\beta_c$ , що перевищують  $45^\circ$ .

### 3.10. Методика визначення дальності польоту частинок добрив та їх кількісного розподілу по поверхні поля

Для визначення дальності польоту частинок використовувалася лабораторна установка (рис. 3.1, 3.2) та листи розташовані в зоні розкидання шириною 3,5 м та довжиною 18 м. По ширині розміщувалося 7 рядів дек 0,5x0,5x0,05 м. Центральний ряд дек встановлювали по поздовжній осі напрямку розкидання добрив (рис. 3.3).

Добрива, які потрапляли в дека, розташовані в крайніх рядах, зсипалися у відповідні листи центрального ряду. Потім добрива, що знаходяться в деках центрального ряду зважувались на вагах ВЛТК-500 з точністю до 5...10 м Вага добрив, що знаходяться в  $i$ -тому деку позначали  $g_i$ .

Досліди проводилися з триразовою повторністю. За даними різних дослідів визначали середню кількість добрив в деці центрального ряду  $g$ . При визначенні меж розсіву враховувалися як на початку, так та в кінці дальності розкидання. При цьому в них повинно було знаходитися, не менше 4% від середньої ваги  $g$  [17].

## 4. Результати експериментальних досліджень

Лабораторні дослідження робочого органу напівнавісного розкидача з куп проводилися в лабораторії кафедри «Сільськогосподарські машини» на території МТС «Модуль».

Експерименти проводилися відповідно до наведеної вище програми та методики досліджень.

### 4.1. Характер розподілу добрив на лопатці ротора при торцевій подачі добрив

Дослідженням характеру розподілу добрив на лопатці ротора займалися багато дослідників [29, 35 та ін.]. Їх метою було визначення оптимальної форми та розмірів лопаток. У поєднанні з іншими елементами конструкції ротора лопатки виконують кілька різних функцій.

У випадку, якщо робочий орган забезпечений ножем, для відділення шару добрив від основної їх маси (купи), та лопаткою, то функція лопатки полягає в тому, щоб цей обсяг, відокремлених добрив, розмістити на своїй поверхні та надалі привести їх у рух із та в заданому напрямку. В іншому випадку, якщо робочий орган забезпечений тільки лопаткою, то в її функції входить та відділення порції добрив від основної їх маси, та накопичення їх на своїй поверхні.

У запропонованій конструкції робочого органу подача добрив здійснюється перпендикулярно осі обертання робочого органу, тобто передбачається торцева подача добрив на лопатку.

Складність такого компонування робочого органу полягає в тому, що добрива на лопатці переважно накопичуються на її периферійній частині досить великим шаром. Тому довжину лопатки необхідно було вибрати з двох умов. Перша умова, накопичення необхідного обсягу добрив виходячи з максимальної подачі на неї добрив, друга умова - це збільшення розмірів лопатки не повинно призводити до додаткових витрат енергії, за рахунок «вентиляторного» ефекту.

Для визначення довжини лопатки барабана експеримент проводився на

лабораторній установці (рис. 3.1). Подача добрив на лопатку барабана встановлювалася максимальною 0,05 м. Лопатка з робочої сторони градуювалася з інтервалом 0,01 м білими лініями.

Кут  $\alpha$  установки лопатки до радіусу барабана становив  $20^\circ$ .

Для візуального спостереження за цим процесом використовували стробоскоп, за допомогою якого виконувалося освітлення лопатки в двох положеннях, перше - в момент закінчення процесу накопичення на ній добрив, друге - в момент початку сходу добрив з лопатки.

На підставі проведених спостережень встановлено, що добрива на лопатці накопичувалися на довжині не більше 0,15 м. Це стало підставою, для остаточного вибору загальної довжини лопатки, рівній 0,15 м.

Форма лопатки вибиралася з двох варіантів. Перший варіант - жолобоподібна з перпендикулярними бічними сторонами (рис. 3.6, а), другий варіант - аналогічна, але в жолобі, в периферійній її частині встановлювалася орієнтована під до робочої площини лопатки пластина (рис. 3.6, б). Остання функціонально виконувала роль ножа, тобто лопатка ставала більш активною по відношенню до процесу накопичення добрив на своїй поверхні. Однак у процесі роботи такої лопатки торцева її частина залипала добривами та вона приймала форму першого варіанту лопатки. Виходячи з вище викладеного, можна зробити висновок, що краща форма лопатки жолобоподібна з перпендикулярними бічними поверхнями та довжина  $l$  її повинна бути не більше 0,15 м, а ширина лопатки 0,1 м, що забезпечувало накопичення об'єму добрив на своїй поверхні при подачі  $p$  до 0,5 м.

#### **4.2. Вибір форми ножа та кута його установки на барабані**

Форма ножа була прийнята Г-подібною та плоскою (рис. 3.7). Г-подібна форма (рис. 3.7, а) передбачала собою кріплення до диска за допомогою болтів, а плоска його форма (рис. 3.7, б) передбачала зварне кріплення до диска. Довжина леза ножа прийнята рівною ширині лопатки, тобто 0,1 м.

У процесі проведення попередніх досліджень з'ясувалося, що та одна й

інша форма ножа практично однаково виконували свої функції. Однак при зустрічі зі сторонніми предметами, які іноді зустрічаються в купі добрив, поломка ножа була досить частою. У разі зварного з'єднання заміна ножа вимагала неадекватних витрат часу.

Ніж, кріплення якого було болтовим, замінювався значно швидше. Тим більше, що Г-подібна форма ножа виконувалася з високовуглецевої сталі та його виготовлення не порушувало сталі, а в разі його кріплення електродуговим зварюванням, структура змінювалася та ніж ставав крихким. Виходячи з вище викладеного, форма ножа була прийнята Г-подібною з болтовим з'єднанням, відповідно (рис. 3.7, а).

Що стосується кута  $\varepsilon$  установки його по відношенню до радіусу барабана, то тут пропонувалося мінімізувати тертя леза ножа по добривах, в процесі відділення його від основної маси.

У разі радіальної установки ножа (ріжуча площина орієнтована по дотичній до траєкторії його обертального руху) тертя ножа своєю зовнішньою стороною по добривах ставало значним. З'являється воно за рахунок поступального руху ротора в процесі роботи.

При кутовій установці ножа, коли  $\varepsilon \in \{1^\circ, 10^\circ, 20^\circ\}$  тертя зовнішньої поверхні ножа по добривах тим менше, чим більше  $\varepsilon$ . Але у випадку, коли  $\varepsilon = 20^\circ$  значною мірою починає проявлятися тертя передньої поверхні ножа по добривах. Все це вдається бачити за допомогою стробоскопа за величиною змінання взаємодії з ножем пласта добрив.

Якщо  $\varepsilon = 10^\circ$ , то вдається мінімізувати обидва згадані вище явища, а, значить, це найбільш прийнятний варіант. При такому положенні ножа, він досить ефективно направляє добрива всередину барабана, тим самим, поміщаючи їх здебільшого на внутрішню половину лопатки, а не на периферійну. У кінцевому підсумку це сприяє кращому розподілу добрив в цілому по довжині лопатки.

Таким чином, в процесі попередніх досліджень було встановлено, що найбільш прийнятне значення кута  $\varepsilon$  рівне  $10^\circ$ .

### 4.3. Характер розподілу добрив по кутах сходу з лопатки в залежності від величини кута охопту ротора викидним порогом та орієнтації лопатки ротора

Експерименти проводилися з метою вибору кута охопту  $\iota$  ротора викидним порогом. При цьому змінними були наступні параметри: кут охопту ротора  $\iota \in \{0^\circ, 35^\circ\}$ , положення лопатки до приймалася  $\alpha \in \{0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ\}$  на лабораторній установці (рис. 3.4, 3.5). У табл. 4.1 та на рис. 4.1 наведені результати експериментальних досліджень роботи ротора, у випадку, коли викидний поріг був відсутній, що відповідало значенню  $\iota = 0^\circ$ .

Таблиця 4.1.

**Кількість добрив  $m_\beta$  (кг), що виходять під різними кутами  $\beta_c$  до горизонту, у випадку, коли немає викидного порогу ( $\iota = 0^\circ$ )**

№ досліджу	Кут вильоту								
	0-5°	5°-10°	10°-15°	15°-20°	20°-25°	25°-30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°
положення лопатки до радіусу ротора - $\alpha = 0^\circ$									
1	3,37	3,25	4,29	3,89	2,71	1,17	0,45	0,22	–
2	4,21	3,94	4,50	3,22	2,89	2,10	1,40	0,10	–
3	3,87	3,74	3,95	2,86	3,02	1,48	1,27	1,12	–
$m_\beta$	3,81	3,64	4,25	3,32	2,87	1,58	1,04	0,48	–
положення лопатки до радіусу ротора - $\alpha = 10^\circ$									
1	4,47	5,33	2,21	0,88	0,63	0,33	–	–	–
2	6,74	6,12	1,88	1,03	0,45	0,61	–	–	–
3	5,89	4,96	2,76	1,26	0,9	0,27	–	–	–
$m_\beta$	5,70	5,47	2,28	1,06	0,66	0,40	–	–	–
положення лопатки до радіусу ротора - $\alpha = 20^\circ$									
1	5,71	3,65	1,28	0,70	–	–	–	–	–
2	7,23	4,39	2,13	1,40	–	–	–	–	–
3	7,98	5,04	2,27	1,30	–	–	–	–	–
$m_\beta$	6,97	4,36	1,89	1,13	–	–	–	–	–
положення лопатки до радіусу ротора - $\alpha = 30^\circ$									
1	9,06	8,73	5,09	0,66	–	–	–	–	–
2	8,07	8,21	5,71	0,32	–	–	–	–	–
3	8,82	9,01	4,83	0,37	–	–	–	–	–
$m_\beta$	8,65	8,65	5,21	0,45	–	–	–	–	–



У цій таблиці  $m_\beta$  позначає кількість добрив (кг), яке зійшло з лопатки ротора в заданому інтервалі кут сходу  $\beta_c \in [\beta_{cp} - 2,5^\circ, \beta_{cp} + 2,5^\circ]$  шириною  $5^\circ$ , де  $\beta_{cp}$  - середнє значення  $\beta_c$  у вказаному інтервалі,  $m_\beta$  - середнє арифметичне значення величини  $m_\beta$  за три повторності експерименту.

Рис. 4.1 . Середньозважена величина  $m_\beta$  (кг) кількості добрив, що виходять з лопатки в інтервалі кутів сходу  $\beta_c \in [\beta_{cp} - 2,5^\circ, \beta_{cp} + 2,5^\circ]$  шириною  $5^\circ$ , залежно від величини середнього значення  $\beta_{cp}$  та кута  $\alpha$  установки лопатки по відношенню до радіусу ротора, у випадку, коли немає викидного порогу ( $\iota = 0^\circ$ ).

Аналізуючи результати необхідно відзначити, що сходження добрив з лопатки концентрується переважно в зоні малих кутів сходу до горизонту ( $\beta_c < 15^\circ$ ). Це твердження справедливе для будь-яких кутів установки лопатки ротора  $\alpha \in [0^\circ, 30^\circ]$ , але тим сильніше виявляється, чим більше  $\alpha$ . Спостереження за допомогою стробоскопа показали, що добрива, що знаходяться на периферійній частині лопаток у разі відсутності викидного порога не встигають набрати належної кінетичної енергії та звалюються відразу після втрати контакту з землею. У кінцевому підсумку це призводить до того, що добрива здебільшого розподіляються в ближній зоні від барабана, не забезпечуючи необхідної ширини захвату.

При куті охопту барабана викидним порогом рівному  $\iota = 35^\circ$  масовий розподіл добрив по кутах сходу до горизонту значно поліпшується (табл. 4.2, рис. 4.2).

Істотно менше добрив сходять в безпосередній близькості до ротора та все більше - під кутами  $\beta_c > 15^\circ$ . Цікавий взаємозв'язок характеру розподілу мас добрив  $m_\beta$  по кутах їхнього сходження  $\beta_c$  з величиною кута  $\alpha$ . Чим більше кут  $\alpha$ , тим меншим кутам  $\beta_c$  відповідає максимум функції  $m_\beta = m_\beta(\beta_c)$ . Ця обставина дає підставу стверджувати, що такою ж буде взаємозв'язок масового розподілу добрив по дальності максимальна дальність розкидання добрив досягається у випадку, якщо кут їхнього сходження  $\beta_c$  лежить в інтервалі  $\beta_c \in [30^\circ, 40^\circ]$ . У випадку, якщо  $\alpha \in [10^\circ, 20^\circ]$ , то на рис. 4.2 виразно видно екстремум функції  $m_\beta =$

$m_{\beta}(\beta_c)$ , саме коли  $\beta_c \in [30^\circ, 40^\circ]$ .

Таблиця 4.2.

**Кількість добрив  $m_{\beta}$  (кг) виходять під різними кутами  $\beta_c$  до горизонту, при наявності викидного порогу ( $\iota = 35^\circ$ )**

№ досліду	Кут вильоту $\beta_c$								
	0-5°	5°-10°	10°-15°	15°-20°	20°-25°	25°-30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°
положення лопатки до радіусу барабана – $\alpha = 0^\circ$									
1	0,55	0,63	0,79	1,20	1,90	2,45	2,64	4,05	4,23
2	0,41	0,72	0,68	1,32	2,60	2,30	2,94	3,61	4,49
3	0,49	0,69	0,74	1,73	1,81	2,64	3,70	4,30	3,91
$m_{\beta}$	0,48	0,68	0,74	1,42	2,11	2,46	3,09	4,00	4,21
положення лопатки до радіусу барабана - $\alpha = 10^\circ$									
1	0,98	1,14	1,14	1,39	1,71	2,52	3,70	3,93	3,85
2	0,57	1,44	0,98	0,99	1,86	2,80	3,71	3,89	3,98
3	1,01	0,87	1,31	1,28	1,49	2,36	3,65	3,98	4,21
$m_{\beta}$	0,85	1,15	1,14	1,22	1,67	2,56	3,69	3,93	4,01
положення лопатки до радіусу барабана - $\alpha = 20^\circ$									
1	0,91	1,10	1,80	2,12	3,02	3,42	3,85	3,25	2,13
2	0,76	1,21	1,53	2,01	1,97	3,56	3,74	3,76	1,97
3	0,92	0,97	1,36	1,97	2,74	3,35	4,02	3,90	1,37
$m_{\beta}$	0,86	1,10	1,56	2,03	2,58	3,44	3,87	3,64	1,82
положення лопатки до радіусу барабана - $\alpha = 30^\circ$									
1	1,31	2,04	1,93	3,78	2,82	3,47	2,27	1,51	1,08
2	1,58	1,96	2,11	3,44	2,76	4,00	1,67	1,95	1,40
3	1,44	1,09	2,45	3,02	4,30	4,10	2,60	1,74	1,57
$m_{\beta}$	1,44	1,69	2,16	3,41	3,30	3,86	2,18	1,73	1,35

Остаточні значення  $\alpha$  ми виберемо пізніше, коли проаналізуємо теоретичні передумови по відношенню до того, якою має бути характеристика розподілу добрив по дальності розкидання з урахуванням кругового характеру розкидання та накладення сусідніх плям розкидання.

Раніше, у другому розділі, ми вже вказували, що значення  $\alpha$  повинно перевищувати  $10^\circ$ , оскільки саме в цьому випадку досягається найбільш стабільна робота ротора по відношенню до можливих варіацій фізико-механічних властивостей добрив.

Крім того, в тому ж другому розділі, в ході теоретичних досліджень з'ясувалося, що добрива з лопаток ротора практично завжди сходженню під кутами  $\beta_c$  перевищують  $\frac{1}{8}\pi$ . Таке протиріччя з поточними експериментальними даними пояснюється тим, що в ході розгляду теоретичних передумов ми аналізували тільки один варіант сходу добрив з лопатки ротора, коли добрива ковзають безпосередньо по лопатці, а не добрива по добривах. Насправді другий варіант сходу добрив з лопаток також має місце та саме він дає схід з малими значеннями кута  $\beta_c$ .

Рис. 4.2. Середньозважена величина  $m_\beta$  (кг) кількості добрив, що виходять з лопатки в інтервалі кутів сходу  $\beta_c \in [\beta_{cp} - 2,5^\circ, \beta_{cp} + 2,5^\circ]$  шириною  $5^\circ$ , залежно від величини середнього значення  $\beta_{cp}$  та кута  $\alpha$  установки лопатки по відношенню до радіусу ротора, при наявності викидного порогу ( $\iota = 35^\circ$ ).

#### **4.4. Характер масового розподілу добрив по кутах сходження з лопатки та дальності розкидання в залежності від величини подачі добрив на лопатку ротора**

При виконанні технологічного процесу внесення твердих органічних добрив з куп в круговий рух агрегату навколо купи здійснюється по спіралі. Робочий орган розкидача впроваджується в купу добрив із зовнішньою її частиною. По мірі руху агрегату навколо купи радіус її зменшується, внаслідок чого зменшується та, а, отже, зменшується поступальна швидкість робочого органу розкидача. Зі зменшенням поступальної швидкості робочого органу зменшується та подача  $p$  добрив на лопатку, у зв'язку з чим виникла необхідність у дослідженні впливу величини подачі  $p$  добрив, на лопатку ротора, як на масовий розподіл добрив по кутах сходу  $\beta_c$ , так та по дальності розкидання  $L$ .

Вивчення закономірностей масового  $m_\beta$  розподілу добрив по кутах  $\beta_c$  сходу з лопатки та дальності розкидання  $L$  залежно від величини подачі  $p$  добрив на лопатку ротора проводилося на лабораторній установці (рис. 3.1 - 3.5) з 3-х кратною повторністю.

Експерименти проводили з наступними режимними параметрами: - кут

установки лопатки становив  $\alpha = 20^\circ$ ; кутова швидкість ротора -  $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$ ; кут охопту викидним порогом ротора -  $\iota = 35^\circ$ ; подача добрив на лопатку  $p \in [0,015; 0,03; 0,04; 0,05]$  м. Результати експериментів наведено в табл. 4.3. Шляхом використання інтерполяції середніх значень  $m_\beta = m_\beta(\beta_c, p)$  двовимірним бікубічним сплайном побудовані графіки ізоліній, рис. 4.3 [38].

З рис. 4.3 видно, що в цілому положення максимуму  $m_\beta = m_\beta(\beta_c, p)$  практично не залежить від величини подачі  $p$  добрив на лопатку ротора.

Навпаки, якщо  $p$  лежить в інтервалі  $p \in [0,03, 0,045]$ , то функціональний зв'язок  $m_\beta$  з величиною, кут сходу  $\beta_c$  є більш рівномірним та можливо з цього більш кращим. Щоб слід вивчити закономірності масового  $m_\beta$  розподілу добрив по їх дальності розкидання  $L$  залежно від величини все тієї ж подачі  $p$  добрив на лопатку ротора.

Таблиця 4.3.

**Кількість добрив  $m_\beta$  (кг), що виходять під різними кутами  $\beta_c$  до горизонту залежно від величини подачі  $p$  їх на лопатку ротора**

№ дослідю	Кут вильоту $\beta_c$								
	0-5°	5°-10°	10°-15°	15°-20°	20°-25°	25°-30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°
подача добрив на лопатку ротора - $p = 0,015$ м									
1	1,42	1,12	2,61	3,20	5,16	7,55	1,19	0,47	0,23
2	0,92	1,45	3,12	3,74	6,74	6,74	1,34	0,74	0,44
3	0,90	0,89	2,80	4,03	5,02	8,13	1,14	0,82	0,52
$m_\beta$	1,08	1,15	2,84	3,66	5,64	7,47	1,22	0,68	0,39
подача добрив на лопатку ротора - $p = 0,03$ м									
1	1,15	1,73	2,24	2,19	2,98	5,78	5,14	1,80	0,70
2	0,94	1,44	2,54	2,44	3,47	4,94	4,33	2,42	0,47
3	1,54	2,12	2,47	1,87	3,84	5,12	3,98	1,63	1,32
$m_\beta$	1,21	1,76	2,42	2,17	3,43	5,28	4,48	1,95	0,83
подача добрив на лопатку ротора - $p = 0,04$ м									
1	1,65	1,53	2,15	2,26	3,44	4,71	3,29	1,52	0,47
2	2,21	0,84	1,76	2,54	4,12	3,97	4,35	1,90	1,01
3	1,97	1,83	2,34	1,93	3,87	4,34	3,74	1,37	0,97
$m_\beta$	1,94	1,45	2,08	2,23	3,89	4,34	3,79	1,60	0,82
подача добрив на лопатку ротора - $p = 0,05$ м									
1	1,59	1,81	1,81	2,60	2,80	3,06	2,87	1,75	0,59
2	1,79	1,72	2,54	2,90	3,45	2,89	2,71	1,93	0,47
3	1,87	1,92	1,88	2,82	3,01	2,14	3,24	1,11	0,97
$m_\beta$	1,75	1,82	2,08	2,77	3,09	2,07	2,94	1,60	0,68

Рис. 4.3. Середньозважена величина  $m_\beta$  (кг) кількості добрив, що виходять з лопатки в інтервалі кутів сходу  $\beta_{cp} \in [\beta_{cp} - 2,5^\circ, \beta_{cp} + 2,5^\circ]$  шириною  $5^\circ$ , залежно від величини середнього значення кута  $\beta_{cp}$  та величини подачі  $p$  добрив на лопатку

Експерименти з вивчення масового розподілу добрив по дальності розкидання  $L$  проводилися із застосуванням дек (рис. 3.3), які вкладалися навпроти лабораторної установки (рис. 3.1, 3.2).

Результати експериментів представлені в табл. 4.4 та на рис. 4.4.

Таблиця 4.4.

**Вплив величини подачі  $p$  добрив на розподіл їх по дальності розкидання  $L$**

Дальність $L$ , м	Подача $p$ , м				Дальність $L$ , м	Подача $p$ , м			
	0,015	0,030	0,040	0,050		0,015	0,030	0,040	0,050
0,5	1,20	1,19	1,15	1,25	9,5	0,67	0,63	0,76	0,61
1,0	1,19	1,24	1,33	1,31	10,0	0,59	0,60	0,81	0,68
1,5	1,15	1,14	1,21	1,24	10,5	0,61	0,62	0,71	0,62
2,0	1,31	1,21	1,29	1,26	11,0	0,58	0,65	0,74	0,66
2,5	1,27	1,17	1,19	1,29	11,5	0,51	0,54	0,72	0,68
3,0	1,22	1,30	1,21	1,22	12,0	0,46	0,59	0,85	0,69
3,5	1,19	1,27	1,28	1,24	12,5	0,54	0,78	0,94	0,65
4,0	1,32	1,32	1,31	1,27	13,0	0,47	0,87	0,97	0,81
4,5	1,15	1,18	1,11	1,17	13,5	0,47	0,96	1,14	0,77
5,0	1,04	0,93	0,95	1,05	14,0	0,33	1,23	0,99	0,63
5,5	0,92	0,83	0,85	0,95	14,5	0,55	1,63	1,23	1,03
6,0	0,75	0,61	0,72	0,80	15,0	0,38	1,34	1,33	0,79
6,5	0,76	0,63	0,68	0,72	15,5	0,47	1,07	0,97	0,53
7,0	0,66	0,56	0,62	0,71	16,0	0,49	0,88	0,71	0,40
7,5	0,68	0,54	0,62	0,63	16,5	0,38	0,77	0,62	0,18
8,0	0,66	0,59	0,66	0,70	17,0	0,30	0,38	0,20	0,12
8,5	0,62	0,57	0,70	0,70	17,5	0,13	0,15	0,09	0,07
9,0	0,64	0,55	0,70	0,54	18,0	0,05	0,06	0,05	0,04

З рис. 4.4 видно, що по дальності розкидання  $L$  для будь-якого значення подачі  $p$  є два явно виражених екстремуми. Як ми побачимо пізніше, в процесі аналізу теоретичних досліджень кінцевого розподілу добрив по полю з урахуванням кругового руху агрегату є раціональним.

Близький екстремум (коли  $L \in [0, 6]$ ), безумовно, небажаний. Причин його появи дві: перша - пов'язана з проявом вже згадуваних раніше двох законів сходу добрив з лопатки ротора (шляхом ковзання добрив по добривах та шляхом ковзання добрив безпосередньо по робочій поверхні лопатки); друга - пов'язана з конструктивними недоліками лабораторної установки та не характерними для роботи робочого органу в реальних умовах.

Перша причина вже розглядалася, з цього зараз ми її коментувати не будемо, а зупинимося на другій.

Рис. 4.4. Вплив величини подачі  $p$  добрив на розподіл їх по дальності розкидання  $L$ .

На відміну від реальних умов роботи, коли робочий орган розкидача скомбінований в барабан та фактично складається з восьми роторів, з яких тільки один контактує з купою добрив по своїм бічним поверхням, також залучають добрива в рух, але не настільки інтенсивно, у лабораторній установці такий бічний контакт здійснювався з обох сторін єдиного ротора. Таким чином, частка добрив приводить у рух ротора лабораторної установки по відношенню до добрив, в повній відповідності з технологічним процесом, була значно вищою, ніж у випадку із застосуванням барабана в польових умовах. Саме ця частина добрив та формує перший небажаний екстремум.

Повертаючись до дальнього екстремуму (коли  $L \in [12, 16]$ ) відзначимо, що він найбільш яскраво виражений, коли подача  $p$  лежить в інтервалі від 0,025 до 0,045 м. Зараз, без розгляду кругового руху агрегату остаточно уточнити оптимальні значення подачі  $p$  не представляється можливим. На цьому ми зупинимося пізніше. А зараз лише констатуємо факт наявності далекого екстремуму та його положення.

#### 4.5. Характер масового розподілу добрив по дальності розкидання залежно від кута установки лопатки

Експерименти проводилися на лабораторній установці (рис. 3.1, 3.2) з розкладкою дек у відповідності зі схемою (рис. 3.3) з триразовою повторністю. При цьому згідно з методикою проведення експериментів з визначення дальності розкидання органічних добрив наступні режимні параметри: кут установки лопатки -  $\alpha \in [0^\circ; 10^\circ; 20^\circ; 30^\circ]$ ; кутова швидкість ротора -  $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$ ; кут охопту викидним порогом ротора -  $\iota = 35^\circ$ ; подача добрив на лопатку -  $p = 0,04 \text{ м}$ . Результати експериментів наведено в табл. 4.5. За даними табл. 4.5 із застосуванням апроксимації двовимірним бікубічним сплайном побудовані графіки ізоліній на рис. 4.5.

Таблиця 4.5.

#### Дальність розкидання $L$ добрив в залежності від кута $\alpha$ установки лопатки

Дальність $L$ , м	Кут установки лопатки $\alpha$ , град.				Дальність $L$ , м	Кут установки лопатки $\alpha$ , град.			
	0°	10°	20°	30°		0°	10°	20°	30°
0,5	0,73	0,87	0,91	1,09	10,0	0,42	0,28	0,6	1,14
1,0	0,82	0,91	1,24	1,32	10,5	0,57	0,71	0,62	1,31
1,5	0,91	0,72	1,14	1,22	11,0	0,41	0,63	0,65	1,36
2,0	0,76	0,83	1,21	1,13	11,5	0,51	0,85	0,54	1,56
2,5	0,84	0,75	1,17	1,21	12,0	0,57	0,71	0,59	1,68
3,0	0,74	0,84	1,3	1,37	12,5	1,00	1,64	0,78	1,83
3,5	0,61	0,91	1,27	1,29	13,0	1,23	1,80	0,87	1,46
4,0	0,52	0,43	1,32	1,28	13,5	1,39	1,90	0,96	1,06
4,5	0,46	0,65	1,18	1,36	14,0	2,25	2,20	1,23	0,95
5,0	0,39	0,31	0,93	1,32	14,5	2,20	1,80	1,63	0,77
5,5	0,37	0,58	0,83	1,13	15,0	2,05	1,75	1,34	0,62
6,0	0,48	0,42	0,61	1,08	15,5	1,56	1,90	1,07	0,45
6,5	0,52	0,38	0,63	1,18	16,0	1,22	1,39	0,88	0,26
7,0	0,34	0,64	0,56	1,17	16,5	1,13	1,02	0,77	0,15
7,5	0,25	0,42	0,54	1,14	17,0	0,89	0,67	0,38	0,10
8,0	0,33	0,26	0,59	1,07	17,5	0,57	0,34	0,15	
8,5	0,22	0,53	0,57	1,09	18,0	0,43	0,20	0,06	
9,0	0,32	0,41	0,55	1,08	18,5	0,23	0,08		
9,5	0,25	0,37	0,63	1,38	19,0	0,80			

Рис. 4.5. Дальність розкидання  $L$  добрив в залежності від кута  $\alpha$  установки лопатки.

З аналізу рис. 4.5 видно, що масовий розподіл добрив по дальності  $L$  розкидання істотно залежить від величини кута установки лопатки ротора. Подібний розподіл, але по кутах сходу  $\beta_c$  з лопатки ротора ми вже аналізували в параграфі 4.3 (рис. 4.2). Малі значення кута  $\alpha < 10^\circ$  ми вже відкинули виходячи з теоретичних міркувань, де показано, що при таких значеннях кутів характер розподілу добрив по дальності розкидання найістотнішим чином залежить від фізико-механічних властивостей добрив. Таким чином, при аналізі рис. 4.5 ми звертаємо свою увагу на область значень кутів  $\alpha > 10^\circ$ .

Тут слід нагадати, що в попередньому параграфі 4.4 при аналізі впливу величини подачі добрив  $p$  на масовий їх розподіл по дальності розкидання  $L$  було виявлено два екстремуми. Там же наводиться аналіз причин їх появи та вказується, що (коли  $L \in [12, 16]$ ) слід розглядати як позитивний факт, а ближній (коли  $L \in [0, 6]$ ) - як негативний.

Продовжуючи ті ж міркування відносно характеру розподілу добрив відповідно до рис. 4.5 можна бачити, що у випадку, коли кут установки лопатки  $\alpha > 20^\circ$  також починає проявлятися ближній екстремум, а дальній зменшуватися. На цій підставі ми робимо попередній висновок про те, що кути установки лопаток ротора слід обмежити інтервалом  $\alpha \in [10^\circ, 20^\circ]$  [39].

#### **4.6. Компонування набору роторів у барабан**

Лабораторні дослідження ротора показали, що для приведення його в обертовий рух потужність електродвигуна в 5 кВт була явно надлишкова. З цієї причини, що б добитися повного завантаження двигуна трактора класу 14 кН експериментальним шляхом був скомпонований (рис. 2.2, 4.6) робочий орган (барабан), котрий складався з чотирьох дисків, на кожній стороні яких розміщувалося по шість комплектів ножів-лопаток. Загальна довжина такого барабана дорівнювала 0,8 м. Окремі диски барабана при комплектуванні їх в єдиний робочий орган з'єднувалися з основою з поворотом один відносно одного



величиною в  $30^\circ$ . У кінцевому підсумку це дозволило істотно знизити динамічні дії на вал відбору потужності та двигун трактора.

Рис. 4.6. Загальний вигляд робочого органу барабанного типу.

Паралельно із завантаженням двигуна трактора вдалося вирішити ряд додаткових завдань. Зокрема, за рахунок об'єднання роторів у барабан збільшена загальна продуктивність розкидача та ширина смуги розкидання добрив. Остання обставина сприяла поліпшенню загальної рівномірності розподілу добрив по полю. Крім того, як вже говорилося раніше при компонуванні роторів у барабан, тільки один, крайній з них взаємодіє з купою добрив зі своїми бічними поверхнями. У кінцевому підсумку це також позитивно позначилося на якості розподілу добрив по полю.

Наявність дисків в барабані, по-перше, поряд із застосуванням ножів сприяла розділенню купи добрив на окремі смуги та як наслідок поліпшенню рівномірності заповнення лопаток барабана добривами, по-друге, ті ж диски суттєво органу, так як перешкождали потраплянню сторонніх предметів на ножі та лопатки. Саме з метою більшою мірою використовувати захисні функції дисків їх зовнішній діаметр був виконаний дещо більшим, ніж діаметр зовнішнього обрізу лопаток.

#### **4.7. Опис конструкції та принципу роботи розкидача твердих органічних добрив**

Розкидач (рис. 4.7) складається з рами 2, що спирається на два самовстановлюваних колеса 3, на якій закріплений барабанний робочий орган 4 (барабан). Змонтований він таким чином, що вісь його обертання перпендикулярна напрямку руху трактора 1. При цьому барабан знаходиться від поздовжньої осі симетрії трактора на відстані, рівній його мінімальному радіусу повороту.

Рис. 4.7. Загальний вигляд напівнавісного розкидача твердих органічних добрив з куп.

Барабан 4 приводиться в дію від валу відбору потужності трактора 1 за допомогою подвійного карданного зчленування 5, редуктора 6, карданного валу 7 із запобіжною муфтою, контрприводу 8 та ланцюгової передачі 9.

У робоче положення барабан переводиться за допомогою механізму підйому, що складається з виносного гідроциліндра 10, важеля 11, троса 12 та напрямних блоків 19.

Відстань від поверхні землі до нижньої кромки барабана встановлюється шляхом застосування регульовального механізму, що складається з обмежувального важеля 14, що переміщається в горизонтальній площині за допомогою цього ж механізму рама фіксується в транспортному положенні. Для забезпечення своєчасного вильоту частинок добрив під барабаном 4 встановлений викидний поріг 17.

У транспортному положенні розкидач рухається за трактором 1, для чого достатньо від'єднати розпірну тягу 16 від бокового лонжерона трактора 1 та зафіксувати самоустановлювальні колеса у напрямку руху агрегату.

Розкидач працює таким чином. На краю поля тракторист переводить розкидач з транспортного положення в робоче. Для цього розпірну тягу 16 він під'єднує до правого лонжерону трактора 1. Під'їхавши до купи добрив на відстань 1...2 метри, барабан 4 опускається в нижнє робоче положення до висоти 5...10 мм над поверхнею землі. У такому положенні барабан фіксується обмежувальним важелем 14. Далі включається вал відбору потужності трактора 1 та починається робочий процес. Рухається агрегат навколо купи добрив по траєкторії Архімедової спіралі, при цьому барабан 4 входить в купу добрив та розкидає їх.

#### **4.8. Схема розкладання куп органічних добрив на полі та методи варіювання норми їх внесення**

При використанні пропонованої машини норму внесення добрив доцільно

задавати варіюючи вагою куп. Здійснюється це шляхом об'єднання в одну купу добрив, послідовно привезених декількома транспортними засобами. Такий спосіб зручний, насамперед, тому, що, по-перше, не передбачає зміну режимних параметрів роботи розкидального агрегату; по-друге, дозволяє застосовувати завжди одну й ту ж схему розкладання куп по полю; по-третє, забезпечений технічно. Останнє впливає з того, що вітчизняні фермерські господарства, насамперед, мають транспортні засоби саме малої вантажопідйомності, що з необхідною градацією за вагою. Наприклад, тракторними шасі Т-16М, вантажопідйомністю 0,95 т та іншими тракторно-транспортними агрегатами у складі тракторів МТЗ-80, ЮМЗ-6Л, Т-40М, Т-40АМ та причепів 1-ПТС-2, 1-ПТС-4, 2-ПТС-4, 2-ПТС-6, вантажопідйомністю від 2 т до 6 т, а також автомобілями типу ГАЗ-53 [40].

Розкладання органічних добрив на полі (рис. 4.8) здійснюється таким чином, щоб купи добрив 1 розташовувалися в вершинах рівносторонніх трикутників в шаховому порядку.

Рис. 4.8. Схема розмітки поля.

Розмітку поля можна виконати трактором класу 0,9 кН з однокорпусним плугом. Напрямок першого проходу агрегату визначається кутом  $60^\circ$  по відношенню до однієї зі сторін поля. Решта розмірних проходів першої групи виконуються паралельно першому, з відстанню між ними 14...15 м. Так розмічається вся площа поля. Після цього плужний агрегат змінює напрямок руху на  $120^\circ$  по відношенню до проходів першої групи і, з тою ж відстанню 14-15 метрів між проходами, по всій площі поля завдають розмічальні борозни другої групи. Місця перетину розмічальних борозенок 2 обох груп вказують місця укладання куп 1 добрив.

Шляхом хронометражних спостережень було встановлено, що за годину змінного часу продуктивність розкидача склала близько 40 тонн, при цьому нерівномірність внесення добрив в межах колової області розподілу була в

межах 22%. Результати випробувань наведені на рис. 4.9. Плавні криві отримані шляхом апроксимації експериментальних даних поліномом третього ступеня.

Рис. 4.9. Експериментальні щільності розподілу органічних добрив  $H$  (кг/м<sup>2</sup>) в залежності від радіуса розкидання  $r$  (м) для чотирьох норм внесення:

1 (★) - 20 т/га; 2 (○) - 30 т/га; 3 (✱) - 40 т/га; 4 (◇) - 50 т/га.

За результатами проведених випробувань можна зробити наступні висновки. Купи органічних добрив необхідно розміщувати на полі в точках перетину орієнтованих одна до одної під кутом 60° двох сімейств паралельних прямих віддалених одна від одної на 14...15 м, а подача добрив на лопатку барабана повинна бути в межах 0,03...0,04 м/с, що відповідає швидкості руху агрегату в межах від 5,3 до 7,1 км/год. При цьому продуктивність розкидача складе приблизно 40 тонн на годину, а нерівномірність розподілу добрив в межах колової зони розподілу - 22% від заданої величини норми внесення.

## **5. Економічна ефективність впровадження розкидача органічних добрив**

Розрахунки по техніко-економічних показниках необхідні для порівняння базової та проектної машини, а також для визначення економічного ефекту, котрий досягається за рахунок розробки.

Розрахунок економічного ефекту за рахунок збільшення продуктивності розкидача органічних добрив проведений відповідно до «Методики визначення економічної ефективності використання в народному господарстві нової техніки, винаходів та раціоналізаторських пропозицій», а також «Методики визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві результатів науково-дослідних робіт, нової техніки винаходів».

Час розкидання однієї купи добрив визначався хронометруванням. Так при розкиданні однієї купи добрив масою 2 т. час склав 2,3 хв., а з урахуванням під'їзду та купи добрив 2,8 хв. При розкиданні куп добрив масою 3, 4, 5, тонн час відповідно склав 3,6, 4,1, 5,2 хв. з урахуванням під'їзду до наступної. Продуктивність розкидача за годину змінного часу (коефіцієнт використання часу зміни дорівнює 0,75) при внесенні добрив 40 т/га становить 42 т.

Проведемо розрахунок основних техніко-економічних показників, аналіз яких дозволить зробити висновки про доцільність та економічну ефективність від запровадження розробленого розкидача.

За базовий варіант прийнятий розкидач МТО-3 (вартість його, за даними дистриб'юторської фірми «Ірбіс» м Харкова, що займається реалізацією розкидачів органічних добрив заводу «Гомсельсельмаш» становить 52450 грн.), що агрегується трактором МТЗ-920, проектний розкидач агрегується з тим же трактором.

Вартість комплектуючих та матеріалів необхідних для виготовлення розкидача наведено в табл. 5.1. Витрати на виготовлення проектного розкидача, включаючи загальну ціну розкидача наведені в таблиці 5.1.

### Орієнтовна структура витрат на виготовлення розкидача

Найменування статей витрат	Відрахування, %	Сума, грн
Матеріали		18740,46
Заробітна плата		2949,75
Загальновиробничі витрати	157,5	4647,12
Виробнича собівартість		26337,33
Адміністративні витрати	91,5	2699,76
повна собівартість		29037,09
Ціна		29037,09
ПДВ	20	5807,41
Відпускна ціна		34845

Економічну оцінку розробленої машини проведемо в порівнянні із серійною, вихідні дані для розрахунку наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

### Вихідні дані проекту використання нового складу агрегату

№ пп.	Показники	Позначення	Розмірність	Модель	
				Базова	Проектна
1	2	3	4	5	6
1.	Вид роботи, що виконується			Внесення твердих органічних добрив	
2.	Марки трактора	-	-	МТЗ-920	МТЗ-920
3.	Балансова ціна трактора	$B_m$	грн.	253600	253600
4.	Марка с.-г. машини	-	-	МТО-3	РТО-3Р
5.	Оптова ціна розкидача	$B_p$	грн.	52450	34845
6.	Продуктивність	$W_{год}$	т/год	23	42
7.	Витрата палива	$g_m$	кг/га	6,45	4,35

1	2	3	4	5	6
8.	Нормативне завантаження: - трактора - розкидача	$T_{zm}$ $T_{zr}$	днів днів	300 30	300 30
9.	Кількість обслуговуючого персоналу	$n$	чол.	1	1
10.	Тарифна ставка тракториста	$f_m$	грн.	196,35	196,35
11.	Відрахування по трактору на: - реновацію - ремонт та ТО	$Q_{pm}$ $Q_{km}$	% %	15 12	15 12
12.	Відрахування по розкидачу на: - реновацію - ремонт та ТО	$Q_{pp}$ $Q_{kp}$	% %	12 5	% %
13.	Ціна 1 кг палива	$C_{пмм}$	грн.	18,50	18,50

### 5.1. Економічна ефективність розробки розкидача твердих органічних добрив

Даний розрахунок приводимо в порівнянні базового розкидача органічних добрив МТО-3 та проектного РТО-3Р.

Визначимо заробітну плату механізатора [44]

$$Z_n = \frac{f_m}{W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (5.5)$$

По базовій моделі:

$$Z_{n.б.} = \frac{356,35}{23} = 15,49 \text{ грн/га.}$$

По проектній моделі:

$$Z_{n.п.} = \frac{356,35}{42} = 8,48 \text{ грн/га.}$$

Визначаємо відрахування на ремонт та амортизацію по трактору:

$$S_{om} = \frac{1,1 \cdot B_m \cdot (Q_{pm} + Q_{km})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (5.6)$$

По базовій моделі:

$$S_{om.б.} = \frac{1,1 \cdot 273600 \cdot (15 + 12)}{100 \cdot 300 \cdot 23} = 11,77 \text{ грн/га.}$$

$$S_{om.п.} = \frac{1,1 \cdot 273600 \cdot (15 + 12)}{100 \cdot 300 \cdot 42} = 6,44 \text{ грн/га.}$$

Визначаємо відрахування на ремонт та амортизацію по розкидачу твердих органічних добрив:

$$S_{op} = \frac{1,1 \cdot B_p \cdot (Q_{pp} + Q_{kp})}{100 \cdot T_{zp} \cdot W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (5.7)$$

По базовій моделі:

$$S_{op.б.} = \frac{1,1 \cdot 52450 \cdot (12 + 15)}{100 \cdot 30 \cdot 23} = 22,57 \text{ грн/га.}$$

По проектній моделі:

$$S_{op.п.} = \frac{1,1 \cdot 34845 \cdot (12 + 15)}{100 \cdot 30 \cdot 42} = 8,21 \text{ грн/га.}$$

Визначаємо вартість паливо-мастильних матеріалів за наступною формулою:

$$G_m = C_{nmm} \cdot g_m, \text{ грн./га.} \quad (5.8)$$

З врахуванням сьогоднішніх цін приймаємо комплексну ціну ПММ 32,5 грн./кг. Тоді, питомі витрати на ПММ будуть дорівнювати:

- по базовій моделі:

$$G_{m.б.} = 32,5 \cdot 6,45 = 209,625 \text{ грн./га.};$$

- по проектній моделі:

$$G_{m.п.} = 32,5 \cdot 4,35 = 141,37 \text{ грн./га.}$$

Отже, загальні експлуатаційні витрати визначаємо за формулою:

$$B = Z_n + S_{on} + S_{om} + G_m, \text{ грн./га.} \quad (5.9)$$

По базовій моделі:



$$B_{\bar{o}} = 15,49 + 11,77 + 22,57 + 209,62 = 259,45 \text{ грн./га.}$$

$$B_n = 8,48 + 6,44 + 8,21 + 141,37 = 164,5 \text{ грн./га.}$$

## 5.2. Питомі капітальні вкладення

Капітальні вкладення розраховуються з урахуванням нормативної завантаженості сільськогосподарської техніки [44]:

$$S_n = \frac{1,1 \cdot B_m}{W_{\text{год}} \cdot T_{\text{зм}}} + \frac{1,1 \cdot B_p}{W_{\text{год}} \cdot T_{\text{зр}}}, \text{ грн/га.} \quad (5.10)$$

По базовій моделі:

$$S_{n.\bar{o}} = \frac{1,1 \cdot 273600}{23 \cdot 300} + \frac{1,1 \cdot 52450}{23 \cdot 30} = 127,22 \text{ грн/га.}$$

По проектній моделі:

$$S_{n.n.} = \frac{1,1 \cdot 273600}{42 \cdot 300} + \frac{1,1 \cdot 34845}{42 \cdot 30} = 54,30 \text{ грн/га.}$$

## 5.3. Річний економічний ефект

Визначаємо річний економічний ефект за формулою:

$$E_p = [(B_{\bar{o}} + E_{\bar{o}} \cdot S_{n.\bar{o}}) - (B_n + E_n \cdot S_{n.n.})] \cdot T_{\text{зр}} \cdot W_{\text{год}}, \text{ грн.} \quad (5.11)$$

$$E_p = [(259,45 - 0,15 \cdot 127,22) - (164,51 - 0,15 \cdot 54,30)] \cdot 30 = 2520,15 \text{ грн./га.}$$

## 5.4. Строк окупності розробки конструкції розкидача твердих органічних добрив

Строк окупності визначається за формулою [44]:

$$Q = \frac{Z_{np}}{E_p} = \frac{2520,15}{34845} = 0,1 \text{ року.} \quad (5.12)$$

де  $Z_{np}$  – вартість проектного розкидача,  $Z_{np} = 34845$  грн.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2.

### Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниці виміру	Агрегат		Відхилення , (+ / -)
		МТЗ-920 + МТО-3	МТЗ-920 + РТО-3Р	
Вартість розкидача	грн	52450	34845	-17605
Заробітна плата	грн/га	15,49	8,48	-7,01
Витрати по трактору	грн/га	11,77	6,44	-5,33
Витрати по розкидачу	грн/га	22,57	8,21	-14,36
Витрати на ПММ	грн/га	209,62	164,5	-45,12
Загальні експлуатаційні витрати	грн/га	259,45	164,5	-94,95
Питомі капітальні витрати	грн/га	127,22	54,30	72,92
Річний економічний ефект	грн/га		2520,15	
Строк окупності	років		1	-

Отже, техніко-економічні показники застосування проектної машини для внесення твердих органічних добрив доводять доцільність прийнятих заходів та необхідність впровадження даної машини у виробництво. Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при застосуванні розробленої машини для внесення твердих органічних добрив становить 2520,15 грн./га, а строк окупності капіталовкладень складе 1 рік експлуатації проектного агрегату.

## Загальні висновки

1. Органічні добрива є важливим фактором інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та поліпшення родючості ґрунтів.

На підставі аналізу структури площ сільгоспугідь України встановлено, що значну їх частину складають поля малої площі (менше 30 га) та складної конфігурації. З урахуванням приведеної та поточної тенденції розвитку фермерських господарств в Україні, а також з причини не використання в зазначених умовах кузовних розкидачів, актуальним є питання розробки засобів механізації внесення твердих органічних добрив, здатних ефективно виконувати цю операцію на ділянках малої площі, складної конфігурації та рельєфу.

2. На підставі аналізу відомих інженерних рішень механізації технологічного процесу розкидання твердих органічних добрив в позначених вище умовах, показано, що перспективним рішенням є круговий метод внесення добрив з куп без утворення валка.

3. На підставі аналізу технологічного процесу розподілу добрив по поверхні поля робочим органом роторного типу встановлено, що з точки зору схематичного моделювання цього процесу, його потрібно розділити на декілька фаз: перша - фаза забору добрив на лопатку ротора; друга - фаза ковзання добрив по робочій поверхні лопатки; третя - вільний політ елементарних мас добрив в повітряному середовищі.

4. Сумісне застосування уточненої схеми, котра відноситься до фази ковзання, та розглянутої схеми фази вільного польоту елементарних мас у повітряному середовищі, дозволило зробити висновок відносно застосування викидного порогу, раціональної орієнтації лопаток ротора та величини подачі добрив на ротор. Показано, що, якщо застосовувати радіально встановлені лопатки, то, з одного боку, у такому разі досягається найширша смуга розподілу добрив, що безумовно позитивно, а, з другого боку, така орієнтація лопаток приводить до зв'язку параметрів розподілу добрив по полю з їх фізико-механічними властивостями, що вкрай небажано. Таким чином, для вибраної подачі добрив 0,03...0,04 м/с. було обґрунтовано раціональне значення кута установки лопаток більше  $10^\circ$ .

5. На підставі проведених експериментів були підтверджені теоретичні передумови відносно кута охоплювання ротора викидним порогом, котрий склав  $35^{\circ}$ , орієнтації лопаток ротора до його радіусу в межах  $10...20^{\circ}$ , та значення раціональної подачі добрив на лопатку ротора в межах  $0,03 \dots 0,04$  м/с

6. На основі опрацювання теоретичної моделі розподілу добрив по полю круговим методом розроблена схема розкладки куп добрив, та визначені раціональні значення розташування їх на полі. Так встановлено, що купи повинні розташовуватися у вершинах рівносторонніх трикутників або, що те ж саме, в загальних точках перетину розміточних борозен під кутом  $6^{\circ}$ , віддалених одна від однієї на відстані  $14...15$  м. Норму внесення добрив передбачається встановлювати за рахунок вибору відповідної загальної маси купи.

7. Запропонований розкидач та його робочий орган, а також метод його використання, забезпечує необхідну рівномірність розподілення добрив по поверхні поля, при цьому на найбільшій площі області розкидання нерівномірність складає близько  $22\%$ . При проведенні польових досліджень розкидача була встановлена достатньо висока ефективність його роботи. Економічна ефективність застосування такого розкидача досягається за рахунок підвищення продуктивності та складає  $2520,15$  грн./га.

### Список використаних джерел

1. Мосіюк Ф.Е. Добрива та економіка сільськогосподарського виробництва. – К.: Урожай, 1974. – 230 с.
2. Рекомендації щодо зниження ущільнюючого впливу ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки на ґрунт. – К.: Урожай, 1988. – 40 с.
3. Кушнар'єв А.С. Механічні дії сільськогосподарської техніки на ґрунт // Проблеми зниження ущільнюючого впливу на ходові системи трактора, мобільної сільськогосподарської техніки та робочих органів ґрунтообробних машин: Зб. н. тр. УСГА. – Київ, 1982. – С.21...29.
4. Кушнар'єв А.С. Проблемы повышения плодородия почв. //Техника в сельском хозяйстве. – 1989. №1. – С.4 – 7.
5. А.с. 148619 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Цымбал А.Г. - Заявл. 17.07.1961, №738877/30-15, Опубл. в Б.И. 1962, №13.
6. А.с. 266417 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из предварительно разложенных по полю куч /Марченко Н.М. Урдуханов Б.И. Рогачёв В.Р. и др. - Заявл. 16.01.1969, №1297023/30-15, Опубл. в Б.И. 1970, №11.
7. А.с. 145813 (СССР). Навозоразбрасыватель /Рыков В.И., Кармазин А.Н. Заявл. 15.07.1961, №738503/30-15, Опубл. в Б.И. 1962, №6.
8. А.с. 257184 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Савёлов А.М., Нечитайло И.П.- Заявл. 17.07.1968, №1259298/30-15, Опубл. в Б.И. 1969, №35.
9. А.с. 957783 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из куч. /Клименко Н.И. - Заявл. 20.06.1980, №2946218/30-15, Опубл. в Б.И. 1982, №34.
10. А.с. 1017185 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из куч. /Клименко Н.И. - Заявл. 14.01.1981, №3237537/30-15, Опубл. в Б.И. 1983, №18.
11. А.с. 176733 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Цымбал А.Г. Бондаренко Н.И. Журавский О.А. и др.- Заявл. 12.09.1964, №920578/30-15, Опубл. в Б.И. 1965, №23.
12. А.с. 246178 (СССР). Валкообразователь к разбрасывателю удобрений из куч /Соколов В.М., Брык Н.И., Линник Н.К., Гонза М.Г. - Заявл. 21.05.1968, №124926/30-15, Опубл. в Б.И. 1969, №20.

13. А.с. 356981(СССР). Валкообразователь /Цымбал А.Г., Бондаренко Н.И., Журовский О.А. и др.- Заявл. 07.01.1971, №1614515/30-15, Оpubл. в Б.И. 1972, №33.
14. А.с. 397146(СССР). Валкообразователь к разбрасывателю удобрений из куч /Соколов В.М., Брык Н.И., Линник Н.К., Кравченко О.С.- Заявл. 21.01.1971, №1613133/30-15, Оpubл. в Б.И. 1973, №37.
15. А.с. 531507 (СССР). Валкообразователь к разбрасывателю удобрений из куч /Макеев Н.З., Зайцев А.С - Заявл. 20.11.1974, №2079262/30-15, Оpubл. в Б.И. 1976, №38.
16. А.с. 534196(СССР). Навесной валкообразователь разбрасывателя органических удобрений /Клименко Н.И - Заявл. 03.02.1975, №2102153/30-15, Оpubл. в Б.И. 1976, №41.
17. ОСТ.70. 7. 2 – 82. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для внесения твердых органических удобрений. Программа и методы испытаний. 75 с.
18. Брвк Н.С. Дослідження процесу внесення органічних добрив із куп та обгрунтування параметрів валкоутворювача-розкидачі: Автореф. дис. кан. техн. наук. - Харків, 1968. – 23с.
19. Деменьтьев А.И. К вопросу о равномерности внесения органических удобрений роторными разбрасывателями // Труды Саратовского института мех. с.-х. им. Калинина, вып.38. – Саратов, 1965. – С.24...31.
20. Макеев Н.З. Зайцев А.С. Анализ работы валкообразующих устройств навозоразбрасывателей // Сельскохозяйственные машины. Сб. н. тр. МИИСП, т.9 вып.1, часть2. – М.,1972. – С.49...53.
21. Мартиросян Г.Г. Обоснование параметров и разработка рабочих органов машины для внесения твёрдых мелиорантов: Автореф. дис. кан. техн. наук. – Ереван, 1988. – 24с.
22. А.с. 1172469 (СССР). Рабочий орган к разбрасывателю органических удобрений /Макеев Н.З., Аникеев А.И. - Заявл.–29.03.1984, №3718871/30-15, Оpubл. в Б.И. 1985, №30.

23. Новиков В.М. Механізація прибирання та утилізації гною. – М.: Колос, 1982. – 286с.
24. Якубаускас В.И. Технологические основы механизированного внесения удобрений. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 230 с.
25. Литвинов М.А. Механізація внесення добрив. - М.: Россельхозиздат, 1973.
26. Гимейн С.М. Некоторые физико-механические свойства навоза // Науч. Тр. ВИМ т.32 – М.: 1963. – С.182–194.
27. Марченко Н.М. и др. Комплексная механизация приготовления и внесения удобрений. - М.: Колос, 1974 – 388с.
28. А.с. 214891 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Негреев Н.В, Леонов В.С., Решетило А.Ф., Крылов Д.В., Журба Р.М. - Заявл. 20.03.1967, №1142748/30-15, Оpubл. в Б.И. 1968, №12.
29. А.с. 104922 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Гольцов А.А., Поздняков В.В. - Заявл. 22.03.1971, №1635047/30-15, Оpubл. в Б.И. 1972, №28.
30. Лунев Ю.И. Исследование рабочего процесса роторного разбрасывателя органических удобрений из куч: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Харьков, 1970. – 184 с.
31. А.с. 164835 (СССР). Ротор метателя / Внуков И.Т., Бондаренко Н.И., Федотов Н.М., Холодова Л.А. - Заявл. 01.07.1968, №1254885/30-15, Оpubл. в Б.И. 1970, №9.
32. А.с. 244757 (СССР). Рабочий орган к разбрасывателю удобрений из куч /Милованов А.П., Евхута А.А., Белгородский Б.И., Липская И.Н., - Заявл. 31.01.1968, №1215067/30-15, Оpubл. в Б.И. 1969, №18.
33. Ясенецький В.Р. Розкидачі органічних добрив //Пропозиція. –2002, №4, с.-104...108.
34. 67. Кругляков М.Л. и др. Механизация подготовки и внесения удобрений. – М.: Колос, 1985.
35. Шабельник Б.П. Процеси та обладнання в тваринництві. - Харків, НМЦЗН сільськогосподарських вузів України, 1999, 126 с.
36. Романко В.К. Курс дифференциальных уравнений и вариационного исчисления - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000 - 344 с.

37. Егерев В.К., Кордемский Б.А., Зайцев В.В. и др. Сборник задач по математике для поступающих во втузы // Под ред. Сканава Н.И. - 5-е изд.; перераб. и доп. - М.: Высш. шк.; 1988. - 431 с.
38. Карл Де Бор. Практическое руководство по сплайнам // Пер. с англ. Галицкого В.К., Шестакова С.А. / Под ред. Скурихина В.И. - М.: Радио и связь, 1985, - 304 с.
39. Макеев Н.З., Аникеев А.И., Красноруцкий А.Н. Влияние величины подачи органических удобрений на угол их схода с лопастей роторного разбрасывателя. //Механизация внесения удобрений на орошаемых землях: Сб. н. тр. МИИСП, М., - 1987. С. 109-112.
40. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність та жорсткість. Ч.І, ІІ: Підручник / Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк та ін.; за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. – К.: Хай Тек-Прес, 2011. – 616 с.
41. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність та жорсткість. Ч.ІІІ: Підручник / Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк та ін.; за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. – К.: Хай Тек-Прес, 2013. – 528 с.
42. Калетнік Г.М. Технічна механіка [Текст] : підручник для студентів вищих навчальних закладів / Калетнік Г.М., Булгаков В.М.; Черниш, О.М. та ін.. - К. : Хай-Тек Прес, 2011. - 340 с.
43. Калетнік Г.М. Теоретична механіка в прикладах та завданнях: Навч. посібник / В. М. Булгаков, Г. М. Калетнік, І. В. Гриник та ін.; За ред. : В. М. Булгакова. - К.: Аграрна наука, 2014. - 348 с.
44. Скорук О.П. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних проектів для студентів факультету механізації сільського господарства денної та заочної форми навчання спеціальності 7.10010203 «Механізація сільського господарства». Розрахунок техніко-економічної ефективності використання сільськогосподарської техніки / Скорук О.П., Токарчук Д.М. – Вінниця: ВЦ ВНАУ, 2013. – 29с.