

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

## **П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

### **Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів швидкісного гвинтового змішувача**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-1-21  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Муркович Олександр Олександрович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Пугач Андрій Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2022

# ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«     »     \_\_\_\_\_ 2022 р.

## З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

\_\_\_\_\_ Мурковичу Олександр Олександровичу \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів швидкісного гвинтового змішувача

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«18» жовтня 2022 року № 3008

2. Строк подання студентом роботи 25.11.2022 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасних технологічних процесів змішування сипучих компонентів 2. Теоретичні дослідження механізму динамічного змішування 3. Програма та методика експериментальних досліджень 4. Результати дослідження змішування сипучих компонентів. 5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 6. Техніко-економічна ефективність впровадження результатів досліджень. Висновки. Список використаних джерел.

**5. Перелік демонстраційного матеріалу**

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Кравець В.В., доцент		
6	Вінніченко І.І., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 20.09.2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2022 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2022 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2022 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 17.10.2022 р.	Виконав
5	Економічний	до 07.11.2022 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 14.11.2022 р.	Виконав

**Студент**

\_\_\_\_\_

( підпис )

( прізвище та ініціали )

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_

( підпис )

( прізвище та ініціали )

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Муркович О.О.					3
Перевір.		Пугач А.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Теслюк Г.В.					
Затверд.		Теслюк Г.В.					
52.ДР.008.000000.ПЗ							
				Відомість дипломної роботи			
							ДДАЕУ

## РЕФЕРАТ

Муркович О.О. Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів швидкісного гвинтового змішувача / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

**У першому розділі** представлено аналіз сучасних технологічних процесів змішування сипучих компонентів.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження механізму тонкошарового динамічного змішування.

У третьому розділі представлено програму та методику експериментальних досліджень.

У четвертому розділі приведено результати експериментальних досліджень динамічного змішувача.

У п'ятому розділі приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

У шостому розділі приведено оцінку економічної ефективності від впровадження

**Ключові слова:** рівномірність змішування комбікорм, бункер-дозатор, швидкохідний гвинтовий змішувач, камера змішування, тонкошарове динамічне змішування.

Муркович О.О. Аналіз сучасної структури комбікормових підприємств / О.О Муркович. // Modern of VIII International Scientific and Practical Conference - Lviv, Ukraine, 29-31 October 2022. С. 42-44.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ СИПУЧИХ КОМПОНЕНІВ ПРИ ВОРОБНИЦТВІ КОМБІКОРМІВ .....	10
1.1 Аналіз сучасної структури комбікормових підприємств.....	10
1.2 Сутність процесу змішування сипучих комбінованих кормів і їхнє значення в годівлі тварин.....	17

1.3 Якість змішування сипучих кормів і їх оцінка.....	20
Висновки.....	23
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ</b>	
<b>ТОНКОШАРОВОГО ДИНАМІЧНОГО ЗМІШУВАННЯ КОМБІКОРМІВ.....</b>	<b>25</b>
2.1 Моделювання технологічної системи «кормова суміш-змішувач».....	28
2.2 Обґрунтування сумісних параметрів дозатора й швидкохідного гвинтового змішувача.....	38
2.3 обґрунтування взаємодії бункера-дозатора та змішувача.....	46
2.4 Визначення форми робочої поверхні кожуха змішувача у зоні завантаження.....	48
2.5 Модель процесу тонкошарового змішування сипучих компонентів комбікормів у гвинтовому змішувачі.....	51
Висновки.....	53
<b>3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПОЛЬОВИХ</b>	
<b>ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>55</b>
3.1 Мета і програма експериментальних досліджень .....	55
3.2 Характеристика умов проведення експериментальних досліджень.....	56
3.3. Технічна база для проведення експериментальних досліджень .....	57
3.4. Методика обробки експериментальних даних.....	60
3.5. Методика визначення розрідження у зоні входу шарів сипучих компонентів під шторку.....	63
Висновки.....	63
<b>4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ТОНКОШАРОВОГО</b>	
<b>ДИНАМІЧНОГО ЗМІШУВАННЯ СИПУЧИХ КОМПОНЕНТІВ.....</b>	<b>64</b>
4.1 Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу змішування сипучих компонентів по продуктивності.....	64
4.2 Визначення товщини шару дозування сипучих компонентів.....	72
4.3 Визначення вмісту контрольного компонента в суміші комбікорму.....	84
4.4 Результати впливу розрідження у зоні дозування на параметри роботи...88	
Висновки.....	92
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>94</b>

5.1 Техніка безпеки технологічного процесу.....	94
5.2 Небезпечні та шкідливі фактори, які можуть впливати на працівника.....	94
5.3 Рекомендації щодо виробництва.....	95
5.4 Створення карти контролю по показникам безпеки.....	96
Висновки.....	99
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	100
6.1 Вихідні дані .....	100
6.2 Питомі експлуатаційні витрати.....	101
6.3 Питомі приведені витрати.....	104
Висновки.....	106
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109
ДОДАТКИ.....	114

## **ВСТУП**

Реформування сільського господарства України в ринкових умовах вимагає принципово нових підходів до вирішення продовольчої проблеми за рахунок максимальної реалізації потенціалу тваринництва і особливо кормовиробництва. Сьогодні тваринництво перебуває у досить складному становищі. Це сталося у зв'язку з розформуванням великих тваринницьких комплексів і появою великої кількості дрібних ферм і господарств, що займаються тваринництвом. Розроблена для тваринництва система техніки

виявилася застарілою і непридатною для утримання невеликого стада тварин. У зв'язку з цим для розширення функціональних можливостей аграрного комплексу шляхом організації виробництва кормосумішей безпосередньо на фермах, які виробляють продукцію тваринництва, необхідно було розробити нові технології та малогабаритне високоефективне технологічне обладнання.

Дослідження технологічного процесу змішування кормосумішей швидкохідними шнековими змішувачами з тонкошаровим динамічним змішуванням компонентів, які більшою мірою відповідають вимогам ресурсозберігаючих технологій порівняно з існуючими змішувачами.

Усе це дає нам підстави стверджувати, що обрана тема твору є важливою і сьогодні.

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності змішування сипучих компонентів кормової суміші шляхом удосконалення конструкції швидкохідного шнекового змішувача з тонкошаровим динамічним змішуванням компонентів.

Для досягнення мети в роботі були визначені наступні завдання:

- аналізувати сучасні технологічні процеси та конструкції

змішувачів сипучих компонентів у виробництві кормових сумішей та розробити нову технологічну схему швидкісного шнекового змішувача з тонкошаровим динамічним змішуванням компонентів кормових сумішей;

- визначити та обґрунтувати основні фактори, що впливають на процес динамічного тонкошарового змішування сипучих компонентів

кормової суміші;

- на основі системного підходу з використанням теорій подібності, моделювання та ймовірності розробити методику дослідження процесу змішування сипучих компонентів та визначення основних конструктивно-технологічних параметрів швидкісного шнекового змішувача;

- теоретично та експериментально обґрунтувати вплив форми корпусу нагнітального простору на якість кінцевого змішування.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес тонкошарового динамічного змішування сипучих інгредієнтів при виробництві кормової



суміші.

**Предметом** є – показники якості тонкошарового динамічного змішування сипучих компонентів кормової суміші в залежності від конструктивно-технологічних параметрів швидкісного шнекового змішувача.

**Методи дослідження.** Використано метод системного дослідження, теорію планування експерименту, методи фізико-математичного моделювання, математичного аналізу, теорію подібності.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Виведено аналітичні залежності для визначення зв'язку між конструктивними, кінематичними та силовими параметрами механізмів. Проведено експериментальні дослідження, за результатами яких визначено відповідність теоретичних залежностей реальним робочим процесам.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Запропоновано інженерну методику розрахунку параметрів гвинтових самозавантажувальних насадок, наведено аналітичні та графічні залежності для вибору їх раціональних параметрів, а також результати техніко-економічної оцінки впровадження розробки.

## **1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ СИПУЧИХ КОМПОНЕНТІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОМБІКОРМІВ**

### **1.1. Аналіз сучасної структури комбікормових підприємств**

У сучасний час комбікормові компанії можна розділити на три основні групи:

- державні підприємства кормових сумішей;
- міжгосподарські цехи та заводи комбікормів;

- малі комбіновані живильні пристрої та агрегати.

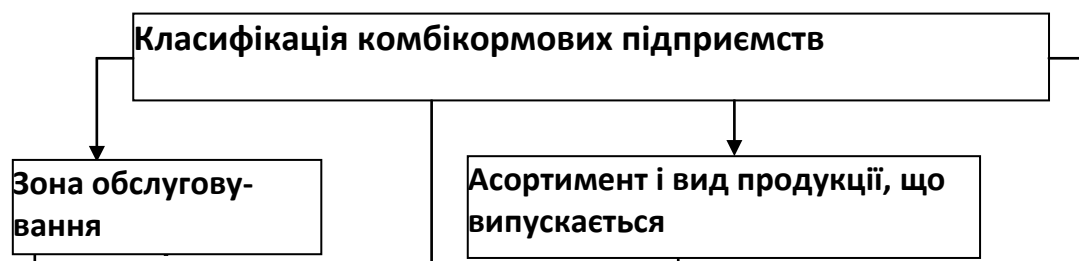
Загалом пропонується класифікувати комбікормові підприємства за такими критеріями [1, 2, 3]: територія обслуговування, тип і рівень організації виробництва, технологія, асортимент і вид продукції, що випускається, місцезнаходження підприємства (рис. 1.1).

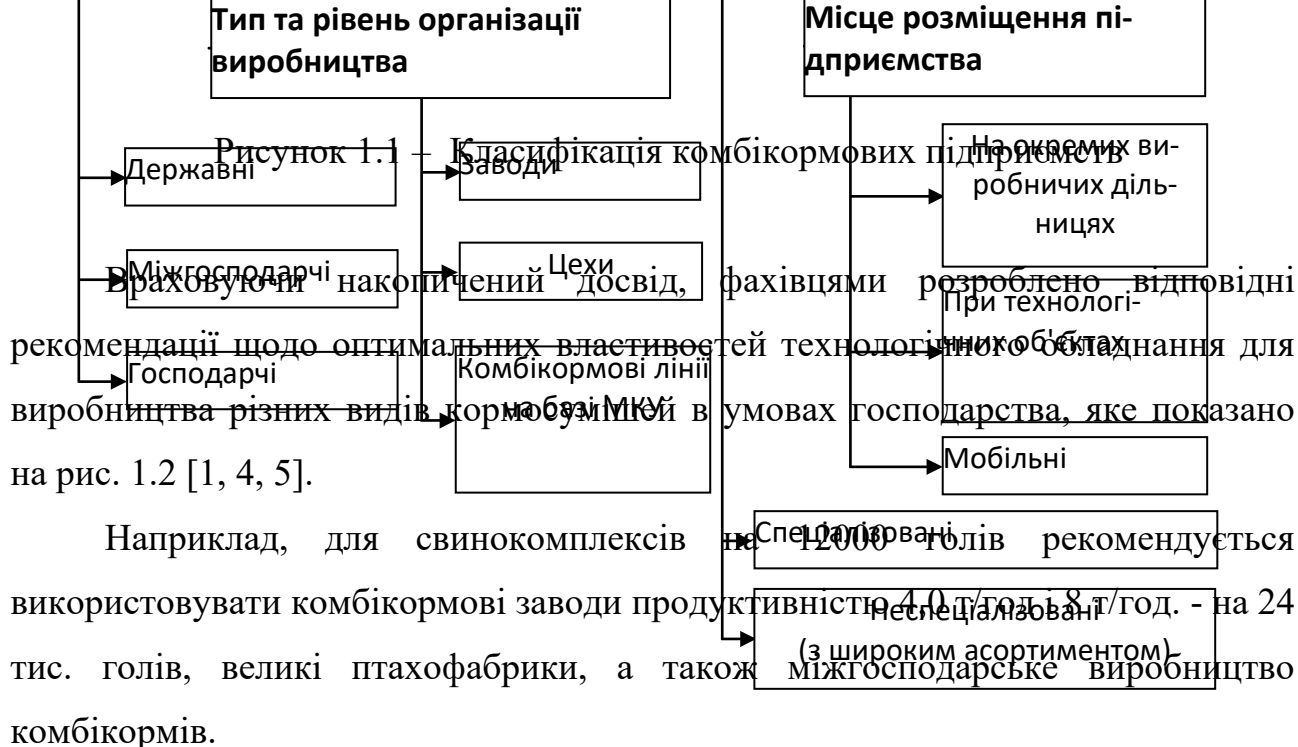
Склад і обсяг обладнання забезпечення кормовими сумішами визначається кількістю і змістом технологічних операцій виробництва кормових сумішей і умовами виробництва. Найбільшу кількість операцій охоплюють технологічні процеси виробництва кормосумішей у народногосподарських або міжгосподарських цехах комбікормових сумішей, до складу яких входять технологічні лінії приймання та зберігання сировини, її попередньої підготовки та обробки, а також виробництва кормосумішей і добавок. .

Дрібні кормосуміші рекомендовано використовувати на невеликих тваринницьких фермах із добовим споживанням кормосумішей до 10 т. Такі агрегати складаються з дробарки, одного-двох змішувачів та обладнання для подачі компонентів у дробарку та змішувач. Їхня продуктивність не перевищує 1-1,5 тонни на годину. Технологічний процес виробництва кормових сумішей на таких установках здійснюється за спрощеною схемою [4].

У технологічному відношенні існують підприємства з виробництва кормових сумішей з повним і спрощеним технологічним циклом [1, 4]. Враховуючи асортимент продукції, що промислові - спеціалізовані (випускають продукцію переважно для одного виду споживачів) і неспеціалізовані (з широким асортиментом).

Підприємства з виробництва комбікормів можуть розташовуватися як у вигляді окремих виробничих цехів, так і на різних типах сільськогосподарських об'єктів (зернові пункти, тваринницькі та птахофабрики, а також у мобільному варіанті з розміщенням на причепі трактора чи платформі автомобіля).





Агрегати продуктивністю 0,5 і 1,0 ... 2,0 т / год призначені безпосередньо для ферм (табл. 1.1). Для виробництва БВД плануються апарати з продуктивністю 0,5; 1,0 і 2,0 т/год; їх можна використовувати самостійно і в складі цехів з кормовими сумішами.



Рисунок 1.2 – Класифікація машин з виробництва комбикормів в умовах господарств

При добовій потребі кормосуміші до 1,0 т фермеру зазвичай не вигідно використовувати завод кормосумішей. Тому рекомендується використовувати пересувні агрегати продуктивністю 1,0 ... 2,0 т/год, які можуть використовуватися для постачання ферм за графіком або за потребою. Такі агрегати приводяться в рух від електродвигуна або ВВП трактора.

У таблиці 1.1 наведено дані щодо ефективності використання

технологічного обладнання за видами та кількістю тварин.

Таким чином, існуюча система комбікормових підприємств має досить чітку структуру, яка передбачає розподіл технологічного обладнання за всіма рівнями виробництва, починаючи від державних заводів і закінчуючи лініями з виробництва комбікормових комбікормів у фермерських умовах, і домінуюче обладнання у всіх компаній є змішувачі, від яких залежить кінцевий стан кормових сумішей.

Залежність продуктивності малогабаритних комбікормових агрегатів від поголів'я

Тип обладнання	Продуктивність, т/год.	Потреба у комбікормах, т/доб.	Рекомендується для господарств із поголів'ям		
			свиней	ВРХ	овець
Розмельно-змішувальна установка	0,5	1,0 – 4,0	до 2000	до 400	до 6000
Комбікормовий агрегат	1,0	4,0 – 8,0	4000	1000	12000
Комбікормовий агрегат	2,0	15 – 30	до 6000	2000	25000
Комбікормовий цех	4,0	30 – 50	до 12000	4000	–
Міжгосподарське комбікормове підприємство	8,0	60 – 120	–	–	–

Сучасною концепцією розвитку сільського господарства в Україні є тенденція до вирощування сільськогосподарської продукції в дрібних кооперативних господарствах, орендних господарствах, підсобних господарствах, сімейних та інших господарствах, що дозволяє значно знизити собівартість продукції, одержувати кормові суміші необхідного об'єму, в необхідній кількості і в будь-який час [1].

Тому для невеликих господарств агропромислового комплексу необхідно нарощувати обсяги виробництва комбікормових сумішей, покращувати їх якість та асортимент, використовувати місцеву сировинну базу, що вимагає створення кооперативних і дрібнотоварних с.-г. сумішей. Для цього потрібні порівняно невеликі, надійні, зручні в експлуатації та відносно недорогі подрібнювально-дозувально-змішувальні агрегати та пристрої, які дозволяють готувати високоякісні кормові суміші з місцевої сировини та різноманітних покупних добавок.

У зв'язку з цим промисловість багатьох країн виробляє досить широкий асортимент малогабаритних комбінованих живильних пристроїв, як серійних, так і дослідних [6, 7, 8], основні з яких представлені в таблиці. 1.2.

Як видно з табл. 1.2, в Україні досить добре освоєно виробництво малих комбікормових агрегатів, таких як УМК-Ф-2, «Харків'янка», АКМ-1, БМКА-1 та ін.

Технічна характеристика малогабаритних комбікормових  
установок та агрегатів

Устаткування	Загальні показники				
	Країна – виробник	Продуктивність, т/год.	Встановлена потужність, кВт	Маса, кг	Число обслуг. перс.
Серійні МКУ					
1. УМК-Ф-2	Україна	3 – 5	20,0	3800	1
2. АКМ-1	Україна	1,0 – 1,1	25,0	2200	1
3. АКН-1М	Україна	1,0	17,2	1500	2
4. К-Н-5		2 – 5	до 50	-	1
5. К-Н-5-1		2 – 5	до 50	-	1
6. АWF-4	Німеччина	0,15 – 0,2	3,0	70	1
7. БМКА-1-01	Україна	0,6 – 0,8	13,2	650	1
8. КА-4		4	38	4690	1
9. ОКЦ-4		4 – 4,8	210,0	13500	2
10. ОКЦ-8		8 – 9,3	350,0	83600	5
11. “Ніагара”	Україна	1,4	27,1	1080	1
12. Мишко “Супрол”	Польща	0,6	-	-	1
13. ІБМЕР	Польща	0,8	-	-	1
14. Рако	Німеччина	1,5	-	-	1
15. МХ-170 (“Гейл”)	США	40 л/с	-	-	1
16. АFM 993 Q (“Бушхофф”)	Німеччина	5 – 8	-	-	1
17. НК-5	Фінляндія	5	197,5	-	-
18. I-Star	США	6	21,9	2000	1
19. Agrcoos-Centrum	Чехія	0,85	9	2000	1
Експериментальні МКУ					
20. КМЗ-069		0,7	7,5	850	2
21. КМЗ-1,0		1,3	11	1200	2
22. КМЗ-2		2,2	18,5	1600	3
23. ЛПК-2		3	29	3000	1
24. Elger	Угорщина	3	44,5	-	1
25. Buhler-MIAG	Швейцарія–Німеччина	7	-	-	-
26. Компакт	Україна	4			1
27. Фермер		1	20		1

Продовж. табл. 1.2

28. ККУ-1(2,3)	Литва	0,9	7,5	750	1
29. ККУ-2	Литва	1,3	15	1000	1
30. ККУ-3	Литва	1,8	18,5	3000	1
31. RVOF12	Німеччина	0,5	7,5	-	1
32. RVM332	Німеччина	0,64	10	-	1
33. RVM442	Німеччина	0,8	12,5	-	1
34. 10/FSD	Італія	1,5	13,6	730	1
35. C15-1000	Італія	1,8	12,8	700	1
36. МКУ	Україна	6	20	-	1
37. ЦК-4		8	90	10000	1
38. Веда	Україна	3	-	-	-

Залежно від використовуваної на підприємстві технології виробництва кормових сумішей і кормових концентратів і типу використовуваного обладнання технологічний процес організовується за одним із наступних варіантів:

- підготовкою кожного виду сировини окремо та дозуванням на кінцевій фазі (однокомпонентне подрібнення - одностадійне дозування);
- шляхом формування попередніх сумішей компонентів з двоступеневим дозуванням (багатоступеневе подрібнення - дозування ступінчастим);
- із спільною обробкою сировини, що потребує подрібнення, підготовки інших компонентів, одностадійного дозування (багатокомпонентний помел - одностадійне дозування);
- шляхом дозування всіх видів сировини та їх спільної обробки (одноступеневе дозування – багатокомпонентне подрібнення).

Стабілізація продуктивності будь-якого комбікормового підприємства пов'язана із забезпеченням постійного та безперебійного дозування та змішування компонентів. Далі будемо розглядати процес перемішування як ряд елементарних процесів: конвективне перемішування - перемішування груп змішаних частинок спіральною поверхнею шнека з одного місця суміші в інше за допомогою руху і ковзання [7, 8].

Розглянуто лінію безперервного дозування та змішування компонентів один із самих основних факторів, на якому формується якість кормової суміші.

Це твердження справедливе за таких умов: компоненти надходять у дозатори окремо і не змішуються з іншими, їх якість за основними показниками достовірно відповідає даним супровідних документів або визначена аналізами у виробничо-технологічній лабораторії компанії, сировина не містить токсичних та інших речовин, що перевищують значення, пере дозовані бункери мають усі інгредієнти, що входять до рецептури [12, 13].

В останні роки впроваджені технологічні схеми з двома вузлами дозування та змішування: зернової та гранульованої сировини, комбикормів харчової промисловості. Такі схеми мають переваги перед традиційними, де дозування підготовлених компонентів здійснюється одноразово на основній лінії дозування. Попереднє дозування важкосипучих матеріалів покращує сипучість суміші. Крім того, покращується однорідність кормової суміші, оскільки всі компоненти змішуються в два етапи.

Досвід установок кормосумішей з багатоконпонентним автоматичним ваговим дозуванням і періодичним змішуванням показав, що для підвищення продуктивності лінії дозування і змішування, а отже і всієї установки, необхідні різні варіанти конпонування змішувачів безперервної дії, як серійних, так і серійних. і паралельні, можливі.

Перспективною вважається технологія [8], яка включає створення попередніх сумішей сировини з близькими технологічними властивостями, їх циклічну переробку.

Одним із перспективних напрямів розвитку таких компаній є їх подальша автоматизація [14], автоматизована система управління дозуючою та змішувальною лінією вмикає та вимикає три живильники, привід змішувача та його засувку, привід засувки вагового бункера, а також транспортне обладнання. Мінеральні компоненти подаються з приймального бункера безпосередньо в шлакоблок для дозування, тому тут працюють два шнекові конвеєри.

Таким чином, однією з найважливіших проблем ефективної роботи підприємств кормосумішей є вибір технологічної лінії дозування та змішування кормів з максимальним ступенем комплексного вирішення автоматизації її



роботи. При цьому необхідно забезпечити високу якість виробленої кормової суміші, підвищити продуктивність і знизити енергоємність процесу. Останній запит практично не знайшов відображення в наукових дослідженнях. Проте в цей час головним у проектуванні технологічних систем є зниження енерговитрат.

Якість виготовленої кормосуміші має на увазі високий ступінь змішування компонентів, що необхідно оцінювати об'єктивними показниками.

## **1.2. Сутність процесу змішування сипучих комбінованих кормів і їхнє значення в годівлі тварин**

Багато дослідників досліджували процес змішування сипучих кормів і зробили серйозний внесок [15, 16, 17].

Однією з актуальних теоретичних проблем опису процесів приготування сипучих кормів залишається формування суміші компонентів. Ю.І. Макаров під змішуванням розуміє такий механічний процес, при якому спочатку окремі компоненти після рівномірного розподілу кожного з них в об'ємі змішаного матеріалу утворюють однорідну суміш [15, 16].

Автори робіт [20,21] під змішуванням розуміють процес об'єднання об'ємів різних речовин з метою отримання однорідної суміші, тобто створення рівномірного розподілу частинок кожного компонента у всьому об'ємі суміші шляхом рекомбінації їх під впливом зовнішніх сил.

Александровський А.А. [26] визначає змішування як випадковий процес, який складається з перерозподілу компонентів в об'ємі композиції і призначений для приготування суміші - набору різних компонентів, випадково розташованих відносно один одного. Стан повного змішування статистично визначається як неупорядкований стан, при якому ймовірність знаходження частини даного компонента в довільній точці є постійною величиною, що дорівнює частці цього компонента в загальній масі [21].

Для характеристики процесу змішування найчастіше використовують числові характеристики законів розподілу концентрації: дисперсію,

кореляційний момент, а також середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації та ін. [15, 16].

Наука і практика показують, що, правильно поєднуючи в раціоні різні інгредієнти, наприклад, крупи з бобовими і травами, можна значно підвищити їх біологічну ефективність. Так, додавання гороху в кількості 25% до маси зерна пшениці підвищує біологічну ефективність суміші на 120%, додавання в пшеницю 7-15% сої подвоює її. Горох, змішаний із сорго у співвідношенні 20:80, збільшує біологічну дію втричі. Невелика добавка зерна до трави збільшує загальну дію суміші в 1,5-2,5 рази.

Ефективне використання поживних речовин кормової суміші можливе лише за умови подрібнення інгредієнтів до необхідного ступеня подрібнення. Враховуючи ці вимоги, сировину, що надходить у виробництво, поділяють на дві групи: першу, що не підлягає подрібненню (висівки, борошно, БВД, мінеральні домішки в порошку та ін.), і другу, що не підлягає подрібненню. підлягає обов'язковому подрібненню. помелу (всі види зернових комбікормів, макуха, манка, крейда, кухонна сіль та ін.).

Тому розрізняють три фракції помелу зерна: тонку - розмір подрібнених часток - 0,2-1 мм; середні - в подрібненій масі переважають частинки розміром 1-1,8 мм і крупнозернисті - 1,8-2,8 мм. При всіх фракціях помелу небажана наявність частинок пилу, які можуть тверднути в грудки. Таких часток у зерні не повинно бути більше 20%. Великій рогатій худобі в залежності від віку рекомендується згодовувати корми середнього і грубого помелу, а свиням — дрібно подрібнені.

Проте, як було сказано вище, потреби тварини в поживних, мінеральних і біологічно активних речовинах в основному не відповідають вмісту цих речовин в індивідуальному кормі, а значить, досягається найкраще використання поживних речовин.

Дослідженням процесу змішування сипучих кормів займалися й зробили серйозний внесок багато дослідників [15, 16, 17].

При правильному підборі компонента кормової суміші брак поживних речовин в одному компоненті поповнюється підвищеним вмістом інших, що дає можливість повністю закрити потреби тварини в харчуванні відповідно до її виду, віку, продуктивності та фізіологічного стану.

Основу рецептур комбікормів складають нормативи годівлі домашніх тварин, а також розроблені з урахуванням цих норм національні стандарти кормових рецептур для тварин відповідних вікових і виробничих груп.

Рецептура кормової суміші, показники поживності та технологія виробництва повинні відповідати тваринам, для яких вони призначені, у тому числі їх генетичним здібностям та умовам утримання [12].

Як зазначає В.М. Аблаутова, якісне змішування кормів збільшує приріст маси тварин на 10 % [22].

Під час експериментальних досліджень А.К. Мальцев [17] отримав наступні результати, які підтверджують необхідність якісного змішування. Наприклад, приріст маси свиней, які отримували кормову суміш постійної однорідності, збільшується на 50...150 г на добу порівняно з приростом маси свиней, які отримували кормову суміш, однорідність якої сильно коливалася.

Процес виготовлення якісної кормосуміші – це власне процес подрібнення, дозування та змішування інгредієнтів, які входять до рецептури і відрізняються за структурою, гранулометричним складом і щільністю. Так, при приготуванні комбікормів допускаються відхилення від рецептурного складу в межах не більше – 1,5%, соковитих кормів – 3,5%, рідких кормів – 2,5 %, мінеральних добавок – 1 % від кількості відміряного корму за масою [8, 40].

За зоотехнічними вимогами процес змішування можна вважати закінченим, якщо суміш містить правильну кількість кормової суміші і концентратів 96%, соковитих кормів 93%, рідких кормів і води 95% і мінеральних добавок 98%.

Таким чином, процес змішування є важливим етапом отримання якісної кормової суміші. Дуже ефективно використання змішувача в поєднанні з розкидачем дозволить отримати якісну кормову суміш, яка відповідає зоотехнічним вимогам складу рецептури та однорідності суміші.

### 1.3. Якість змішування сипучих кормів і її оцінка

Крім інших параметрів під якістю кормової суміші слід розуміти також рівень її однорідності, тобто наскільки добре змішані її компоненти [15].

Досить детальний огляд визначень якісної суміші та методів її оцінки можна знайти в роботах [16, 21, 22].

За визначенням С.В. За Мельниковим [28], кількісною характеристикою повноти процесу змішування є ступінь однорідності суміші, який є масовим співвідношенням вмісту контрольного компонента в досліджуваній пробі до вмісту цього ж компонента в ній. ідеальний зразок. суміш (рецепт), виражена у відсотках або частинах одиниці.

Найбільші розбіжності у дослідників процесу змішування викликають параметри, що характеризують випадковість процесу розподілу компонентів – їх концентрації чи інші властивості [26].

Деякі дослідники [24] вважають, що процес змішування – це безперервне збільшення поверхні розділу між компонентами суміші.

$$[P] = 1 - \left[ e^{-KS_p(1-e^{-t})} \right] V \quad (1.1)$$

де  $[P_t]_E$  – імовірність появи в об'ємі  $V$  компонента  $A$  ;

$V_0$  – об'єм проби.

Батунер Л.М., Позин М.Е. [28] процес змішування описують залежністю, що виражає зміну поверхні розділу компонентів у часі:

$$S_t = S_p (1 - e^{-ct}), \quad (1.2)$$

де  $S_t$  – поверхня розділу в будь-який час  $t$  ;

$S_p$  – максимально можлива поверхня.

Раскатова Е.А. пропонує рівняння кінетики процесу змішування в наступному виді:

$$K = f_1(t) - f_2(t), \quad (1.3)$$

де  $f_1(t)$  – відображає хід процесу змішування;

$f_2(t)$  – відображає хід процесу сепарації.

При цьому стан рівноваги виникає в процесі перемішування в той момент, коли швидкості основного і зворотного процесів зрівнюються за модулем і залишаються незмінними надалі.

Багато авторів розглядають проблему змішування в тісному зв'язку з особливостями подачі і дозування компонентів при заповненні змішувача. А. Г. Фомічов [29] рекомендує забезпечувати попереднє змішування потоків компонентів, що подаються в змішувач, тобто попереднє змішування більш тонкими струменями. Разом з іншими авторами Фомічов А.Г. вказує на тісний зв'язок системи дозування-змішування.

Чувпило А.В. [28] зазначає, що якщо здійснюється дозована подача, коли пропорції компонентів у вибраних мікрооб'ємах відповідають запропонованим вимогам, то потреба у змішувачах відпадає.

Іншою стороною проблеми є встановлення критеріїв оцінки отриманої суміші компонентів комбікорму.

Для характеристики однорідності кормових сумішей використовують, зокрема, метод сепараційних властивостей [21].

Сутність методу полягає в тому, що, знаючи фактичне значення поділяючої ознаки компонентів і суміші, розрахунковим шляхом визначають кількість контрольного компонента в суміші. Як поділяюча ознака можуть бути використані такі показники матеріалу, як питома маса або поверхня, в'язкість, вологість і інші, за умови, що вони якоюсь мірою є константами даного матеріалу.

Для визначення ступеня  $\theta$  однорідності на основі аналізу узятих проб однієї з розповсюджених є формула А.А. Лапшина [20]:

$$\text{при } B_t < B_0 \quad \theta = (B_t - B_0) n, \quad (1.4)$$

$$\text{при } B_t > B_0 \quad \theta = [(2B_0 - B_t) | B_0] | n, \quad (1.5)$$

де  $n$  – число проб;

$B_t$  – частка меншого компонента в пробі;

$B_0$  – частка меншого компонента в ідеальній (розрахунковій) суміші.

Ступінь однорідності буде [19]:

$$\theta = 100 \frac{\sum (B_t - B_0)^2}{(n-1) B_t}, \quad (1.6)$$

Ступінь неоднорідності буде

$$v = 1 - \theta = 1 - \frac{100 \sum (B_t - B_0)^2}{(n-1) B_t}, \quad (1.7)$$

Про ступінь однорідності [28] можна судити також по відношенню середньоквадратичних відхилень:

$$\theta_\sigma = \sigma_t | \sigma_e, \quad (1.8)$$

де  $\sigma_t$  – теоретичне середньоквадратичне відхилення;

$\sigma_e$  – емпіричне середньоквадратичне відхилення. (1.9)

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\sum_1^n (x_i - p)^2 / (n - 1)} \text{ і } \sigma_e = \pm \sqrt{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)},$$

де  $x_i$  – вміст компонента в 1- ої проби

–  $\bar{x}$  – середній арифметичний вміст того ж компонента, знайдений у досліді;

$p$  – дійсний (або заданий розрахунком) середній вміст досліджуваного компонента в суміші.

На підставі обговорених положень виникає необхідність розробки теоретичного опису технологічного процесу змішування на основі об'єктивних властивостей отриманої після змішування суміші.

## **Висновки**

Вимоги до скорочення післяопераційного складу технологічних процесів, зниження енергетичних витрат на його виконання та підвищення якості готової продукції зумовили створення різноманітних способів обробки зерна при виробництві кормових сумішей. На їх основі можна вирішувати конкретні завдання при розробці компактних технологічних процесів виробництва кормових сумішей на агрегатному обладнанні.

Значні витрати матеріальних і енергетичних ресурсів, втрати сировини і готової продукції, а також висока інертність системи централізованої переробки зерна вимагають певної децентралізації виробництва кормових сумішей, яка базується на створенні технологічного забезпечення та технічне оснащення малих переробних підприємств і фермерських цехів. Вирішення проблеми технічного забезпечення автономного виробництва кормових сумішей безпосередньо в регіонах видобутку сировини потребує створення нових фондів.

Необхідність підвищення рівня використання зерна в продуктах харчування, економії енергетичних ресурсів, підвищення якості, розширення

асортименту та швидкого задоволення споживчого попиту на обсяги виробництва кормових сумішей підтверджує актуальність проблеми технічного забезпечення малих підприємств з переробки зерна і с.-г. та виводить її на рівень пріоритетів науки та АПК України.

Теоретичні основи процесу змішування ще недостатньо розроблені, тому для опису особливостей руху частинок матеріалу при формуванні кормової суміші необхідно включати нові прикладні розділи технічної механіки. суміш.

З метою зменшення енерговитрат і підвищення ефективності змішування сипучі інгредієнти кормової суміші необхідно подавати в змішувач «тонкими шарами», тому найефективніше планувати спільну роботу дозаторів і змішувачів.

Серед багатьох шляхів удосконалення обладнання для змішування сипучих інгредієнтів кормових сумішей слід розглянути можливість розробки конструктивних рішень швидкохідних шнекових змішувачів, що працюють в системі з дозаторами.

На основі огляду існуючих технологій виробництва кормових сумішей встановлено, що метод тонкошарового динамічного змішування сипучих компонентів кормової суміші є перспективним для дослідження з точки зору якості, енерго- та ресурсозбереження, і універсальність. використання, оскільки його введення в технологічну схему дає змогу зменшити кількість технологічних операцій, а отже, і обладнання, що використовується.

Метою роботи є підвищення ефективності змішування сипучих компонентів кормової суміші шляхом удосконалення конструкції швидкохідного шнекового змішувача з тонкошаровим динамічним змішуванням компонентів.



## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ТОНКОШАРОВОГО ДИНАМІЧНОГО ЗМІШУВАННЯ КОМБІКОРМІВ

Моделювання (математичне, фізичне, геометричне) знайшло широке застосування в різних галузях науки і техніки [16, 26]. Моделі використовуються: для розкриття механізму явища; встановити технологічні способи; для визначення параметрів машин і обладнання; визначити характеристики систем керування. Застосування цього методу призводить до зниження трудомісткості дослідів, зниження матеріальних витрат і умов проведення досліджень. Проте багато дослідників обмежуються або геометричним моделюванням, або динамічним моделюванням без використання елементів математичного моделювання, що призводить до певних помилок.

Застосування теорії подібності та математичного моделювання суттєво знижує затрати праці та коштів при створенні сучасних кормозмішувачів [26]. Єдина проблема полягає в тому, як правильно і достовірно перенести результати математичного моделювання на експериментальні зразки. Як зазначено в роботах [23, 24, 25], для позитивного вирішення поставленої проблеми необхідно використовувати вірогідні методи визначення конструктивних параметрів машин, що розробляються.

У багатьох роботах неодноразово підкреслювалося, що процес змішування сипучих компонентів кормової суміші має складну ймовірнісну природу, яка не піддається суворо детермінованому опису [26, 27]. Тому чинники та параметри, що визначають якісну сторону процесу, ми визначили самостійно в результаті власних досліджень та за апріорними даними [8, 16].

Представимо процес змішування сипких компонентів у вигляді параметричної моделі роботи системи «кормова суміш – змішувач», яка має вхідні та вихідні параметри (рисунок 2.1) [22].

За вихідний параметр візьмемо нерівномірність змішування ВС, як основний критерій оцінки процесу змішування різних компонентів [16, 26].

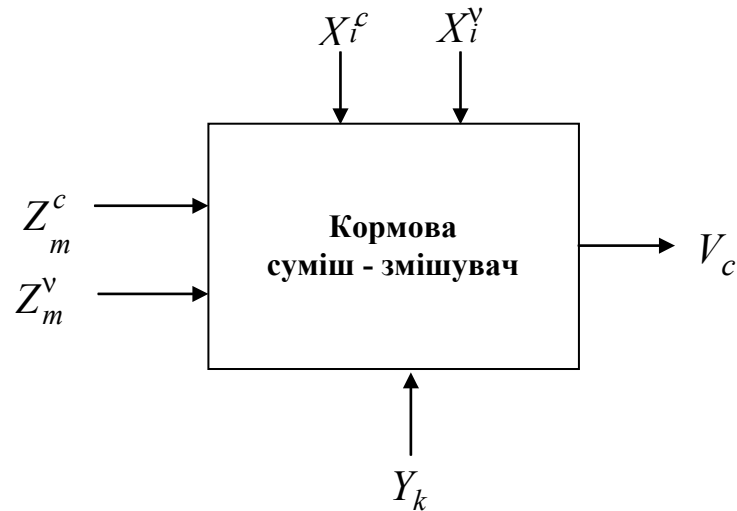


Рисунок 2.1 – Параметрична модель функціонування системи “кормова суміш – змішувач”

Оскільки процес змішування сипких матеріалів носить складний характер вірогідності, то його можна описати з достатньою достовірністю у вигляді наступного функціонального співвідношення (2.1)

$$V_c = f(\{X_i^c\}; \{X_i^v\}; \{Y_k\}; \{Z_m^c\}; \{Z_m^v\}) \quad (2.1)$$

де  $X_i^c$ ,  $X_i^v$  – відповідно постійний і змінний параметри конструкції  $i$ -го

елемента змішувача;

$Y_k$  –  $k$ -й режим роботи змішувача;

$Z_m^c$ ,  $Z_m^v$  – відповідно постійна і змінна  $m$ -на характеристика оброблюваної суміші.

Згідно рис. 2.1 і співвідношення (2.1) всі входні параметри технологічної моделі функціонування системи “кормова суміш – змішувач” розділимо на три групи.

Перша група характеризує конструктивні параметри змішувача  $X_i$ . Це діаметр шнека  $D$ , величина кроку гвинта  $S$ , довжина шнека  $L$ , ширина завантажувального вікна бункера-дозатора  $B$ , кут нахилу бічної стінки бункера-дозатора  $\beta$ , зазор між гвинтом і корпусом  $\Delta$ .

До другої групи відносяться параметри, які характеризують властивості оброблюваної суміші  $Z_m$ . Сюди відносяться: середній розмір частинок суміші

$\delta$  , маса суміші  $m$ , її вологість  $W$ , кут природного укусу  $\varphi$  , густина  $\rho$  , коефіцієнти внутрішнього  $f_i$  і зовнішнього  $f$  тертя, прискорення вільного падіння  $g$ .

Третю групу вхідних параметрів характеризує режим роботи змішувача  $Y_k$ . Це частота обертання шнека  $n$ , окружна швидкість гвинта  $v_{ок}$  , швидкість суміші  $v_{см}$  сипучого матеріалу в зоні завантажувального вікна і коефіцієнт динамічності змішувача  $K_d$ .

Для подальшого моделювання системи необхідно врахувати ряд вимог, яким повинна відповідати модель змішувача. Перш за все, це те, що процеси, що відбуваються в моделі, подібні до процесів, що відбуваються в природному зразку.

Тому ми приймаємо такі умови фізичного моделювання:

- критерії подібності, що визначають процедуру змішування масових компонентів для моделі та оригіналу, чисельно однакові;
- модель і оригінал геометрично схожі;
- початкові умови, що характеризують подачу компонентів суміші в модель, подібні до відповідних умов натурного зразка;
- фізичні властивості компонентів суміші моделі та оригіналу однакові;
- граничні умови моделі аналогічні граничним умовам природного зразка. Таким чином, отримати теоретичну модель технологічного процесу необхідне тонкошарове динамічне перемішування сипучих компонентів кормової суміші:
  - провести моделювання системи «кормосуміш - змішувач».
  - обґрунтувати технологічні та конструктивні параметри сумісної роботи бункера-дозатора та швидкісного шнекового змішувача;
  - обґрунтувати технологічні параметри процесу подачі сипучих компонентів тонкими шарами в зону змішування;
  - зменшити пульсації подачі дозованої суміші через клапан бункера-дозатора, необхідно конструктивно обґрунтувати взаємне розташування і форму завантажувального вікна і корпусу змішувального шнека.

## 2.1. Моделювання технологічної системи “кормова суміш – змішувач”

Критерії подібності для цього процесу можна визначити за допомогою двох методів: на основі аналізу рівнянь, що описують процес змішування сипучих матеріалів, і за допомогою розмірного методу. Весь процес змішування сипучих компонентів у шнековому змішувачі неможливо аналітично описати [8, 16]. Опишемо цей процес за допомогою критеріїв подібності, які можна визначити двома методами: на основі аналізу рівнянь, що описують процес змішування сипучих компонентів, і розмірним методом.

На основі запропонованої параметричної моделі роботи системи «кормова суміш – змішувач» та прийнятих умов фізичного моделювання функціональна залежність (2.1)

На підставі цього можна записати в наступному вигляді

$$V_c = f(S; D; L; B; \beta; \Delta; \delta; m; \rho; g; f; f_g; W; \varphi; n; v_{ок}; v_{см}; K_d) \quad (2.2)$$

При вивченні певної конструкції моделі і оригіналу шнекового змішувача на одній кормосуміші деякі чинники співвідношення (2.2) залишаються постійними

$$\rho_M = \rho_H; \quad (2.3) \quad \varphi_M = \varphi_H; \quad (2.6)$$

$$f_M = f_H; \quad (2.4) \quad k_M = k_H; \quad (2.7)$$

$$W_M = W_H; \quad (2.5)$$

де  $M$  – індекс моделі, а  $H$  – індекс натурального зразка (оригіналу).

Для параметрів, що залишилися, згідно  $\pi$  - теоремі [25] можна скласти не більш  $n_6$  безрозмірних комплексів, визначених із співвідношення

$$n_6 \leq m_n - p_n, \quad (2.8)$$

де  $m_n$  – число параметрів, що визначають даний процес з урахуванням умов (2.3) – (2.7);

$p_n$  – найбільше число параметрів виразу (2.2), які не можна об'єднати в безрозмірний комплекс.

Згідно [25] можна прийняти, що  $p_n \leq r_p$ , де  $r_p$  – мінімальне число незалежних розмірностей, необхідних для утворення розмірностей всіх параметрів. В нашому випадку  $r_p = 2$ . Тоді  $n_b \leq 11$ .

Переходячи до безрозмірних комплексів аналогічно [23, 24], можна перетворити співвідношення (2.2), з урахуванням того, що  $V_c$  є безрозмірною величиною, до вигляду

$$V_c = f \left( \frac{S}{D}, \frac{L}{D}, \frac{\Delta}{D}, \frac{B}{L}, \frac{f}{f_e}, \frac{n^2 D}{g}, \frac{v_{cm}}{v_{ок}}, \frac{m}{D^3 \rho} \right). \quad (2.9)$$

З теорії подібності відомо [23, 25], що необхідною і достатньою умовою подібності двох явищ (в даному випадку отримання однакової якості кормосуміші) буде постійність відповідних безрозмірних комплексів моделі і натурального зразка. Тоді на підставі виразу (2.9) можна записати

$$\left( \frac{S}{D} \right)_M = \left( \frac{S}{D} \right)_H, \quad (2.10) \quad \left( \frac{f}{f_e} \right)_M = \left( \frac{f}{f_e} \right)_H, \quad (2.14)$$

$$\left( \frac{L}{D} \right)_M = \left( \frac{L}{D} \right)_H, \quad (2.11) \quad \left( \frac{n^2 D}{g} \right)_M = \left( \frac{n^2 D}{g} \right)_H, \quad (2.15)$$

$$\left( \frac{\Delta}{D} \right)_M = \left( \frac{\Delta}{D} \right)_H, \quad (2.12) \quad \left( \frac{v_{cm}}{v_{ок}} \right)_M = \left( \frac{v_{cm}}{v_{ок}} \right)_H, \quad (2.16)$$

$$\left( \frac{B}{L} \right)_M = \left( \frac{B}{L} \right)_H, \quad (2.13) \quad \left( \frac{m}{D^3 \rho} \right)_M = \left( \frac{m}{D^3 \rho} \right)_H. \quad (2.17)$$

Умови (2.10 – 2.13) визначають геометричну подібність системи. Тут повинна дотримуватися геометрична подібність моделі і натурального зразка через масштабний коефіцієнт  $K_L$ .

$$K_L = \frac{D_H}{D_M}, \quad (2.18)$$

де  $D_H$  і  $D_M$  – геометричний параметр змішувача

Відповідно до коефіцієнта моделі гвинтового змішувача  $K_L$  розглянемо питання про ймовірну подобу системи “кормова суміш – змішувач” при наявності наступних допущень:

- кормові компоненти, що змішуються, представляються у виді дискретного матеріалу, з однаковим розміром часток середнього діаметра  $d_{cp}$ ;
- фізичні властивості кормосумішей дозволяють достатньо забезпечити необхідну рівномірність їх змішування в достатній кількості;
- у малому обсязі кормової маси є кількість часток, середній розмір яких відповідає зоотехнічним вимогам, нестандартних часток (розмір частинок не відповідає зоотехнічним вимогам), пустот та інших елементів та їх поєднання. позначаються як випадкові події;
- враховуючи, що основний об'єм моделі повинен мати всі властивості кормової маси, то він повинен бути достатньо великим, щоб наявність у ньому характерних, визначальних елементів (рівномірність розподілу часток в об'ємі) відповідала умові, яка застосовувалася до великої кількості природних проб;
- модель кормової маси складається з тих самих кормових фракцій, що й кормова маса натуральної проби.

При проектуванні змішувачів основним важливим параметром є рівномірність змішування компонентів. Тому для визначення конструктивних параметрів шнекового змішувача будемо виходити з показника рівномірності перемішування кормової суміші.

Визначити рівномірність змішування комбікорму можна використовуючи інтеграл Лапласа [96]

$$P_{im}(a < y < b) = \frac{1}{2\pi} \int_a^b e^{-0,5t^2} dt. \quad (2.19)$$

У виразі (2.19)  $y$  є нормованою випадковою величиною, зв'язаною з  $x$  (числом настання випадкової події в  $n$  незалежних вимірах) наступним співвідношенням

$$y = \frac{x - m_x}{\sigma}, \quad (2.20)$$

де  $m_x$  – математичне очікування випадкової величини  $x$  ;

$\sigma$  – середнє квадратичне відхилення величини  $x$  .

Якщо поява випадкової величини  $x$  в розглянутому процесі рівноймовірна, тобто підкоряється нормальному закономі розподілу, то математичне чекання  $m_x$  можна визначити за формулою

$$m_x = n_3 \cdot p_{im}, \quad (2.21)$$

де  $n_3$  – загальне число вимірів;

$p_{im}$  – імовірність появи події  $x$  .

Середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  можна визначити за виразом

$$\sigma = \sqrt{n_3 p_{im} q}, \quad (2.22)$$

де  $q = 1 - p_{im}$  – імовірність протилежної події  $x$  .

Тоді вираз (2.19) представимо у вигляді

$$p_{im} \left( a < \frac{x - n_3 p_{im}}{\sqrt{n_3 p_{im} q}} < b \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-0,5 t^2} dt. \quad (2.23)$$

Аналіз літературних джерел [16, 26, 27] показує, що в об'ємі комбікорму, що містить  $n_3$  одиниць компонентів, які складають стандартну групу часток корму, що відповідають зоотехнічним вимогам, максимальна  $c_2$  і мінімальна  $c_1$  рівномірність їхнього розподілу по об'єму відповідно буде

$$(a = n_3 c_1) < n_3 p_{im} < (b = n_3 c_2). \quad (2.24)$$

Так, як  $a = n_3 c_1$ ;  $b = n_3 c_2$ , то імовірність попадання рівномірності змішування корму для нормальної розподіленої випадкової величини

$$y = \frac{x - n_3 p_{im}}{\sqrt{n_3 p_{im} q}}, \quad (2.25)$$

з параметрами  $m_x$  і  $\sigma$  визначиться співвідношенням

$$p_{im} = \frac{1}{2\pi} \int_{y_1}^{y_2} e^{-0,5y^2} dy, \quad (2.26)$$

де

$$y_1 = \frac{a - \sqrt{a^2 - \frac{n_3 c_1}{\pi i m}}}{\sqrt{3}} = \frac{(\chi_1 - \sqrt{\chi_1^2 - \frac{n_3 c_1}{\pi i m}})}{\sqrt{3}};$$

$$y_2 = \frac{\frac{\pi i m}{\sqrt{3}}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{\pi i m \theta}{\sqrt{3}}}{\sqrt{3}} = \frac{\pi i m \theta}{3}.$$

Співвідношення (2.26) виражається через інтеграли Лапласа в такий спосіб

або 
$$p_{im} = \Phi\left(\frac{\pi i m \theta}{\sqrt{3}}\right) - \Phi\left(\frac{\pi i m \theta}{\sqrt{3}} - \frac{(\chi_1 - \sqrt{\chi_1^2 - \frac{n_3 c_1}{\pi i m}})}{\sqrt{3}}\right) \quad (2.27)$$

$$p_{im} = \Phi\left(\frac{(\chi_2 - \frac{n_3}{p_{im} q})}{\frac{p_{im} q}{\sqrt{3}}}\right) - \Phi\left(\frac{(\chi_1 - \frac{n_3}{p_{im} q})}{\frac{p_{im} q}{\sqrt{3}}}\right). \quad (2.28)$$

Потім по аргументу  $\Phi$  функції Лапласа, задаючи значення  $n_3$ , за виразом (2.28) визначають шукану імовірність та мінімально-допустимий масштабний коефіцієнт  $K_L$  геометричного параметру, наприклад як функція діаметру гвинтового змішувача  $D_H$ , та середнього діаметру часток суміші  $d_{cp}$

$$K_L \leq \int (n_3, D_H, d_{cp}). \quad (2.29)$$

Знаючи мінімально-допустимий масштабний коефіцієнт і діаметр гвинта натурального зразка змішувача, можна визначити, використовуючи геометричну подобу, інші критерії подібності технологічної системи “кормова суміш – змішувач”.

Аналіз зоотехнічних нормативів крупності часток корму [27] для різних вікових та статевих груп свиней і великої рогатої худоби показав, що для годівництва практично всіх оглянутих категорій тварин використовуються частки розміром від 0,7 до 2 мм, при наявності до 30...35% часток розміром від 3 до 5 мм (рис. 2.2). Отже обираємо середній діаметр часток  $d_{cp} = 0,002$  м; даний розмір можна визначити, як раціональний по зоотехнічних нормативах.



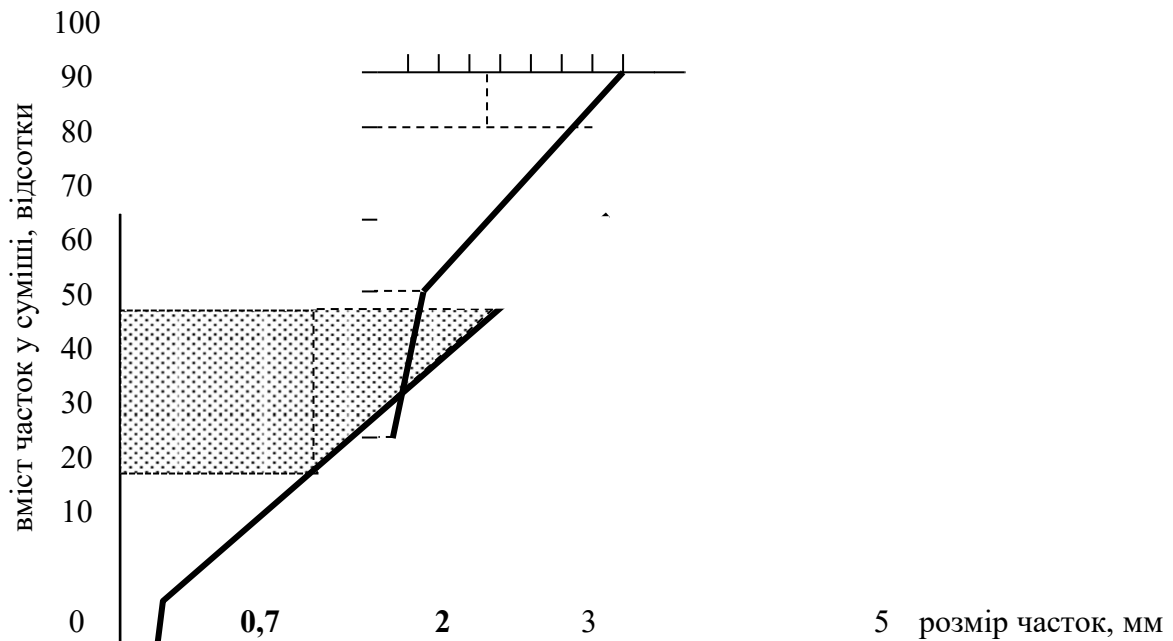


Рис. 2.2. Рациональні зоотехнічні розміри часток зернового матеріалу після подрібнення, що подаються на змішування.

З літературних джерел [24, 26] відомо, що за зоотехнічними вимогами рівномірності змішування компонентів комбікорму повинна знаходитися в межах 84...96% при середньому діаметрі часток  $d_{cp} =$  м. Звідси при

$$c_1 = 0,84$$

$c_2 = 0,96$ ;  $p_{im} = 0,9$ ;  $q = 0,1$  імовірність шуканого стану буде

$$p_{im} = 2\Phi\left(0,2 \sqrt{n_3}\right). \quad (2.30)$$

Для визначення масштабного коефіцієнта геометричної подоби моделі змішувача необхідно спочатку, задаючи значення  $n_3$ , за виразом (2.30)

Визначення імовірності шуканого  
становища корму, що  
перемішується

$n_3$	$n_3$	$0,2$ $n_3$	$\Phi$	$P_{im}$
100	10,0	2,00	0,477	0,954
150	12,2	2,45	0,493	0,986
200	14,1	2,82	0,497	0,994
250	15,8	3,16	0,499	0,998

З таблиці видно, що при  $n_3 = 250$  імовірність близька до вірогідності 0,009. Це значить, що у 99,8% випадків у заданому об'ємі корму рівномірність змішування компонентів, що складаються з 250 окремих складових часток  $d_{cp}=2,0$  мм буде менш 84%.

Раніше встановлено [20], що істотними конструктивними факторами, що впливають на рівномірність змішування компонентів комбікормів гвинтовим змішувачем, є діаметр, крок і довжина гвинта.

Щоб перейти від ймовірного розподілу часток корму по об'єму моделі камери змішування зіставимо граничний об'єм часток корму з об'ємом моделі камери змішування. При цьому допустимо, що всі частки компонентів кормів, що змішуються, представляють кульки з діаметром  $d_{cp}$ .

На підставі вищевикладеного величина граничного об'єму ( $dV$ ) складається з  $n_3$  часток корму з діаметром  $d_{cp}$  і рівномірністю розподілу не менше 84%

$$dV = dV_i n_3, \quad (2.31)$$

де  $dV_i$  – елементарний об'єм частки корму.

$$dV_i = \frac{\pi d^3}{6},$$

тоді

$$dV = \frac{\pi d_{cp}^3}{6} n \quad (2.32)$$

Враховуючи те, що імовірне значення  $n_z$  повинне бути не менш 250, то

$$dV \geq 250 \frac{\pi d_{cp}^3}{6} \quad (2.33)$$

Об'єм моделі камери змішування гвинтового змішувача

$$dV = \frac{\pi}{4} K_z K_c D^3, \quad (2.34)$$

де  $K_z$  – коефіцієнт заповнення камери змішувача;

$$K_c = \frac{L_M}{D_M} \text{ – коефіцієнт співвідношення}$$

Зіставляючи (2.34) і (2.33) маємо

$$D_M \geq \sqrt[3]{\frac{170}{K_z K_c} \cdot d_{cp}} \quad (2.35)$$

Мінімально-допустимий масштабний коефіцієнт діаметра гвинтового змішувача визначимо з виразу:

$$K_L \leq \sqrt[3]{\frac{D_H}{K_z K_c} \cdot \frac{170}{d_{cp}}} \quad (2.36)$$

Тоді вираз (2.9) при виконанні геометричної подібності і умови (2.36) можна записати у вигляді

$$V_c = f\left(\frac{v_{cm}}{v_{ок}}; \frac{n^2 D}{g}; \frac{m}{D^3 \rho}\right) \quad (2.37)$$

У зв'язку з тим, що при розрахунку моделі звичайно використовують лінійний масштабний коефіцієнт  $K_L$ , то масштабні коефіцієнти інших параметрів і характеристик процесу змішування виразимо у вигляді його функцій.

Неважно помітити, що

$$m_H = m_M \cdot K_L^3 = m_M \cdot K_m \text{ або } K_m = K_L^3. \quad (2.41)$$

За рівних умов подачі змішуваних компонентів в модель і натурний зразок, однакових фізико-математичних властивостях компонентів

$$\varphi_M \cdot \varphi_H^{-1} = I; \rho_M \cdot \rho_H^{-1} = I; \delta_M \cdot \delta_H^{-1} = I; f_{zM} \cdot f_{zH}^{-1} = I; f_{bM} \cdot f_{bH}^{-1} = I. \quad (2.42)$$

Аналогічно [93] масштабний коефіцієнт продуктивності

$$Q_H = Q_M \cdot K_L^{2,5} = Q_M \cdot K_Q \text{ або } K_Q = K_L^{2,5}. \quad (2.43)$$

Масштабний коефіцієнт потужності

$$N_H = N_M \cdot K_L^{3,5} = N_M \cdot K_N \text{ або } K_N = K_L^{3,5}. \quad (2.44)$$

Отримані масштабні коефіцієнти подібності системи “кормова суміш – змішувач” дозволяють використовувати елементи математичного моделювання для спрощеного проведення досліджень і з достатньою точністю визначити конструктивні і кінематичні параметри змішувача.

Даний процес проведення досліджень по моделюванню системи “кормова суміш – змішувач” і перенесення отриманих результатів з фізичної моделі на натурний зразок можна представити у вигляді алгоритму (рис. 2.3).

Згідно даному алгоритму проводяться п'ять етапів операцій:

1. Проводиться дослідження на зменшеній фізичній моделі з використанням вхідних конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів.

2. Проводиться техніко-економічне обґрунтування конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів стосовно широкого діапазону вживаних аналогічних змішувачів.

3. На основі проведеного техніко-економічного обґрунтування і зіставлення даних з фізичною моделлю визначають основний геометричний параметр змішувача, що розробляється  $D_H$ , – діаметр шнека.

4. Використовуючи залежність (2.38) визначають основні геометричні параметри змішувача через масштабний коефіцієнт  $K_L$ .

5. Визначають кінематичні і технологічні параметри змішувача згідно виразів (2.40); (2.41); (2.43) і (2.44) з використанням того ж масштабного коефіцієнта  $K_L$ .

В результаті одержуємо всі основні параметри натурального зразка змішувача. Проте повністю врахувати співвідношення таких параметрів як розмір частинок компонентів суміші  $\delta$  і зазор між шнеком і корпусом  $\Delta$  шляхом фізичного моделювання неможливо, оскільки це зажадало б зміну розміру частинок змішуваних компонентів, щоб дотримувалася умова моделювання

$$\left(\frac{\delta}{\Delta}\right)_M = \left(\frac{\delta}{\Delta}\right)_H. \quad (2.45)$$

Цю задачу можна розв'язати тільки за наявності математичної моделі функції вигляду

$$V_c = F\left(\frac{\delta}{\Delta}\right). \quad (2.46)$$

Дану математичну модель функції (2.46) можна з достатньою точністю розв'язати за допомогою методу екстраполяції і теоретичного обґрунтування конструктивних параметрів змішувача [25]. Тому наявність блоку математичного моделювання в блок-схемі (рис. 2.3) є складовою частиною моделювання технологічної системи “кормова суміш – змішувач”.

Головна задача змішувача – згладити пульсацію і рівномірно перемішати компоненти з мінімальними енерговитратами. Цього можна досягти застосуванням відбивачів надгвинтовим змішувачем [23] і створенням вільного простору між кришкою-відбивачем і робочим органом змішувача [24]. Це забезпечує створення хаотичного руху часток корму при підкиданні його гвинтовою поверхнею, удару і відбиття від поверхні кришки-відбивача. Кінетична енергія відбитих часток змішувальних компонентів віддається гвинту, зменшуючи тим самим потужність приводу змішувача. Крім цього, збільшується шлях підкинутих часток кормової суміші у вільному просторі між робочим органом змішувача і кришкою-відбивачем, що сприяє умовам для якісного змішування компонентів.

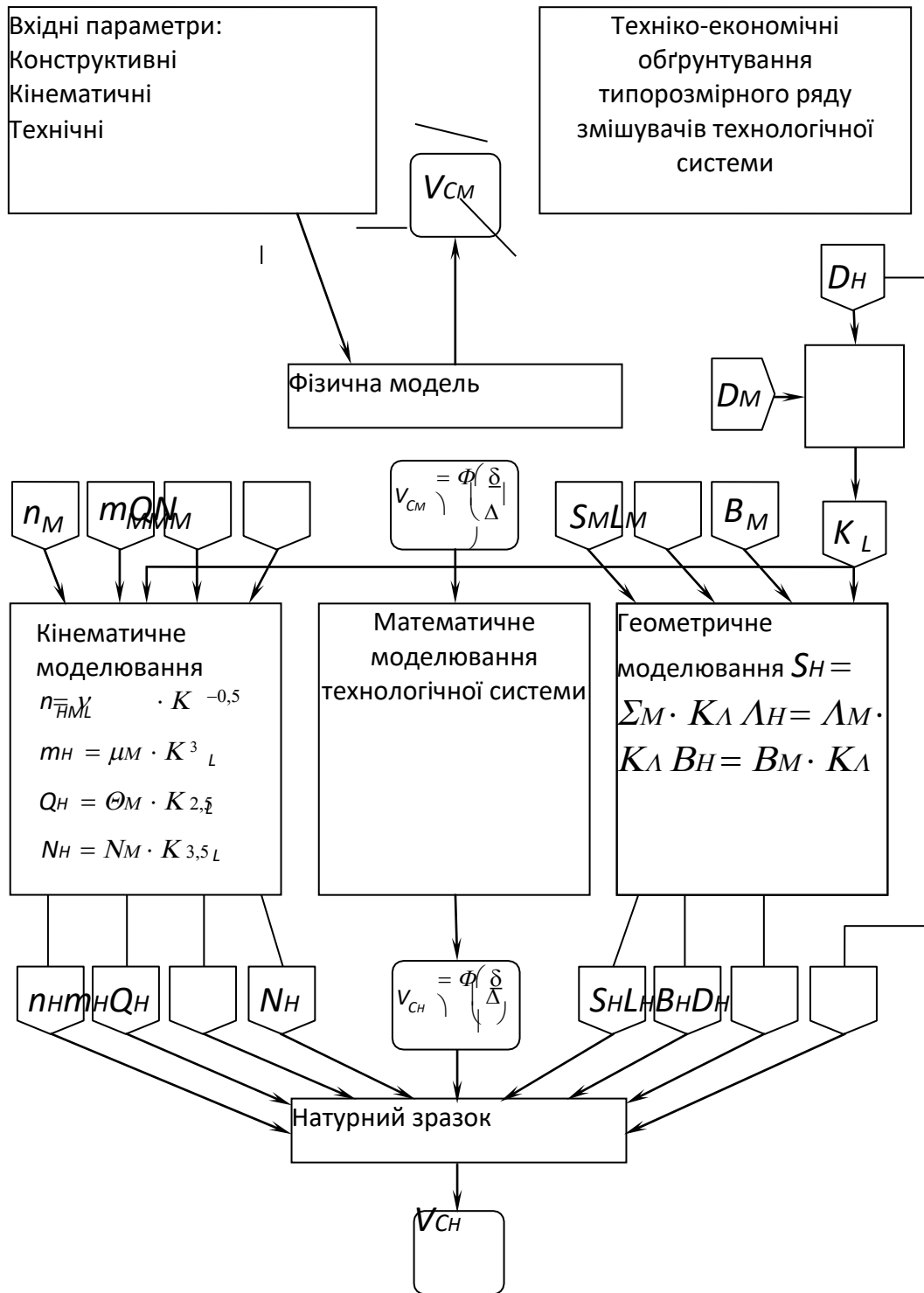


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму комбінованого моделювання технологічної системи “кормова суміш – змішувач”.

## 2.2. Обґрунтування сумісних параметрів дозатора й швидкохідного гвинтового змішувача

Сучасні потоково-технологічні лінії виробництва комбікормових сумішей вимагають використання високопродуктивних змішувачів і

комбікормових машин з максимальною автоматизацією процесу [8]. Найбільш раціональним способом підвищення продуктивності шнекового змішувача, що дозволяє створити конструкцію невеликих розмірів, є збільшення оборотів змішувального шнека. Особливістю швидкохідних шнекових змішувачів є стабільність їх роботи в будь-якому положенні та незалежно від рівня наповнення [10].

Відомо [4, 23], що основними конструктивними параметрами шнекового змішувача є діаметр шнека, крок і оберти. Характер перемішування кормової суміші також залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу (в основному від коефіцієнта тертя) і так званого коефіцієнта швидкості, який вказує на відставання осьової швидкості руху корму від суміші від осьової швидкості шнека [4, 24].

Для визначення основних конструктивних параметрів швидкісного шнекового змішувача зробимо кілька припущень за умови, що живильна суміш розкидається по поверхні шнека.

Щоб полегшити задачу будемо вважати, що рух кормової суміші встановлюється з рівномірним числом обертів гвинта  $n$ , (об/хв.), налипання матеріалу до поверхні гвинта не враховуємо, а беремо до уваги тільки силу тертя  $F_{mp}$  частинок об поверхню гвинта.

$$F_{mp} = (N_1 + N_2) f \left( m g \sin \alpha + \frac{m v^2}{R} \right) f, \quad (2.48)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя часток корму об гвинтову поверхню;

$v$  – швидкість руху часток корму, м/с;

$R$  – радіус гвинта, м.

Швидкість руху часток корму визначимо як

$$v = K_v \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}, \quad (2.49)$$

де  $D$  – діаметр гвинта, м;

$n$  – число обертів гвинта, об/хв;

$K_v$  – коефіцієнт осьової швидкості, показує на скільки швидкість руху

часток корма відстає від осьової швидкості гвинта, тому що матеріал рухається не тільки уздовж осі гвинта, але й обертається навколо неї.

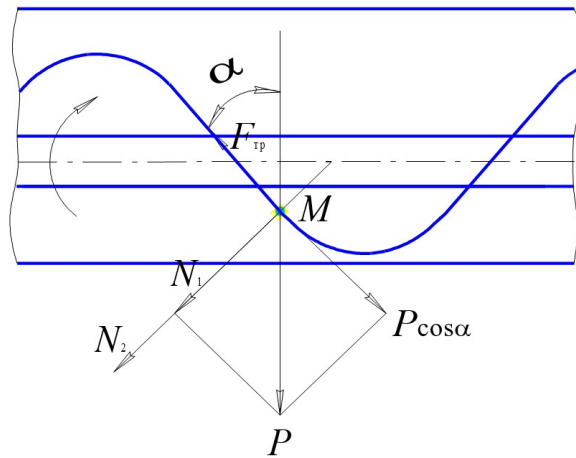


Рисунок 2.4 – Схема сил, що діють на матеріал корму, який знаходиться на гвинтовій поверхні змішувача.

$$n = \frac{60}{\pi} \sqrt{\frac{g(\pi - kf)}{2f \cdot K_v \cdot D \sqrt{k^2 + \pi^2}}}, \quad (2.50)$$

Приймаючи до уваги, що швидкість руху часток корму в змішувачі може досягти максимуму при  $v_{max} S \cdot n/60$

$$K_v = \frac{\pi(\pi - kf)}{k^2 + \pi^2} \quad (2.51)$$

Підставивши значення  $K$  з (2.51) у (2.50), після перетворень

$$n = \frac{60}{\pi} \sqrt{\frac{g \sqrt{k^2 + \pi^2}}{2\pi \cdot f \cdot D}}. \quad (2.52)$$

Використовуючи формулу (2.52) побудували графіки (рис.2.5), які визначають залежність між числом обертів гвинта змішувача  $n$ , його діаметром  $D$ , коефіцієнтом  $k$  і коефіцієнтом тертя  $f$ .



З графіків (рис.2.5) видно, що чим вище точка в зоні II, тим активніше буде відбуватися перемішування кормових часток у змішувачі.

Вихідними даними для технологічного розрахунку гвинтового змішувача є продуктивність потоково-технологічної лінії змішування сипучих матеріалів,  $Q$ , кг/год, щільність сипучого матеріалу  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, довжина  $L$ , м і діаметр кожуха надгвинтового простору  $D_k$ , м змішувача (виходячи з компоновки потоково-технологічної лінії).

Як відомо потоковий є найбільш економічний режим роботи, при якому досягається максимальне використання обладнання потоково-технологічних ліній, якщо забезпечується умова: продуктивність наступного обладнання повинна бути більшою за попереднє.

Для нашого випадку

$$Q_0 \leq Q_3, \quad (2.53)$$

де  $Q_0, Q_3$  – відповідно продуктивність дозатора та змішувача.

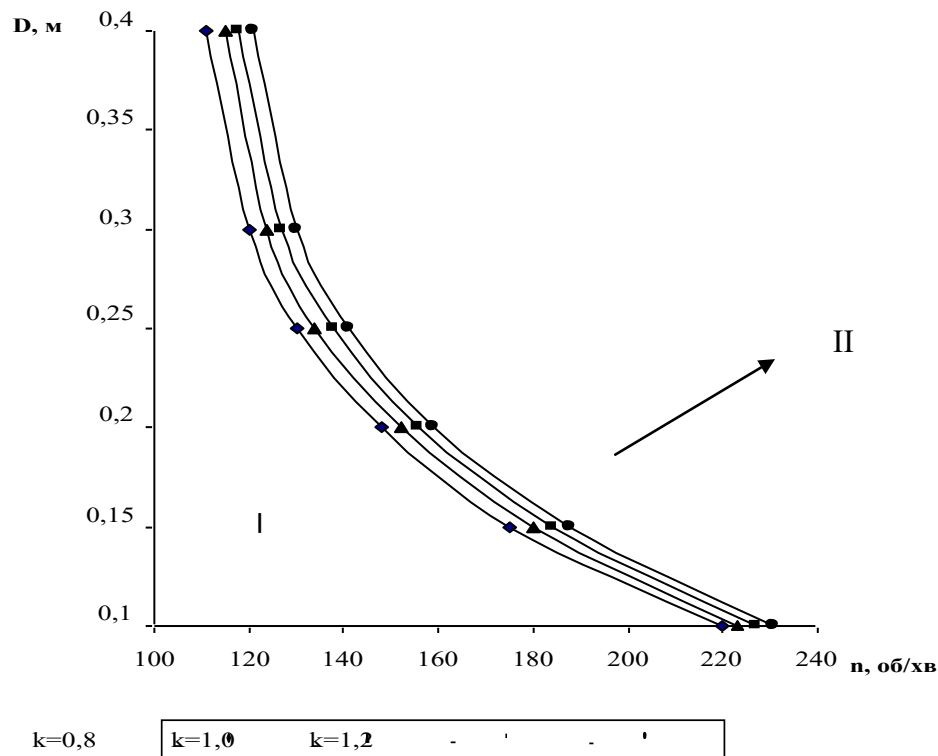


Рисунок 2.5 – Залежності діаметру гвинтового змішувача від його обертів та коефіцієнту  $k$  при  $f = 0,38$ : I – зона транспортування і спокійного

змішування матеріалу;  $\Pi$  – зона активного змішування з перекиданням матеріалу через вал гвинтового змішувача.

У загальному вигляді продуктивність  $Q$ , кг/с дозатора безперервної дії

$$Q = F_{\Pi} \cdot v_{\Pi} \cdot \rho, \quad (2.54)$$

де  $F_{\Pi}$  – площа перетину прохідного отвору потоку матеріалу, м<sup>2</sup>;

$v_{\Pi}$  – середня швидкість потоку, м/с;

$\rho$  – щільність потоку матеріалу, кг/м<sup>3</sup>.

Якщо формулу (2.54) виразити через параметри дозатора, то вона прийме вид

$$Q = F \cdot v_o \cdot \rho \cdot K_v, \quad (2.55)$$

де  $F$  – площа перетину прохідного отвору, м<sup>2</sup>;

$v_o$  – осьова швидкість гвинта, м/с;

$K_v$  – коефіцієнт осьової швидкості.

$$K_v = \frac{v_{\Pi}}{v_o} = \frac{v_{\Pi}}{S \cdot n}. \quad (2.56)$$

З іншого боку продуктивність гвинтового змішувача визначається як

$$Q = \frac{60\pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot K_z, \quad (2.57)$$

де  $d$  – діаметр вала гвинта, м;

$K_z$  – коефіцієнт заповнення змішувача.

Для вибору діаметру вала гвинта враховуємо  $d/D = 0,25 \dots 0,30$  [85].

Прийнявши діаметр  $D$  гвинта,  $d$  вала гвинта, визначаємо критичне значення обертів гвинта з формули (2.52).

Розглянемо застосування формули (2.57) до процесу змішування гвинтовим змішувачем і те, як вона відображає фізичну суть процесу.

$$F_{II} = \left( \frac{\pi}{4} (D_k^2 - d^2) - \frac{b(D-d)}{\sin \alpha} \right) K_3, \quad (2.58)$$

У формулі (2.58) необхідно врахувати вплив шторки на заповнення зони змішування сипучим матеріалом, що дозується, бо не вся поперечна площа може займатися потоком матеріалу. Тому додатково у формулу продуктивності гвинтового змішувача введено коефіцієнт шторки, значення якого знаходиться в межах (0,6...0,68).

Знайдемо швидкість потоку матеріалу

$$v_{II} = S \cdot n \cdot K_v. \quad (2.59)$$

Завдяки тому, що після виходу з бункера-дозатора матеріал з густиною  $\rho_b$ , переміщуючись гвинтовою поверхнею змішувача, змінює щільність.

$$K_\rho = \frac{\rho_b}{\rho_\Gamma}. \quad (2.60)$$

Як відомо, у швидкооберткових гвинтових змішувачах частки сипучих компонентів рухаються вдовж поверхні кожуху, але їх швидкість відстає від швидкості матеріальної точки. Тому введемо коефіцієнт радіальної швидкості  $K_R$ , який показує на скільки відстає швидкість руху суміші при русі по кривій з радіусом кривизни  $R_n$  від швидкості матеріальної точки, яка рухається по кривій з радіусом кривизни  $R_k$ .

$$K_R = \frac{R_k}{R_n}. \quad (2.61)$$

Підставивши знайденні значення коефіцієнтів із формул отримаємо формулу для визначення продуктивності гвинтового змішувача в розгорнутому виді

$$Q = \left( \frac{\pi}{4} (D_k^2 - d^2) - \frac{b(D-d)}{\sin \alpha} \right) \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot K_v \cdot K_3 \cdot K_m \cdot K_\rho \cdot K_R. \quad (2.62)$$

З формули (2.63) бачимо, що величина продуктивності гвинтового

змішувача, особливо швидкохідного, залежить від коефіцієнтів швидкості, заповнення та ущільнення. Тобто ці коефіцієнти враховують динамічність змішувача. Першим кроком збільшення продуктивності змішувача можливо з збільшенням цих коефіцієнтів, а саме – збільшення зони контакту поверхонь шарів компонентів, що змішуються. При цьому мається на увазі корегування коефіцієнтів з точки зору динаміки подання шарів компонентів в зону змішування.

Тому введемо поняття коефіцієнту динамічності змішувача  $K_D$

$$K_D = K_v \cdot K_z \cdot K_{ш} \cdot K_p \cdot K_R. \quad (2.63)$$

Причому  $K_D$  є функція від діаметру гвинта змішувача  $K_D = f(D)$  (рис. 2.6) та змінюється від 0,015 до 0,04 при зміні діаметру гвинта від 0,16 до 0,26м.

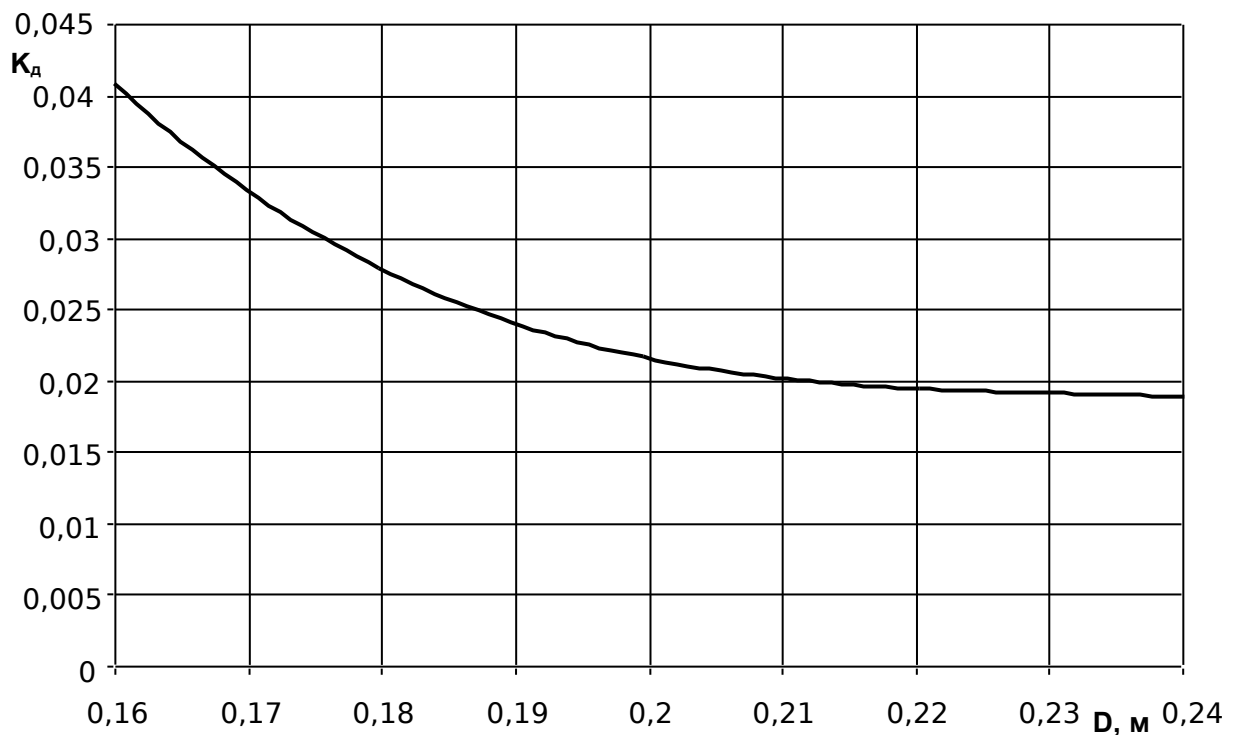


Рисунок 2.6 – Графік залежності коефіцієнту  $K_D$  від діаметру динамічності гвинта  $D$  змішувача

Аналіз формул показує, що основними факторами, які впливають на продуктивність гвинтового змішувача, є фізико-механічні властивості матеріалу, що дозується, а також конструктивні параметри і режими його

сумісної роботи з бункером-дозатором.

Сумісна робота бункера-дозатора з гвинтовим змішувачем полягає у організованій та рівномірній подачі шарів компонентів на змішування. Даний момент досягається шляхом тонкошарового внесення компонентів суміші бункером-дозатором через вікно завантаження з урахуванням продуктивності гвинтового змішувача.

Розглянемо сумісну роботу бункера-дозатора та гвинтового змішувача. Над корпусом змішувача розміщено  $n$  завантажувальних пристроїв, через які потрапляють компоненти для змішування. Припустимо, що через  $n$ -ий завантажувальний пристрій потрапляє визначений об'єм компонента  $Q_k$  у одиницю часу (рис.2.7)

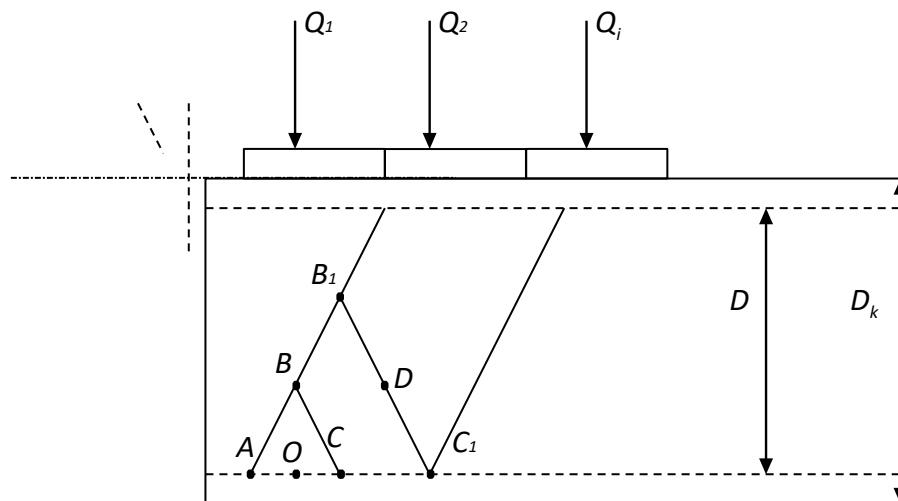


Рисунок 2.7 – Схема для визначення параметрів сумісної роботи бункера-дозатора та гвинтового змішувача

Доза компонентів, що потрапляє у зону змішування, захоплюється гвинтом, що швидко обертається, утворюючи при цьому фігури у вигляді призм (приймаємо умовно). Позначимо перетин  $i$ -ої призми з основою у вигляді трикутника  $ABC$  з висотою  $OB$ .

Таким чином, при розгляданні взаємодії дозатора та змішувача найбільше значення з урахуванням вимог (2.53) має організація подачі компонентів суміші дозатором в змішувач. З точки зору укладання окремих порцій компонентів одну відносно другої на витки гвинта змішувача, це

узгодження об'ємної подачі компонентів дозатором та лінійної швидкості суміші у змішувачі. З точки зору подачі компонентів суміші в зону змішування введено коефіцієнт динамічності змішувача (для скорочення об'ємних порожнеч між шарами компонентів та їх частинками та підвищення швидкості проходження суміші зони змішування).

### 2.3. Обґрунтування взаємодії бункера-дозатора та змішувача

Проаналізуємо спільний процес обертального руху сипучих компонентів усередині кожуха змішувача і витікання сипучих компонентів з бункера-дозатора (рис.2.8).

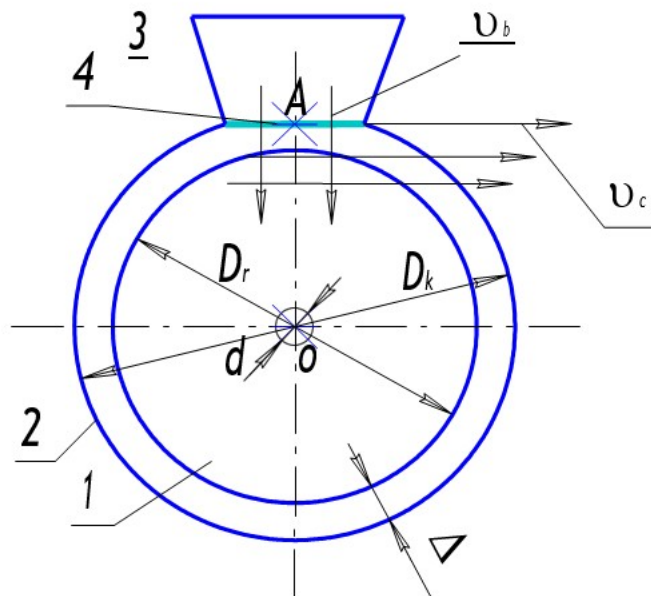


Рисунок 2.8 – Схема приймальної камери гвинтового змішувача:

1 – гвинт; 2 – кожух; 3 – бункер-дозатор; 4 – завантажувальне вікно змішувача або вивантажувальне вікно бункера-дозатора.

Відомо, що у швидкохідних гвинтових змішувачах сипучий матеріал розподіляється циліндричним шаром, що прилягає до кожуха по всьому його колу [10].

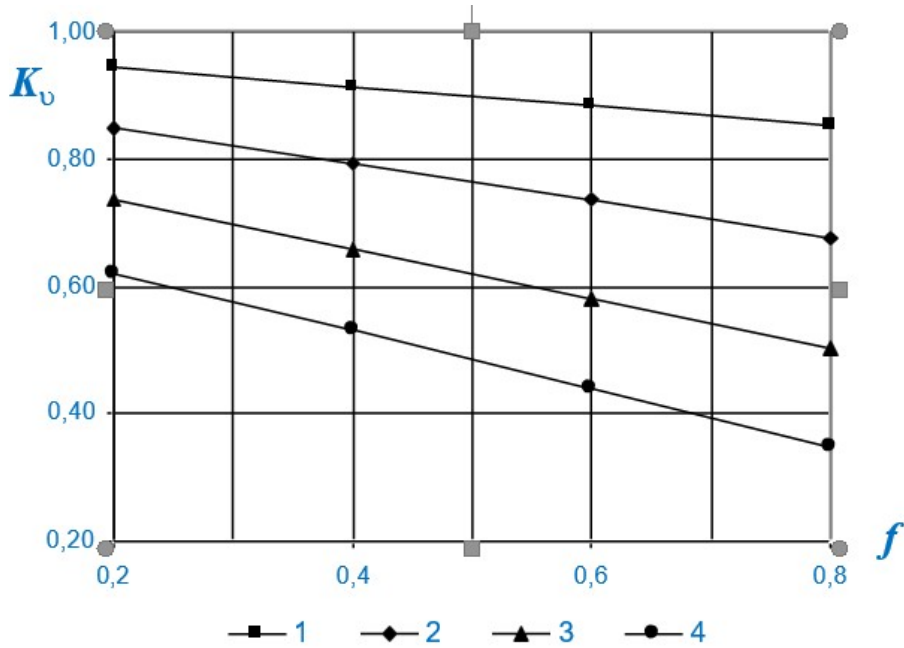


Рисунок 2.9 – Залежності коефіцієнту швидкості від коефіцієнта тертя суміші при різних  $k$ : 1 –  $k=0,5$ , 2 –  $k=1,0$ , 3 –  $k=1,5$ , 4 –  $k=2,0$

За цей же самий час  $t$  дозувальна суміш, що надходить, пройде шлях

$$L_b = K_b \cdot v_b \cdot t, \quad (2.64)$$

де  $K_b = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi}$  – коефіцієнт витікання [105];

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя суміші.

Для визначення швидкості витікання суміші з бункера-дозатора виділимо на висоті  $h$  (рис.2.10) від точки  $O$  контакту потоку витікання з потоком обертання шар суміші товщиною  $\Delta S$ .

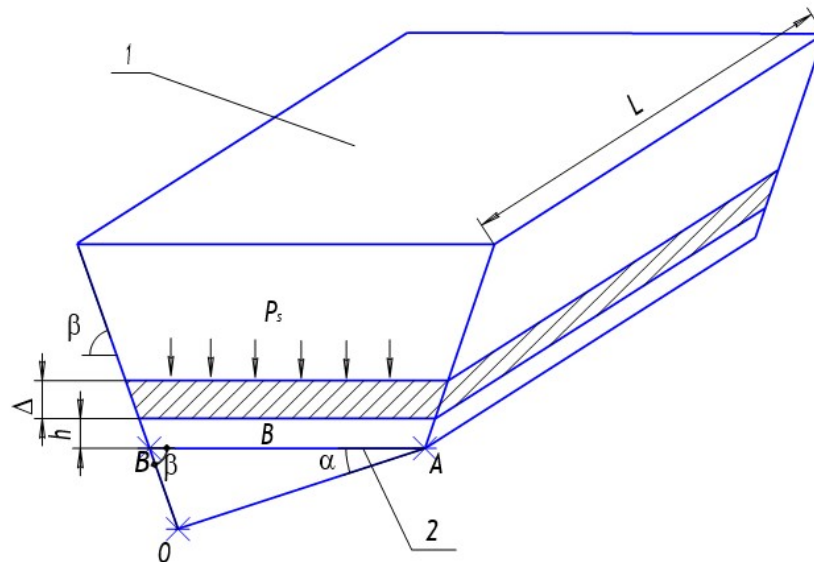


Рисунок 2.10 – Схема визначення швидкості витікання суміші з бункера-дозатора: 1 – бункер-дозатор; 2 – завантажувальне вікно змішувача або вивантажувальне вікно бункера-дозатора;  $B$ ,  $L$  – відповідно ширина і довжина завантажувального вікна.

При безперервній подачі дозувальної суміші об'єм  $V_b$  повинен цілком уміститися в об'єм  $V_c$ , що збільшився. Це приводить не тільки до ускладнення конструкції, але і до підвищення витрати енергії на змішування і транспортування суміші і до зниження рівномірності змішування.

Для зниження пульсацій подачі дозувальної суміші через вивантажувальне вікно бункера-дозатора необхідно конструктивно обґрунтувати взаємне розташування і форму завантажувального вікна і кожуха гвинта змішувача.

#### **2.4. Визначення форми робочої поверхні кожуха змішувача у зоні завантаження**

Встановлено, що змішувачі безперервної дії забезпечують ефективне використання такого прийому, як попереднє комбінування потоків живлення компонентів. Використовуючи попереднє поєднання струменів, можна значно підвищити ефективність процесу.



При цьому дозатор повинен забезпечувати рівномірну подачу компонентів тонкими шарами. Перевагою цього методу є те, що процеси змішування відбуваються в тонких шарах сипучого матеріалу з більшою поверхнею контакту. Крім того, важливо враховувати поточний дефіцит енергії. При тонкоплівковому введенні дозованих компонентів у потік швидкообертової суміші потрібно менше енергії, особливо якщо потоки мають гострий кут до напрямку швидкості потоку. Ще однією перевагою цієї конструкції шнекового змішувача при роботі в парі з дозатором є простота конструкції.

На рис. 2.11 показана схема такої конструкції спільної роботи шнекового змішувача. У даній конструкції передбачена надшнекова зона 4 швидкісного шнекового змішувача, що забезпечує створення псевдозріджених шарів сипучих компонентів та їх високу швидкість.

Для визначення форми робочої поверхні корпусу змішувача в зоні завантаження (рисунок 2.11) розглянемо рух частинок сипучої суміші при виході з поверхні шнека в точці А.

Рух часток після сходу із гвинтів поверхні шнека на ділянці **AB** буде по прямій зі швидкістю  $v_{cm}$

а

Рисунок 2.11 – Схема спільної роботи шнекового змішувача й бункерного дозатора: 1 – гвинт, 2 – кожух, 3 – бункер-дозатор, 4 – гвинтова зона.



$$P_p = \frac{V \cdot p \cdot k}{(V_n + V) + V_3 \cdot k_n}, \quad (2.66)$$

де  $V_3$  – об'єм завантажувального вікна дозатора, м<sup>3</sup>;

$p_a$  – атмосферний тиск, Па;

$k_n$  – коефіцієнт пористості сипучого матеріалу у бункері дозатора;

$V_n$  – об'єм пор сипучого матеріалу при дозуванні, м<sup>3</sup>;

$V$  – об'ємна витрата сипучого матеріалу, м<sup>3</sup>/год.

## 2.5. Модель процесу тонкошарового змішування сипучих компонентів комбікормів у гвинтовому змішувачі

Розглядаючи технологічний ланцюг змішування кормів, необхідно виділити дві ланки, які можуть забезпечити попереднє і основне змішування - за допомогою розкидачів і безпосередньо - змішувачем. Цей тип обробки корму може бути досягнутий різними типами дій, зокрема шляхом порціонування в годівницю або змішувач одного, двох, ... і цього компонента кормової суміші або шляхом порціонування компонентів корму в різні точки завантаження. машини, згадані вище.

Розглянемо модель змішування інгредієнтів комбікорму на прикладі одного з найпоширеніших шнекових дозаторів і міксерів. Для побудови моделі ми зробимо ряд припущень:

1. Склад кормової суміші являє собою однорідний матеріал, частини якого поведуться як єдине ціле по відношенню до іншого компонента.

2. Явища дифузії між компонентами проявляються при взаємному проникненні частинок без урахування їх відмінностей у фізико-механічних властивостях.

3. Компоненти комбікорму зберігаються строго пошарово і через певні проміжки часу.

На рис. 2.13 представлено зображення пошарового розміщення  $i$ -тих компонентів корму на витку гвинта. При миттєвій фотографії процесу й

допущень малості об'єму кожного компонента, форму його шару можна прийняти за паралелепіпед. Кожний паралелепіпед може бути представлений із часток у формі кубів з розміром ребра  $k$ . Об'єм паралелепіпеда, заповненого яким-небудь матеріалом на висоту  $h$  позначимо:

$$\text{- об'єм компонента 1 } V_1 = a \cdot b \cdot h \quad (2.67)$$

$$\text{- число шарів компонента 1 } z = h / k \quad (2.68)$$

$$\text{Тоді } V_1 = a \cdot b \cdot z \cdot k \quad (2.69)$$

Товщина шару два буде  $g \cdot z = l_1$ ; або  $l_1 = g \cdot z = k \cdot g \cdot h$ .

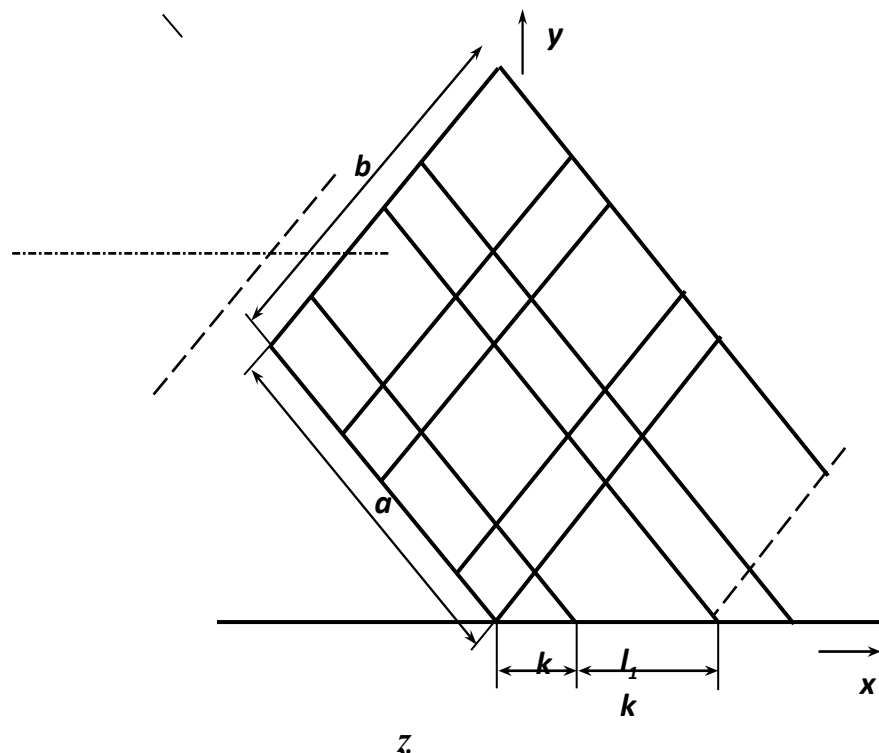
Процес переміщення шарів компонента можна проілюструвати на рис.

2.13.

$$\begin{aligned} L_1 &= (z-1) \cdot l_1 + (z-2) \cdot l_1 + (z-3) \cdot l_1 + \dots + [z - (z-1)] \cdot l_1 = \\ &= l_1 \frac{(z-1) \cdot z}{2} = \frac{k \cdot g(h/d - 1) \cdot h/k}{2 \cdot h} = \frac{g \cdot (h-k)}{2 \cdot k}. \end{aligned} \quad (2.70)$$

Таким чином, сума переміщень всіх шарів першого компонента у процесі змішування

$$L_1 = g \cdot (h - k) / (2 \cdot k). \quad (2.71)$$



↙

Рисунок 2.13 – Пошарове багатокomпонентне завантаження змішувача.

Відповідно до прийнятої термінології С.В. Євсієнков. [28] добуток об'єму на шлях і густину маси беремо за умовну роботу.

Таким чином, робота змішування та поверхні контакту компонентів використовується за рахунок появи інших точок подачі матеріалу в змішувач.

Однак при нанесенні матеріалу на поверхневий шар деталі також виникає розподілене навантаження, що виводить її з умовно-збалансованого стану.

Виходячи з гіпотези про підвищення ефективності змішування за рахунок подачі компонентів корму в різні точки завантаження змішувача, можна провести аналогію зі струминною моделлю по відношенню до шнекового змішувача.

Повна робота змішування складе:

$$A_n = ab(gh - gk + zk / 2). \quad (2.72)$$

Повна поверхня контакту:

$$S' = 4abh / k - ab - 2ah. \quad (2.73)$$

## Висновки

Отримані комплексні коефіцієнти подібності системи «кормова суміш – змішувач» дозволяють використовувати елементи математичного моделювання для спрощеного дослідження та достатньо точного визначення конструктивно-кінематичних параметрів змішувача. Модель можна представити у вигляді алгоритму (рисунок 2.3).

При розгляді взаємодії розкидача і змішувача з урахуванням вимог (2.53) найважливішим є організація подачі компонентів суміші від розкидача до змішувача. У частині подачі окремих порцій компонентів відносно один одного при обертах змішувального шнека - це узгодження об'ємної подачі компонентів дозатором і лінійної швидкості суміші в змішувачі. Коефіцієнт динаміки змішувача введено для зменшення об'ємних пустот між шарами компонентів та їх частинками та збільшення швидкості проходження суміші

через зону змішування.

Встановлено взаємозалежність подачі від бункера-дозатора та частини шнекового змішувача, яка складається з організованої та рівномірної подачі шарів компонентів для змішування. Цей момент досягається введенням компонентів суміші тонким шаром за допомогою бункера-дозатора через завантажувальне вікно змішувача в киплячий шар суміші, який утворюється в надшнековому просторі змішувача, з урахуванням його продуктивності. Розумні сумісні параметри та взаємодія бункера-дозатора та високошвидкісного шнекового змішувача, визначена форма робочої поверхні корпусу змішувача в завантажувальному просторі.

Обґрунтовано, що для більшої рівномірності змішування і збільшення коефіцієнта його заповнення необхідно в надшнековому просторі, в зоні дозування, встановлювати завісу, яка забезпечує перетікання сипучих компонентів тонкими шарами в киплячу суміш. компоненти. Для визначення координат точки встановлення осі завіси, яка повинна бути нижче центру мас обертання суміші в надгвинтовому просторі змішувача, було проведено геометричне моделювання для різних типорозмірів змішувача за допомогою програмного забезпечення Maple та визначено рівняння центру мас.

Наявність внутрішнього тиску за рахунок збільшення частоти обертання створює умови для виникнення розрідження в зоні тонкошарового змішування сипких компонентів, що сприятиме підвищенню рівномірності їх змішування.

## **3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1. Мета і програма експериментальних досліджень**

Технологічність процесу змішування сипучих компонентів кормової суміші значною мірою визначає показники роботи всього підприємства з виробництва кормових сумішей. Це залежить від багатьох факторів, які умовно можна розділити на дві групи: фактори, зумовлені технологічними властивостями зерна, а також фактори, що залежать від режиму роботи та параметрів змішувального обладнання та умов його експлуатації.

На виробництво якісної кормосуміші суттєвий вплив мають фактори, що визначаються технологічними властивостями зерна, але при виробництві кормосумішей використовують зерно кондиційної якості [8, 24].

Для досягнення високої технологічності змішування основних компонентів необхідно встановлювати спосіб змішування з урахуванням властивостей партії зерен. Основними кінематичними показниками процесу змішування, які впливають на якість кінцевого продукту, є частота обертання змішувального шнека,  $\omega$ . На вихід продукту також суттєво впливають конструктивні параметри технологічного процесу, а саме діаметр корпусу шнекової камери  $D$ ; довжина зони дозування контрольного компонента,  $L$ ; і товщина дозувального шару  $h$ , яка регулюється відкриванням завіси.

Відповідно до поставлених завдань (розділ 1) за предмет взято технологічний процес змішування сипучих компонентів кормової суміші та комплекс технологічних і техніко-економічних факторів, пов'язаних із змішувальним устаткуванням технологічних ліній комбикормових підприємств. дослідження.

Основна увага приділяється визначенню оптимальної продуктивності та якості змішування основних інгредієнтів кормової суміші.

Метою експериментальних досліджень є перевірка достовірності теоретичних досліджень, визначення математичного опису зв'язку між

конструктивно-експлуатаційними параметрами швидкохідного шнекового змішувача та технологічними параметрами процесу [35]. Якість суміші кормових сумішей є критерієм, значення і характер зміни якого можна визначити лише дослідним шляхом.

Програма дослідів складена відповідно до поставлених завдань оптимізації якості технологічного процесу змішування кормосумішей і містить такі етапи дослідження впливу:

- технологічні параметри процесу тонкошарового динамічного змішування на якість кінцевого продукту;
- форма робочої поверхні корпусу змішувача в зоні завантаження;
- технологічну схему швидкого шнекового змішувача з тонкошаровим динамічним змішуванням компонентів кормової суміші;

Метою представленої вище дослідження є:

- розробка нової технологічної схеми швидкого шнекового змішувача з тонкошаровим динамічним змішуванням компонентів кормових сумішей;
- розробка методики дослідження процесу змішування сипучих компонентів та визначення основних конструктивно-технологічних параметрів швидкохідного шнекового змішувача;
- отримання аналітичних залежностей для визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів швидкохідного шнекового змішувача на основі дифузійного перемішування;
- визначення вмісту контрольної складової суміші, її коефіцієнта неоднорідності та статистична обробка дослідів з побудовою регресійних залежностей;
- порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів.

### **3.2. Характеристика умов проведення експериментальних досліджень**

Експериментальні дослідження було проведено з метою оцінки якості змішування сипучих компонентів комбікормів, визначення технологічних та конструктивних параметрів процесу змішування у швидкохідному



гвинтовому змішувачі, а також з метою перевірки виконаних нами теоретичних досліджень.

При визначенні якості змішування комбікормів проби відбиралися відповідно до ГОСТ 13586.3-83 [23].

Показники якості отриманої суміші комбікормів визначали відповідно до ГОСТ 9267-68. та ГОСТ 9268-70

Для змішування використовували подрібнену масу пшениці з розміром часток менше за 3 мм, очищену від сміття відповідно до ГОСТ 134986.8-72 [24] і вологістю відповідно до ГОСТ 13586.5-85 [25].

### **3.3. Технічна база для проведення експериментальних досліджень**

На основі аналізу літературних і патентних джерел, а також результатів теоретичних досліджень розроблено спосіб тонкошарового динамічного змішування сипучих інгредієнтів при виготовленні кормової суміші [26]. Для реалізації цього методу нами розроблено експериментальну установку швидкісного шнекового змішувача [27].

Експериментальний пристрій для тонкошарового динамічного змішування сипучих компонентів при виготовленні кормосуміші (рис. 3.1) являє собою зварену раму 1, на якій змонтовано воронку 3 розкидача з приводом 2 від електродвигуна постійного струму. Для регулювання надходження сипучих компонентів у зону дозування та змішування 5 лійку 3 розділено на три частини, які обладнані клапанами 4. У зоні дозування та змішування 5 встановлено шнек 7, який закритий корпусом змішувача 9, а в просторі над шнеком встановлена шторка 8 для встановлення кута вильоту потоку вільних компонентів у потік киплячої суміші. Крім зони дозування і змішування 5 установка має транспортну зону 6, в якій встановлений шнек 7, який є продовженням шнека змішувальної зони. Корпус знімається, щоб відкрити зону змішування. Для дослідження можливості розбавлення при приготуванні суміші в зоні дозування сипких компонентів встановлений дифманометр 10, одна трубка якого підключена до отвору в корпусі 9 в зоні

розташована завіса 8, а інша підключена до атмосферного тиску. Диференціальний манометр відкалібрований за такими показаннями - 10 мм водяного стовпа дорівнює 100 Па.

Для вивчення явища відхилення тиску повітря в зоні змішування прилад оснащений ще одним диференціальним манометром, одна трубка якого з'єднана з отвором в зоні змішування, а інша - з атмосферним тиском.

Установка працює так. Сипучі компоненти кормової суміші під час змішування висипаються в частину лійки 3, звідки через заслінки 4 надходять у плоский зазор, утворений корпусом змішувача 9 і завісою 8. Тонкий шар сипучої складової, що форми в цьому тракті надходить практично паралельно обертовому псевдозрідженому потоку суміші вже в змішувачах. Розрідження, яке відбувається в зоні завіси 8, сприяє надходженню сипучих компонентів в зону змішування і перешкоджає утворенню дуг сипучого компонента, коли він залишає бункер.

Живлення установки здійснюється від електродвигуна постійного струму, що дозволяє задавати частоту обертання шнека за допомогою автотрансформатора типу 11-11 ГОСТ 9532-67. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання частоти обертання змішувального шнека від 10 до 80 с-1. Електродвигун приладу підключався до електричної мережі через вимірювальний комплект К-505 за допомогою кабелів та пульта керування, що дозволяло вимірювати потужність приводу шнекового змішувача. Частоту обертання карданного валу визначали за допомогою механічного відцентрового тахометра типу Ю-10.

Для визначення розміру частинок кормової суміші та контрольного компонента використовували рухливу шкалу ШЦК-1-125-0,01 ГОСТ 166-89 та класифікатор з хитним ситом [38].

Проби для визначення контрольного компонента в суміші відбирали на виході із зони дозування та змішування, на відстані 300 мм від зони дозування та змішування та в кінці зони транспортування. Це дало змогу зробити висновок щодо визначення довжини зони змішування сипучих компонентів при виготовленні кормової суміші.

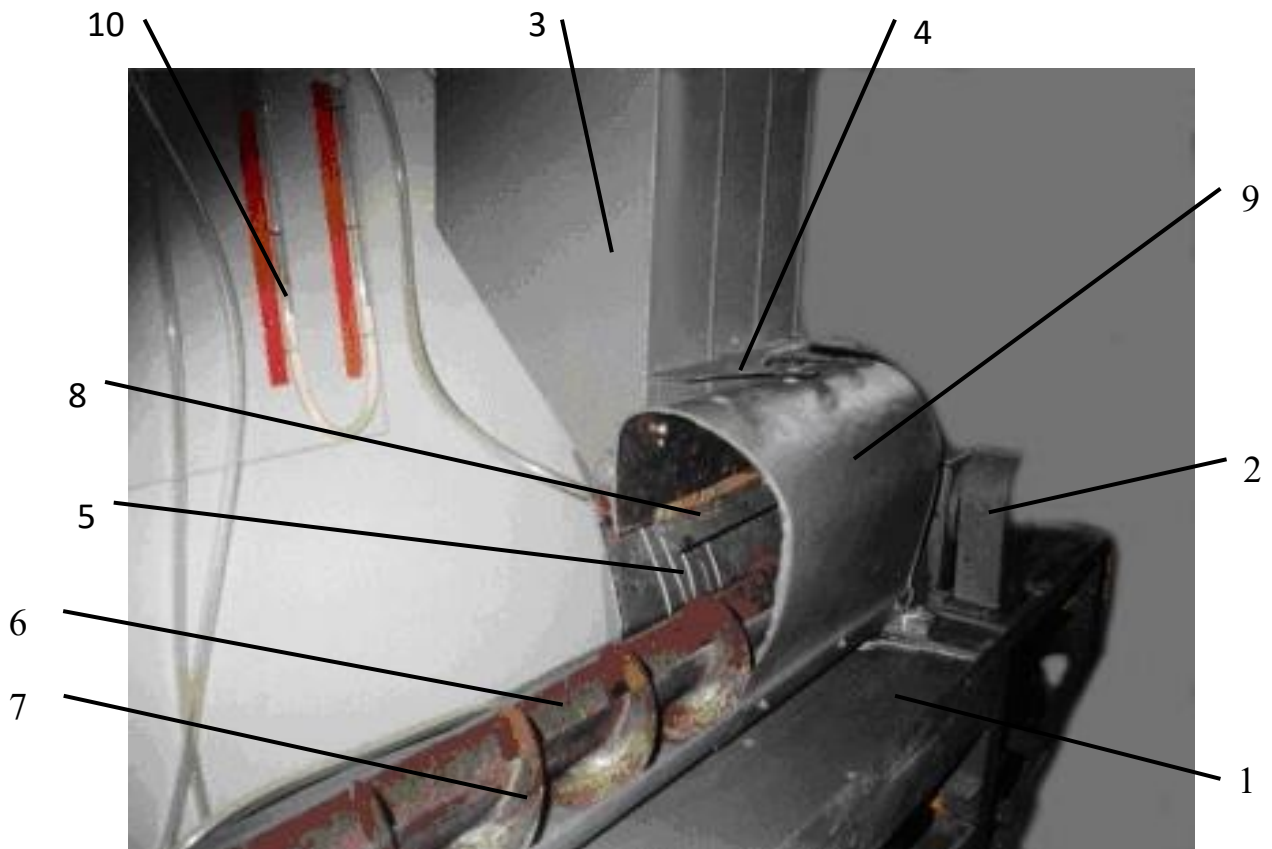


Рисунок 3.1 – Загальний вид експериментальної установки : 1 – станина; 2 – привод; 3 – бункер розділений на три секції; 4 – заслінка секції бункера; 5 – зона дозування та змішування; 6 – зона транспортування (кожух знятий); 7 – гвинт; 8 – шторка; 9 – кожух змішувача; 10 – диференціальний манометр дозатора.

Ситовий аналіз проводився для визначення змісту контрольного компоненту (пшоно з діаметром часток до 2 мм) у суміші після змішування і виконувався в наступній послідовності:

1. Відбирали з кожного пакета пробу в поліетиленові стаканчики. Вага кожної проби повинна складати 0,100 кг. Зважування проби робили на лабораторних вагах типу ВЛКТ-500г.

2. Брали для класифікатора комплект сит: 1 сито –  $\varnothing 1$  мм, 2 сито –  $\varnothing 2$  мм і 3 сито –  $\varnothing 3$  мм.

3. Установлювали на класифікатор ситовий піддон, три сита і кришку сит, весь набір фіксувався.

4. Регулювали режим роботи класифікатора: амплітуда коливань – 0,1 м, частота коливань 110...120 хв<sup>-1</sup>.
5. На верхнє решето класифікатора висипали приготовану пробу зернової суміші, закривали кришкою, закріплювали набір решіт на платформі класифікатора.
6. Вмикали електродвигун і протягом 3 хвилин робили сортування зернової суміші на фракції.
7. Кожну фракцію, що залишилася на решетах, а також «прохід» нижнього решета зважували на лабораторних аналітичних вагах типу ВЛКТ-500г.
8. Отримані результати гранулометричного складу фракцій заносили в таблицю.
9. Розраховували масу контрольного компонента в процентному вмісті  $B$  (%) як суму «проходу» і залишку нижнього решета.

### **3.4. Методика обробки експериментальних даних**

При визначенні оптимальних параметрів і режимів роботи швидкохідного гвинтового змішувача використовувалася методика оптимального планування екстремального експерименту [28, 29, 30].

Виходячи з проведених теоретичних досліджень, конкретних умов об'єкта дослідження і можливостей експериментальної установки, як критерій оптимізації було обрано максимальну продуктивність змішування сипучих компонентів з мінімальними енерговитратами.

При проведенні експериментальних досліджень було застосовано центральне композиційне ортогональне планування другого порядку [28, 31]. Це дозволило апроксимувати досліджувану поверхню відгуку поліномом другого ступеня

На підставі попередніх експериментів і аналізу апріорної інформації були обрані рівні варіювання факторів при реалізації плану для двох, трьох і чотирьох факторів.

Досліди не дублювалися. Для оцінки дисперсії, що характеризує помилки дослідів у матриці плану, досліді повторювалися три рази, а дисперсія відтворюваності визначалась згідно з [33].

Після одержання регресійного рівняння проводиться статистичний аналіз, тобто перевіряється адекватність представлення результатів дослідів поліномом другого порядку і значимість коефіцієнтів регресії.

Після виключення з отриманого рівняння регресії коефіцієнтів, що не відповідають вимогам гіпотези, перевіряється гіпотеза адекватності моделі другого порядку за допомогою  $F$ -критерію Фишера по формулі [29]

Після одержання адекватної математичної моделі другого порядку необхідно визначити координати оптимуму й вивчити властивості поверхні відгуку поблизу оптимуму. Для цього отримані рівняння регресії перетворюються в канонічну форму виду

$$Y - Y_s = B_{11} \cdot X_1^2 + B_{22} \cdot X_2^2 + \dots + B_{kk} \cdot X_k^2, \quad (3.1)$$

де  $Y$  – значення критерію оптимізації;

$Y_s$  – значення критерію оптимізації в оптимальній точці;

$X_1, X_2, \dots, X_k$  – нові осі координат, повернені щодо старих  $x_1, x_2, \dots, x_k$ ;

$B_{11}, B_{22}, \dots, B_{kk}$  – коефіцієнти регресії в канонічній формі.

При канонічному перетворенні рівняння виробляється перенос початку координат в оптимальну точку й поворот старих осей на деякий кут до сполучення з головними осями геометричної поверхні. Для цього необхідно продиференціювати функцію відгуку по кожній змінній  $i$ , дорівнявши до нуля частки похідні, вирішити отриману систему рівнянь, тобто знайти координати оптимуму. Підставляючи ці значення визначають величину критерію оптимізації в оптимальній точці.

Вид поверхні відгуку визначається за значенням коефіцієнтів регресії канонічної форми і положенню центра поверхні (фігури):

- коефіцієнти мають однакові знаки, центр фігури перебуває поблизу центра експерименту – поверхні мають мінімум або максимум;
- коефіцієнти мають різні знаки, центр фігури перебуває поблизу центра експерименту – поверхні типу мінімаксу;

- один з коефіцієнтів близький до нуля, і центр фігури вилучений у нескінченність – поверхні типу гребеня, що піднімає;
- один з коефіцієнтів дорівнює нулю – поверхня відгуку називається стаціонарним піднесенням.

Після канонічного перетворення й визначення виду поверхні відгуку проводиться її аналіз за допомогою двовимірних перетинів. Для цього в модель підставляються нульові значення всіх факторів, крім досліджуваних двох. Далі отримане вираження перетворюється в канонічний вид.

Після цього визначається тип поверхні відгуку й починається графоаналітичний аналіз отриманого вираження. На графіку в координатах незалежних змінних з натуральним масштабом наноситься центр поверхні відгуку, і з нього проводяться координатні осі головних напрямків канонічного рівняння. Потім, надаючи різні значення критерію оптимізації в канонічному рівнянні, будується серія кривих рівного виходу (ізоліній). По кривих перетинів судять про зміну величини критерію оптимізації залежно від натуральних значень розглянутих факторів. Розгляд всіх можливих перетинів дає наочне подання про значення критерію оптимізації, які він буде приймати при варіюванні рівнів кожної пари факторів.

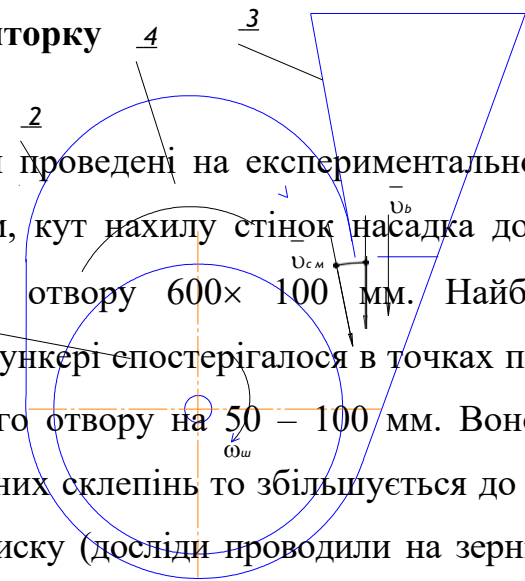
Отримані в результаті дослідів значення показників оброблялись з використанням прикладних програм MS Excel, Matchcad, Maple, а також ряду нестандартних спеціалізованих програм.

Обробка випадкових величин, отриманих у результаті вимірів, передбачає визначення їх основних статистичних характеристик: математичного чекання, середнього квадратичного відхилення, дисперсії і коефіцієнта варіації.

Для вивчення взаємозв'язку досліджуваних параметрів експериментальні дані оброблялися на основі методів теорії кореляції.

Для забезпечення 95 % надійності виміру, при 5 % помилці виміру, характерної для досліджень в області механізації сільського господарства, критерій Стьюдента  $t = 2$  [28, 32]

### 3.5. Методика визначення розрідження у зоні входу шарів сипучих компонентів під шторку



Досліди були проведені на експериментальному бункері-дозаторі, що має висоту 500 мм, кут нахилу стінок насадка до вертикалі  $40^\circ$  і розміри вивантажувального отвору  $600 \times 100$  мм. Найбільше розрідження при закритому зверху бункері спостерігалось в точках по осі його, віддалених від вивантажувального отвору на  $50 - 100$  мм. Воно періодично з частотою утворення динамічних склепінь то збільшується до  $50 \dots 60$  Па, то знижується до атмосферного тиску (досліди проводили на зерні пшениці, ячменю, проса при його вільному витіканні з бункера без обертання гвинта).

Установлено також вплив цього розрідження на подачу зерна з бункера при режимах без шторки та зі шторкою. Для чого в ньому на висоті 50 мм від вивантажувального вікна в похилій стінці були просвердлені 10 отворів діаметром 3 мм для додаткової подачі повітря в бункер при його розвантаженні.

З метою визначення впливу кінематичних (частоти обертання гвинта) і конструктивних (наявність або відсутність шторки) параметрів швидкохідного гвинтового змішувача на величину розрідження в зоні дозування були проведені досліди по дозуванню зерна при ступені заповнення бункера не нижчі  $67\%$  (це найменша різниця розрахункового та експериментального значення розрідження при максимальному заповненні бункера).

#### Висновки

Таким чином, за допомогою розробленої експериментальної установки та методики ми можемо визначити раціональну довжину зони змішування компонентів комбінованого корму і середню величину часток компонентів кормосуміші, що завантажуються в змішувач, енергоємність та якість змішування при зміні різних параметрів.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТОНКОШАРОВОГО ДИНАМІЧНОГО ЗМІШУВАННЯ СИПУЧИХ КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМІВ

### 4.1. Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу змішування сипучих компонентів по продуктивності

Визначення оптимальної продуктивності технологічного процесу змішування сипких компонентів проводили за допомогою розробленого швидкісного шнекового змішувача.

На основі аналізу апріорної інформації, теоретичних досліджень, проведених багатьма вченими та інститутами, власних теоретичних досліджень, попередніх пошукових спроб і вимог, запропонованих до факторів [34], були обрані різні фактори:

- радіус корпусу нагнітального простору,  $R_k$ ;
- довжина зони дозування компонента регулювання,  $L$ ;
- частота обертання змішувального шнека,  $\omega$ .

Інші фактори, що визначають процес, вважалися постійними. Досліджено вплив цих конструктивних параметрів швидкохідного шнекового змішувача на його продуктивність. Межі факторної варіації були взяті з теоретичних міркувань (розділ 2) і попередніх досліджень багатьох авторів [23, 31].

Внутрішній радіус корпусу надшнекового простору змінювався шляхом зміни дуги корпусу надшнекового простору в діапазоні від 0,11 до 0,15 м. Довжина зони дозування регулюючої складової змінювалася в діапазоні від 0,12 до 0,18 м шляхом зміни положення вертикальних перегородок у бункері-дозаторі. Частоту обертання змішувального шнека змінювали до 40...80  $\text{с}^{-1}$  електродвигуном постійного струму.

Межі варіювання факторів вказані в таблиці 4.1.



Межі варіювання факторів визначення продуктивності змішувача

Фактори	Межі варіювання факторів			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
$X_1$ – радіус кожуху надгвинтового простору, $R_k$ м	0,11	0,13	0,15	0,02
$X_2$ – довжина зони дозування контрольного компоненту, $L$ , м	0,12	0,15	0,18	0,03
$X_3$ – частота обертання гвинта змішувача, $\omega$ , $s^{-1}$	40	60	80	20

На лабораторній установці при постійних параметрах дозуючого сипучого матеріалу (пшениця, що подрібнена до часток розміром не менш 3 мм) вивчали залежність

$$Q = f(R_k, L, \omega), \quad (4.1)$$

де  $Q$  – продуктивність швидкохідного гвинтового змішувача, кг/с;

У результаті реалізації повного трьох факторного експерименту отримана математична модель продуктивності швидкохідного гвинтового змішувача, описувана рівнянням регресії

$$y_Q = 4,22 - 1,65 x_1 + 0,50 x_2 + 0,68 x_3 - 0,14 x_1 x_2 - 0,20 x_1 x_3 - 0,07 x_2 x_3 - 0,62 x_1^2 - 0,85 x_2^2 - 1,36 x_3^2. \quad (4.2)$$

У натуральних значеннях факторів рівняння (4.2) можна представити в наступному виді

$$Q = -58,78 + 385,5 R_k + 337,333L + 0,525\omega - 233,333R_k L - 0,5 R_k \omega - 0,117 L \omega - 1550 R^2 - 944,444 L^2 - 0,0034\omega^2. \quad (4.3)$$

На підставі рівняння регресії (4.2) отримана поверхня відгуку продуктивності гвинтового змішувача за допомогою програмного забезпечення Maple (рис.4.1).

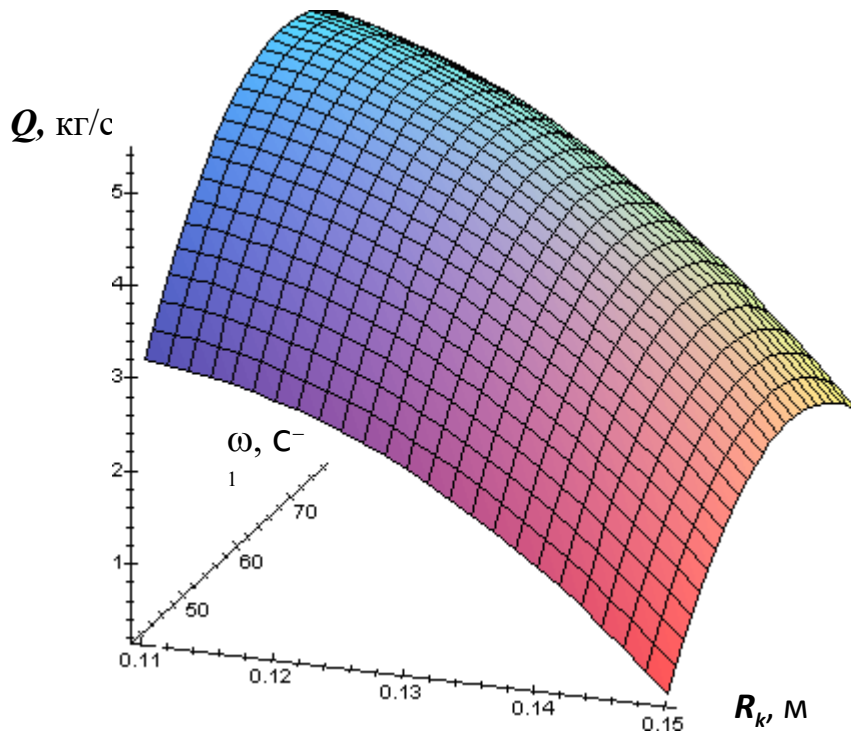


Рисунок 4.1 – Поверхня відгуку продуктивності гвинтового змішувача  $Q$  у функції від внутрішнього радіуса кожуху надгвинтового простору  $R_k$  і частоти обертання  $\omega$  при довжині зони дозування контрольного компоненту  $L=0,15$  м

Тому при збільшенні надгвинтового простору частинки сипучого матеріалу повинні подолати більший шлях у надгвинтовому просторі, перш ніж знову потраплять на витки гвинта. Така закономірність зміни продуктивності залежно від внутрішнього радіусу надгвинтового простору зберігається й при збільшенні довжині зони дозування контрольного компоненту й частоти обертання гвинта (рис. 4.2). Тому, виходячи з максимальної продуктивності (рис. 4.2), варто вибирати внутрішній радіус кожуху надгвинтового простору в межах 0,11...0,12 м.

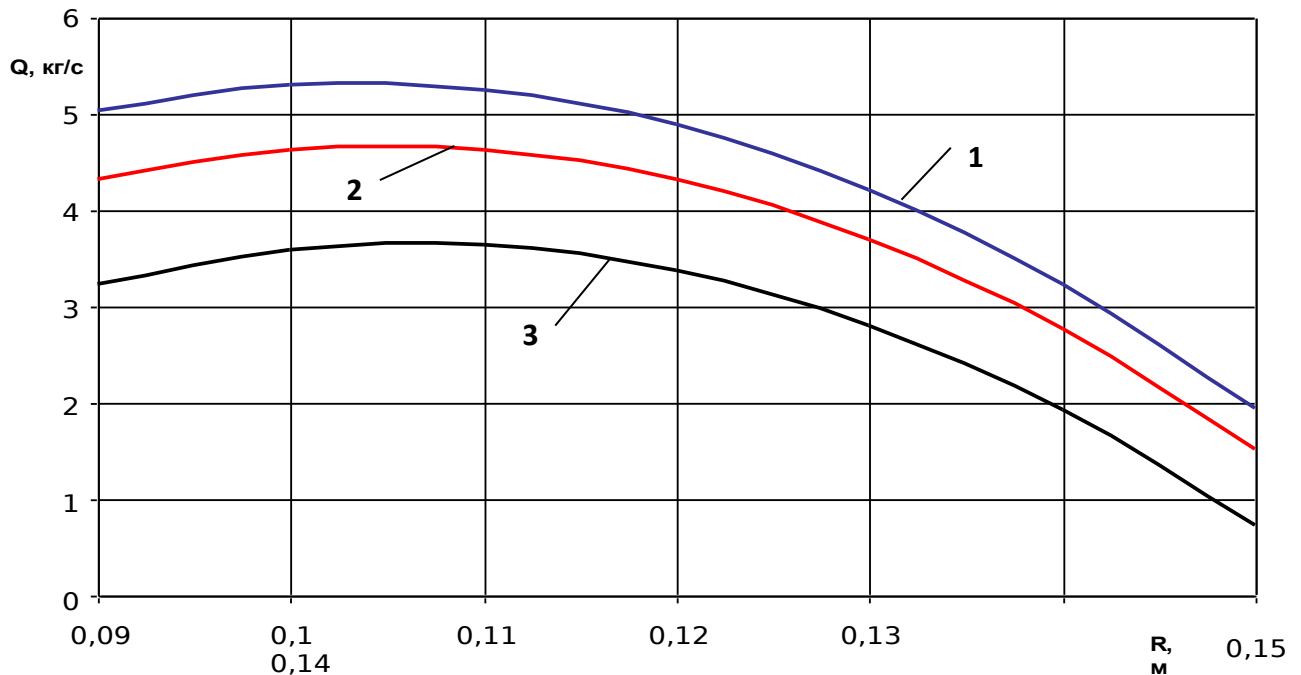


Рисунок 4.2 – Залежність продуктивності змішувача  $Q$ , кг/с від внутрішнього радіуса кожуха надгвинтового простору

1 –  $L=0,15$  м,  $\omega =60$  с<sup>-1</sup>; 2 –  $L =0,14$  м,  $\omega =55$  с<sup>-1</sup>; 3 –  $L =0,13$  м,  $\omega =50$  с<sup>-1</sup>

З підвищенням частоти обертання (фактор  $x_3$ ) гвинтового змішувача (рис 4.1 та 4.3) параметр оптимізації спочатку росте від  $Q =1,5$  кг/с ( $L =0,12$  м;  $R_k =0,11$  м) при нижньому рівні фактора  $x_3$  до 4,22 кг/с при нульовому рівні фактора  $x_3$ , потім знижується до 3,75 кг/с.

Тому слід обирати частоту обертання гвинта змішувача до нульового рівня фактору  $x_3$ , де йде постійний зріст продуктивності змішувача (4.3)

Таку залежність продуктивності  $Q$  гвинтового змішувача від частоти його обертання  $\omega$  можна пояснити тим, що даний параметр гвинтового змішувача впливає пропорційно на продуктивність і зворотнопропорційно коефіцієнт заповнення гвинта  $K_3$ , який залежить від довжини зони дозування

Тому для забезпечення повноти заповнення гвинтового змішувача сипучим матеріалом та зниження можливості склепоутворення у бункері-дозаторі нами пропонується установити у надгвинтовому просторі в зоні дозування шторку, яка дозволяє поступати сипучим компонентам тонкими

шарами в псевдозріджену суміш компонентів.

Крім досягнення максимальної продуктивності гвинтового змішувача необхідно враховувати такий якісний показник роботи змішувача як коефіцієнт неоднорідності суміші. Тому експериментально визначали залежність продуктивності гвинтового змішувача й коефіцієнта неоднорідності суміші при визначених параметрах частоти обертання гвинта  $\omega$ , довжини зони дозування контрольного компоненту,  $L$  та внутрішнього радіусу кожуху надгвинтового простору  $R_k$ .

На рис. 4.3 показана залежність коефіцієнта неоднорідності суміші  $v$ , % від частоти обертання гвинта  $\omega$ ,  $s^{-1}$  при довжині зони дозування контрольного компоненту  $L = 0,15$  м.

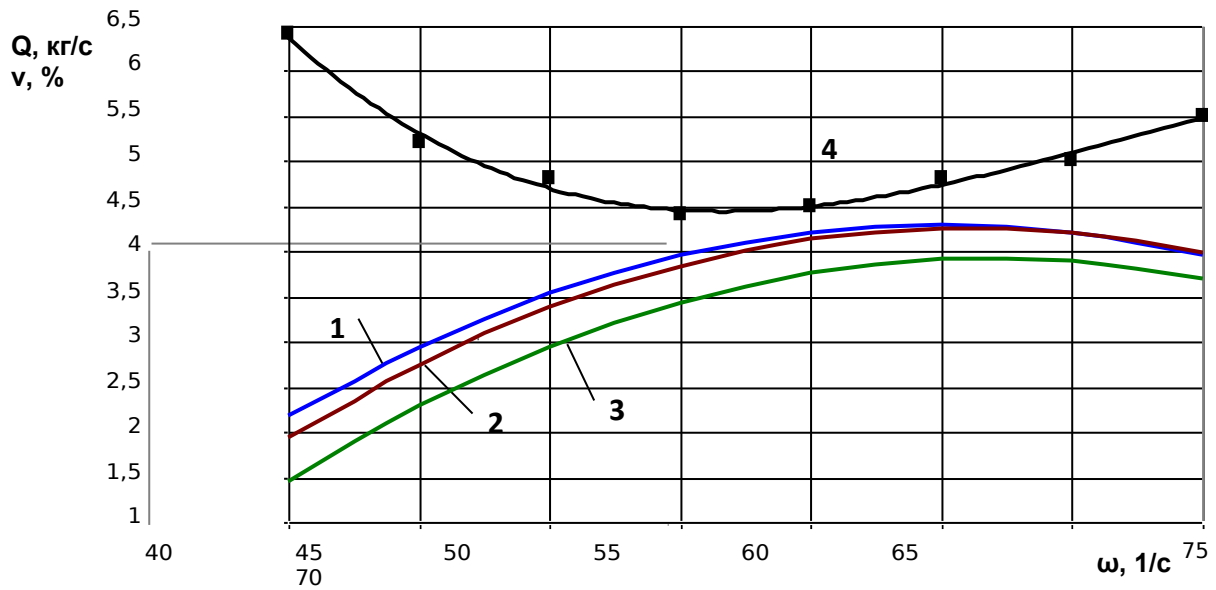


Рисунок 4.3 – Залежність продуктивності змішувача  $Q$ , кг/с та коефіцієнта неоднорідності сумішів  $v$ , % від частоти обертання гвинта змішувача  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ :  
 1 –  $L = 0,15$  м,  $R_k = 0,13$  м; 2 –  $L = 0,13$  м,  $R_k = 0,12$  м;  
 3 –  $L = 0,12$  м,  $R_k = 0,11$  м; 4 –  $v$ , %

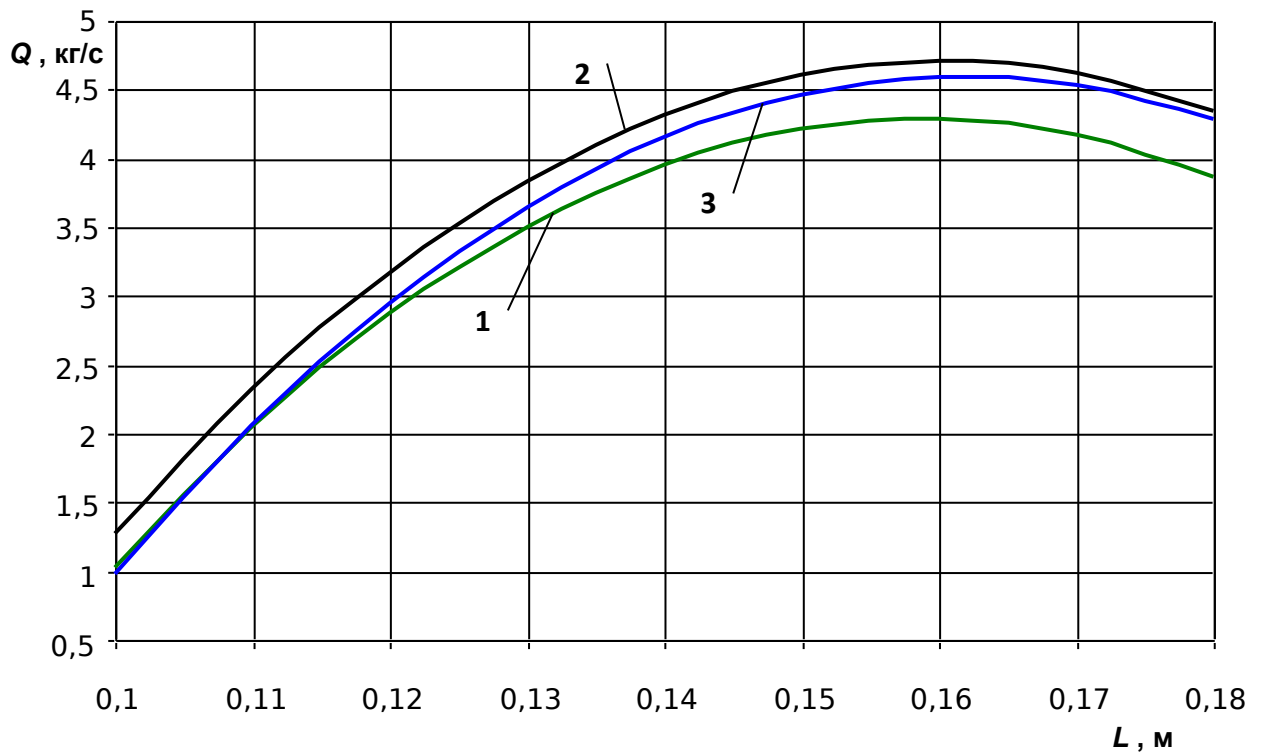


Рисунок 4.4 – Залежність продуктивності  $Q$ , кг/с від довжини нини дозування контрольного компоненту,  $L$  при:  
 1 –  $\omega = 60 \text{ с}^{-1}$ ,  $R_k = 0,13$  м; 2 –  $\omega = 55 \text{ с}^{-1}$ ,  $R_k = 0,12$  м; 3 –  $\omega = 50 \text{ с}^{-1}$ ,  $R_k = 0,11$  м

Продуктивність змішувача визначали на подрібненому зерні пшениці до часток розміром менше 3 мм, у яке було додано 10 % пшона розміром до 2 мм. Коефіцієнт неоднорідності суміші визначали у трикратній повторності, час відбору проби – 5 сек.

Для вивчення питання про можливості регулювання продуктивності змішувача аналізували зміну коефіцієнта неоднорідності суміші і продуктивності в залежності від частоти обертання гвинта.

Аналіз рис. 4.3 показав, що зі збільшенням продуктивності змішувача коефіцієнт неоднорідності суміші спочатку зменшується, досягаючи мінімуму, потім зростає. Помітне збільшення її починається, коли залежність продуктивності змішувача наближається до максимального значення. Причому мінімум коефіцієнта неоднорідності суміші не збігається з максимумом продуктивності, а зміщений трохи вліво. Мінімуму значенню коефіцієнта неоднорідності суміші  $v = 4,4...4,5$  % відповідає режим обертання гвинта змішувача  $55...60 \text{ с}^{-1}$ , при цьому його максимальна продуктивність складає  $4,0...4,1 \text{ кг/с}$ . Максимальній продуктивності змішувача  $4,10...4,22 \text{ кг/с}$  відповідає частота обертання гвинта змішувача –  $62...68 \text{ с}^{-1}$ , але коефіцієнт неоднорідності суміші складає вже  $v = 4,6...4,9$  %. Приймаємо компромісне рішення й обираємо максимальну продуктивність змішувача  $4,0...4,1 \text{ кг/с}$  при частоті обертання гвинта змішувача  $55...60 \text{ с}^{-1}$  і коефіцієнті неоднорідності суміші  $v = 4,4...4,5$  %.

На підставі аналізу рис. 4.1 - 4.4 приймаємо, що найбільш оптимальним режимом роботи гвинтового змішувача також є наступні параметри: довжина зони дозування контрольного компоненту  $L = 0,13...0,17 \text{ м}$  (рис.4.4 при максимальній продуктивності  $4,6...4,7 \text{ кг/с}$ ), радіус кожуху надгвинтового простору  $R_k = 0,10...0,12 \text{ м}$ .

З метою перевірки адекватності теоретичних та експериментальних досліджень на рис.4.5 наведено залежності продуктивності гвинтового змішувача по експериментальним даним (крива 1) та теоретичним по формулі (3.65) з урахуванням коефіцієнта шторки  $K_{ш}$ .

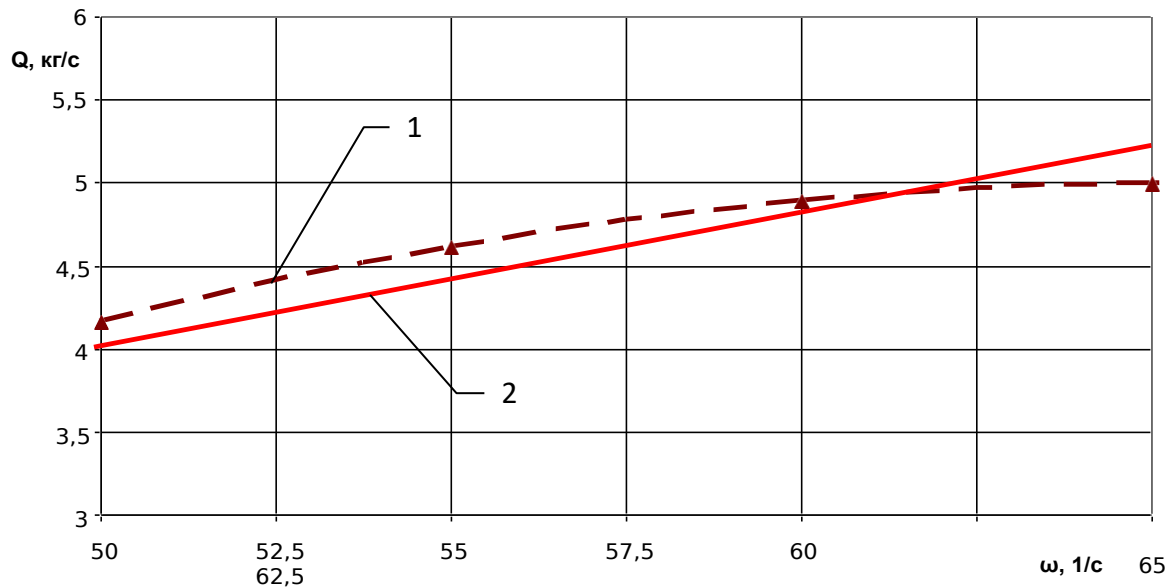


Рисунок 4.5 – Залежність продуктивності змішувача  $Q$ , кг/с від частоти обертання гвинта змішувача  $\omega$  при  $R_k = 0,12$  м,  $L = 0,15$  м:  
1 – експериментальна, 2 – теоретична

При визначенні теоретичної продуктивності приймалися наступні значення параметрів:  $K_s=0,3$ ,  $K_\rho=0,3$ ,  $K_R=0,3$ ,  $K_{in}=0,64$ ,  $S=0,1$ ,  $d=0,1$ ,  $K_v=0,95$ ,  $b=0,06$  м,  $\rho = 200$  кг/м<sup>3</sup>.

Для розрахунків, згідно з експериментальними дослідженнями, значення коефіцієнтів шторки та динамічності приймаємо у таких межах  $K_{in}=0,60\dots0,68$ ,  $K_d = 0,015\dots0,04$ .

Як видно з рис. 4.5 значення експериментальної та теоретичної продуктивності у зоні оптимальності по частоті обертання гвинта змішувача при  $\omega$ , що дорівнює 55 та 60 с<sup>-1</sup> приймають відповідно значення 4,6 та 4,42 і 4,88 та 4,82 кг/с. При цьому похибка складає 1,2...3,9%, що знаходиться у межах 5% похибки в інженерних дослідженнях і вказує на адекватність теоретичних розрахунків та експериментальних даних.

Для визначення такого суттєвого фактору, як товщина шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозовано подаються на змішування, необхідно провести ряд додаткових експериментів.

## 4.2. Визначення товщини шарів дозування сипучих компонентів

З наведеного в попередньому підрозділі аналізу експериментальних даних, а також з аналізу попередніх теоретичних досліджень, до основних факторів процесу змішування сипучих компонентів слід віднести наступні: радіус кожуху надгвинтового простору,  $R_k$ ; довжина зони дозування контрольного компоненту,  $L$ ; частота обертання гвинта змішувача,  $\omega$  та товщина шарів  $h$  сипучих компонентів, що подаються на змішування, та регулюються величиною відкриття шторки в межах від 0 до 40 мм.

Межі варіювання факторів, що обиралися, виходячи з попередніх експериментальних даних, вказані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Межі варіювання факторів визначення товщини шару дозування сипучих компонентів

Фактори	Одиниці виміру	Межі варіювання факторів			Позначення
		-1	0	+1	
Радіус кожуху надгвинтового простору, $R_k$	м	0,11	0,13	0,15	$X_1$
Частота обертання гвинта змішувача, $\omega$	$e^{-1}$	35	55	75	$X_2$
Довжина зони дозування контрольного компоненту, $L$	м	0,12	0,15	0,18	$X_3$
Товщина шару дозування, $h$	м	0,01	0,025	0,04	$X_4$

Складаємо план відсіюючого експерименту, на основі стандартної матриці і здійснимо її реалізацію.

Для математичної моделі виду:

$$y_i = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_4 + B_{12} X_1 X_2 + B_{13} X_1 X_3 + B_{14} X_1 X_4 + B_{23} X_2 X_3 + B_{34} X_3 X_4 + B_{24} X_2 X_4 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{33} X_3^2 + B_{44} X_4^2 \quad (4.4)$$

Складемо розширену матрицю планування.

Визначимо коефіцієнти криволінійної моделі, використовуючи формулу:



$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (4.5)$$

Перетворення матриць розглянемо поетапно.

Таким чином, отримаємо коефіцієнти нелінійної моделі ( таблиця 4.3).

Таблиця 4.3

Коефіцієнти нелінійної моделі

$b_0 = 3,72$	$b_1 = -1,64$	$b_{12} = -0,99$	$b_{23} = 0,03$	$b_{11} = 0,94$
	$b_2 = 0,05$	$b_{13} = -0,1$	$b_{24} = 0,01$	$b_{22} = 0,52$
	$b_3 = 0,08$	$b_{14} = -0,04$	$b_{34} = 0,19$	$b_{33} = 0,33$
	$b_4 = 0,39$			$b_{44} = -0,002$

Використовуючи критерій Стюдента з рівнем значимості 5 %, визначимо критичне значення для коефіцієнтів регресії. По таблиці [29]

$$t_{кр} = 2,04.$$

Розрахункові значення для коефіцієнтів регресії наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Розрахункові значення коефіцієнтів регресії

$t_0 = 115,85$	$t_1 = 45,7$	$t_{12} = 1,54$	$t_{23} = 0,72$	$t_{11} = 20,33$
	$t_2 = 1,36$	$t_{13} = 2,61$	$t_{24} = 0,24$	$t_{22} = 11,30$
	$t_3 = 2,15$	$t_{14} = 0,88$	$t_{34} = 4,695$	$t_{33} = 7,11$
	$t_4 = 10,89$			$t_{44} = 0,05$

Застосовуючи критерій Стюдента, робимо висновки, що коефіцієнти

$b_2, b_{12}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{44}$  - не значимі.

Таким чином, отримана математична модель має вигляд:

$$y_Q = 3,72 - 1,64 x_1 + 0,08 x_3 + 0,39 x_4 - 0,1 x_1 x_3 + 0,19 x_3 x_4 - 0,94 x_1^2 - 0,52 x_2^2 - 0,33 x_3^2 \quad (4.6)$$

Для визначення адекватності моделі, зрівняємо критичне й розрахункове значення критерію Фішера:

$$1,38 < 2,4$$

Таким чином, отримана нелінійна модель, адекватна дослідженим даним, тобто її можна використовувати при побудові області оптимуму й визначення координат для зазначених факторів.

Для проведення аналізу методом двовимірних перетинів, отримане рівняння регресії приведемо до канонічного виду. Для цього початок координат перенесемо в нову точку факторного простору - рівняння регресії другого порядку диференціюємо по кожному факторі й дорівнюємо до нуля.

Одержимо

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_1} = -1,64 - 0 + 1,88 x_1 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_2} = 1,04 x_2$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_3} = 0,08 - 0 + 0,19 + 0,66 x_3 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_4} = 0,39 + 0,19 x_3 = 0$$

Вирішуючи систему рівнянь, одержимо координати нового центру:

$$\begin{cases} x_{1s} = 0,868 \\ x_2 \\ x_3 = -0,074 \\ x_{4s} = 0,411 \end{cases}$$

Підставивши значення в рівняння регресії (4.6), одержимо значення оптимізації в центрі  $S$ , тобто  $y_s = 3,399$ .

Для оптимізації досліджуваного об'єкта, що описується рівнянням другого порядку, виконується канонічне перетворення, що дозволяє одержати графічну й аналітичну інтерпретацію області оптимуму.

Розкодований центр при оптимумі відповідає:

$$\begin{cases} x_1 = 0,12 \\ x_2 = 55 \\ x_3 = 0,14 \\ x_4 = 0,015 \end{cases}$$

Оптимальному значенню функції (максимальної продуктивності для даних умов  $Q = 3,4$  кг/с) відповідає наступні значення факторів:  $R_k = 0,12$  м,

$$\omega = 55 \text{ с}^{-1}, L = 0,14 \text{ м і } h = 0,015 \text{ м.}$$

Розглянемо можливі двовимірні перетини, що мають найбільш практичне значення.

1) Двовимірний перетин поверхні відгуку, що характеризує показники  $L$  і  $h$ : при  $x_1 = 0, x_2 = 0$ , описується математичною моделлю

$$y_0 = 3,72 + 0,08 x_3 + 0,39 x_4 + 0,19 x_3 x_4 - 0,33 x^2 \quad (4.7)$$

Обчислимо похідні:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_4} = 0,08 + 0,19 + 0,66 x_3 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 0,39 + 0,19 x_4 = 0 \end{cases}$$

$$x_{3s} = -2,05, \quad x_{4s} = 6,71, \quad y_s = 4,95$$

Проводимо канонічне перетворення рівняння, для чого вирішуємо систему:

$$f(B) = \begin{vmatrix} -0,65 - B & 0,5 \cdot 0 \\ 0,5 \cdot 0 & 1,57 - B \end{vmatrix} = (-0,65 - B)(1,57 - B) - 0,325^2 = 0$$

Власними числами даного характеристичного рівняння будуть:

$$B_{33} = -0,78, B_{44} = 1,71$$

Канонічне рівняння буде мати вигляд:

$$Y - 4,87 = -0,78 X^2 + 1,71 X$$

Коефіцієнти канонічного рівняння (4.8) дозволяють зробити висновок, що по  $h$  області оптимуму немає (рис. 4.6). Тому продуктивність змішувача зі шторкою постійно зростає з ростом товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозовано подаються на змішування. Зі зростанням параметра  $L$  (довжина

зони дозування контрольного компоненту) продуктивність спочатку збільшується, а потім падає. Це дозволяє зробити висновок, що по  $L$  є область оптимуму (рис. 4.6).

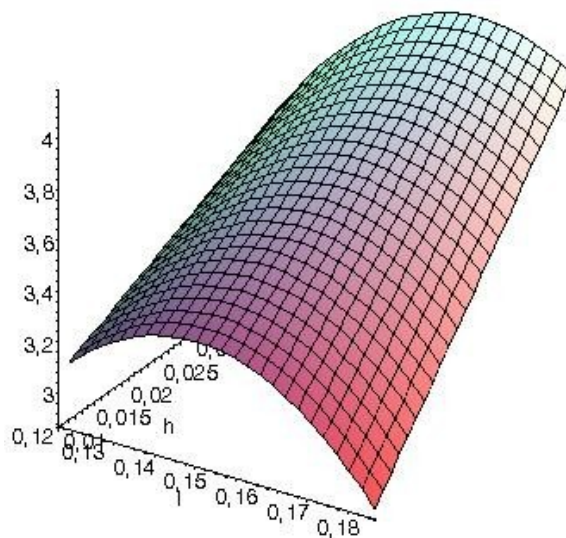


Рисунок 4.6 – Двовимірний перетин поверхні відгуку, що характеризує показники  $h$ : при  $x_1=0$ ,  $x_2=0$

Для аналізу поверхні відгуку (рис. 4.6), що характеризує залежність продуктивності  $Q$  змішувача зі шторкою від довжина зони дозування контрольного компоненту  $L$  і товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозуються на змішування, розглянемо графіки рисунків 4.7, 4.8 та 4.9.

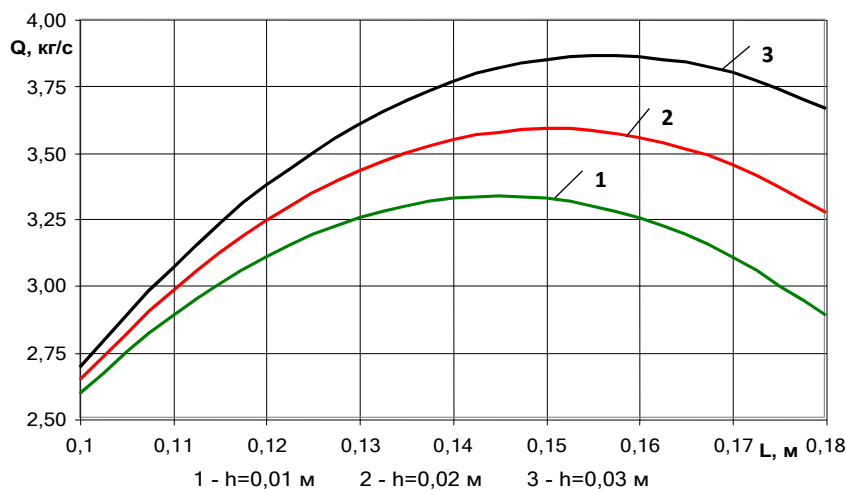


Рисунок 4.7 – Залежність продуктивності гвинтового змішувача  $Q$ , кг/с зі шторкою від довжини зони дозування контрольного компоненту,  $L$  при різ- ній товщині шарів  $h$  сипучих компонентів

Аналізуючи графіки (рис. 4.7) бачимо, що залежність продуктивності змішувача від довжини зони дозування контрольного компонента має оптимум, що зростає й незначно зміщається вправо при зростанні товщини шарів сипучих компонентів, що дозуються.

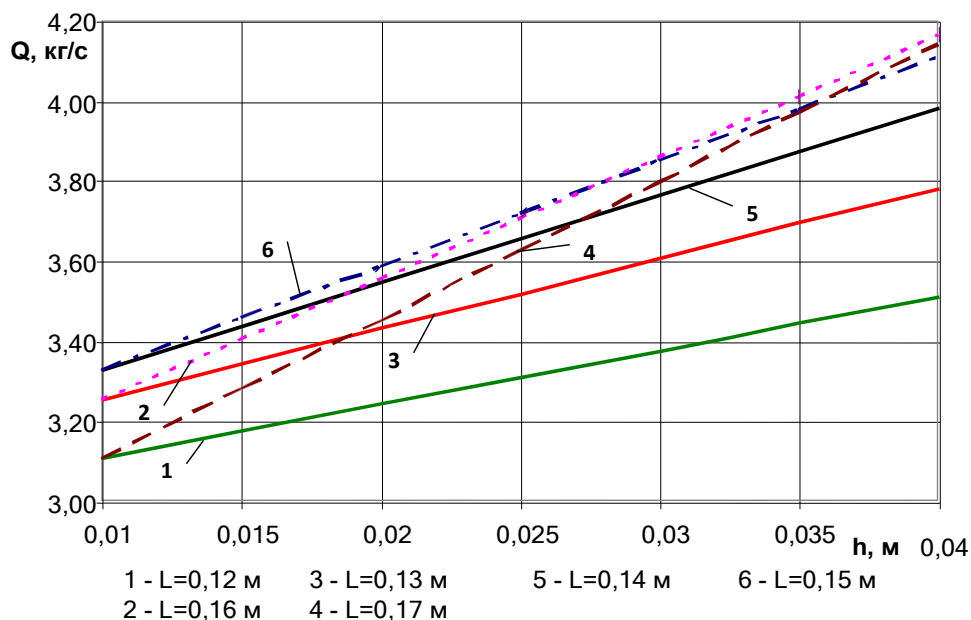


Рисунок 4.8 – Залежність продуктивності гвинтового змішувача  $Q$ , кг/с зі шторкою від товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що подаються на змішування при різній довжині зони дозування компонентів  $L$

На підставі рис. 4.7 приймаємо раціональний інтервал зміни довжини зони дозування контрольного компоненту від 0,14 м при товщині шарів сипучих компонентів, що дозуються  $h = 0,01$  м до 0,16 м при  $h = 0,03$  м. Це також підтверджують графіки рис. 4.8, з яких видно, що лінії залежності продуктивності змішувача з шторкою від товщини шарів сипучих компонентів, що дозуються на змішування при довжині зони дозування контрольного компоненту 0,12, 0,13 та 0,17 м знаходяться за зоною оптимуму.

Тому на підставі рис. 4.9 приймаємо товщину шарів сипучих компонентів, що дозуються на змішування в області оптимуму по  $L$  у межах 0,015...0,030 м (зона перетинання прямих).

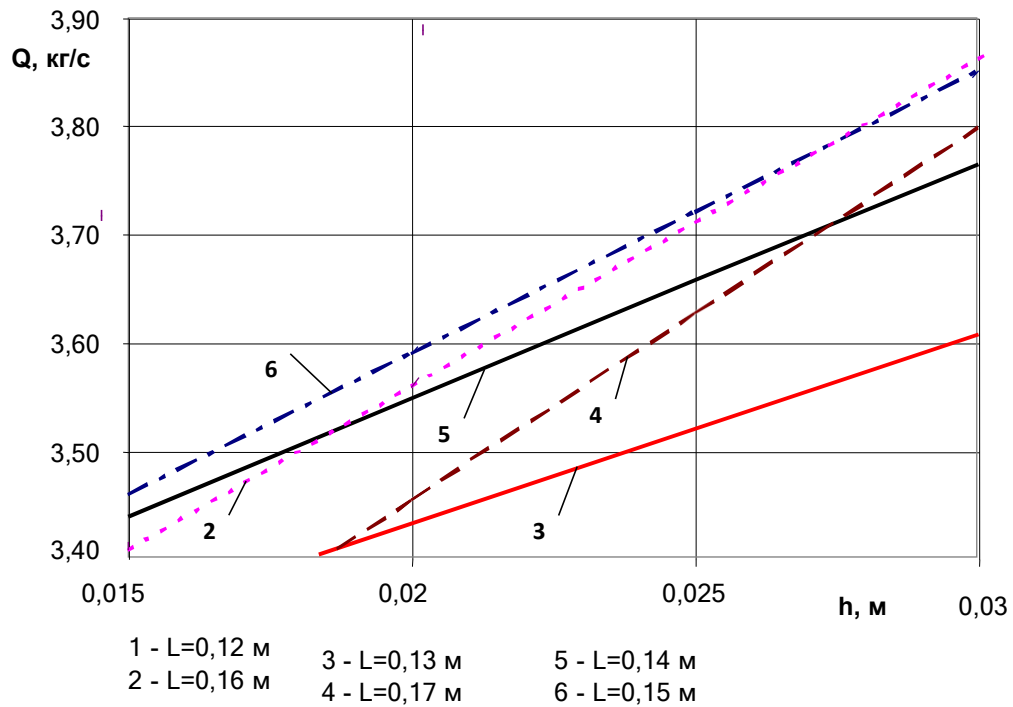


Рисунок 4.9 – Залежність продуктивності гвинтового змішувача  $Q$ , кг/с зі шторкою від товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозуються на змішування в області оптимуму по  $L$

Підбиваючи підсумок вищесказаному, приймаємо наступні раціональні параметри гвинтового змішувача зі шторкою: продуктивність  $Q = 3,3...3,8$  кг/с, довжина зони дозування контрольного компоненту  $L = 0,14...0,16$  м та товщина шарів сипучих компонентів, що дозуються на змішування  $h = 0,015...0,030$  м.

2) Двовимірний перетин поверхні відгуку, що характеризує показники  $\omega$  і  $h$  при  $x_1 = 0, x_3 = 0$

$$y_Q = 3,72 + 0,39 x_4 - 0,52 x_2^2 \quad (4.9)$$

одержимо:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_2} = 1,04 x_2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_4} = 0,39 x_4 = 0 \end{cases}$$

$$x_{2s} = 0, \quad x_{4s} = 0,$$

$$y_s = 3,72$$



Власними числами даного характеристичного рівняння будуть:

$$B_{22} = 1,04 \quad B_{44} = 0,39$$

Канонічне рівняння буде мати вигляд:

$$Y - 3,72 = 1,04 X^2 - 0,39 X \quad (4.10)$$

Коефіцієнти канонічного рівняння (4.10) дозволяють зробити висновок, що по  $h$  області оптимуму немає (рис. 4.10). Тому продуктивність змішувача зі шторкою постійно зростає з ростом товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозуються на змішування (рис. 4.11). Зі зростом параметра  $\omega$  (частота обертання гвинта змішувача) продуктивність спочатку зростає, а потім падає, аналогічно роботі змішувача без шторки (рис. 4.1 та 4.3). Це дозволяє зробити висновок, що по  $\omega$  є область оптимуму (рис. 4.12).

З аналізу рис. 4.11 і 4.12 видно, що обрані раціональні значення частоти обертання гвинта змішувача  $\omega = 55 \dots 60 \text{ с}^{-1}$  підтверджують максимальну продуктивність гвинтового змішувача при роботі зі шторкою  $Q = 3,3 \dots 3,8 \text{ кг/с}$  при  $h = 0,015 \dots 0,030 \text{ м}$ .

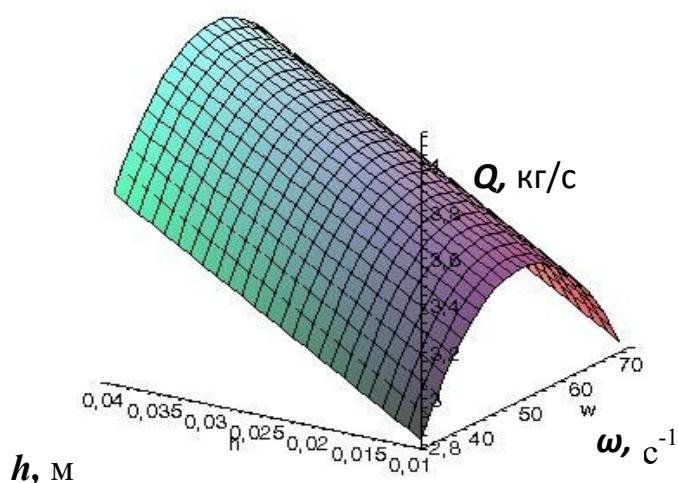


Рисунок 4.10 – Двовимірний перетин поверхні відгуку, що характеризує показники  $\omega$  і  $h$ : при  $x_1 = 0$ ,  $x_3 = 0$

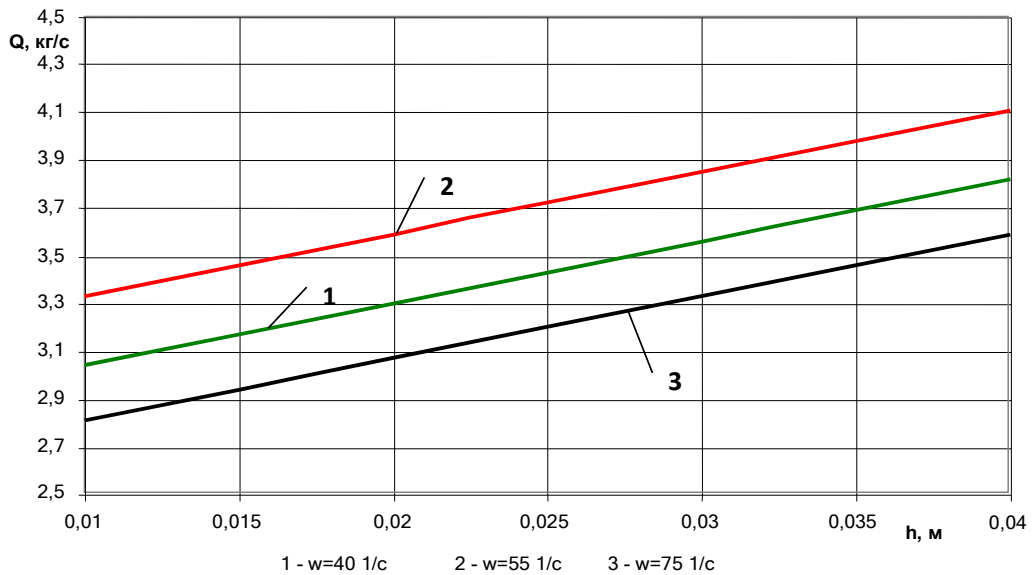


Рисунок 4.11 – Залежність продуктивності гвинтового змішувача  $Q$ , кг/с зі шторкою від товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозуються на змішування при різній частоті обертання гвинта  $\omega$

$v$ , %

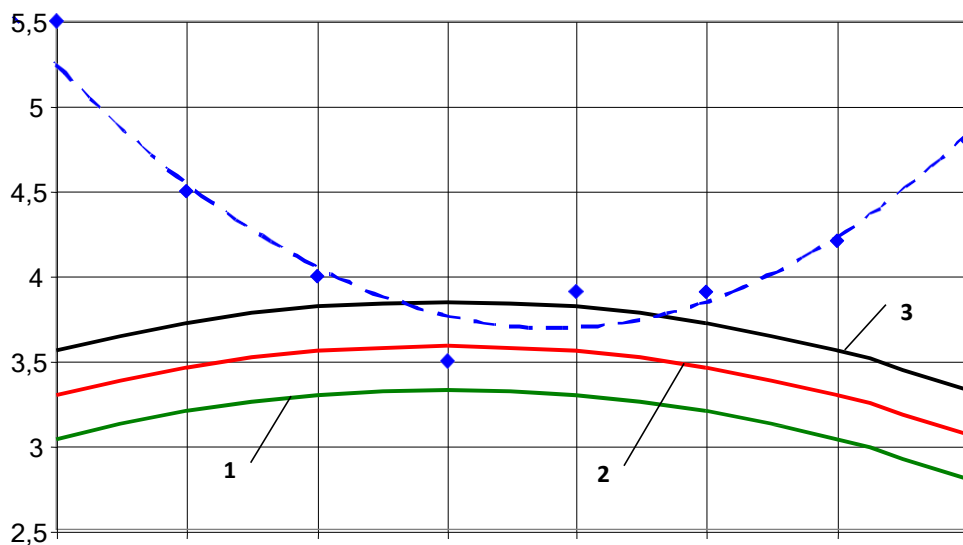


Рисунок 4.12 – Залежність продуктивності змішувача  $Q$ , кг/с та коефіцієнта неоднорідності суміші  $v$ , % від частоти обертання гвинта змішувача  $\omega$ .

40 45 50 55 60 65 70 75  $\omega$ , 1/c  
 1 -  $h=0,01$  м 2 -  $h=0,02$  м 3 -  $h=0,03$  м  $\blacklozenge$   $v$ , %

Як й в попередніх дослідженнях крім досягнення максимальної продуктивності гвинтового змішувача при роботі зі шторкою для регулювання товщини шарів сипучих компонентів, що дозуються на змішування необхідно враховувати такий якісний показник роботи змішувача як коефіцієнт неоднорідності суміші. Тому експериментально також визначали залежність продуктивності гвинтового змішувача зі шторкою й коефіцієнта неоднорідності суміші при визначених параметрах частоти обертання гвинта  $\omega$ , довжини зони дозування контрольного компоненту,  $L$  та внутрішнього радіусу кожуху надгвинтового простору  $R_k$ .

На рис. 4.12 показана залежність коефіцієнта неоднорідності суміші  $v$ , % від частоти обертання гвинта  $\omega$ ,  $s^{-1}$  при довжині зони дозування контрольного компоненту  $L = 0,15$  м.

Продуктивність змішувача зі шторкою також визначали на пшениці, що подрібнена до часток розміром менше 3 мм у яку було додано 10 % пшона розміром до 2 мм. Коефіцієнт неоднорідності суміші визначали за формулою (1.11) у трикратній повторності, час відбору проби – 5 сек.

Для вивчення питання про можливості регулювання продуктивності змішувача аналізували зміну коефіцієнта неоднорідності суміші і продуктивності в залежності від частоти обертання гвинта.

Аналіз рис. 4.12 показав, що зі збільшенням продуктивності змішувача при роботі зі шторкою коефіцієнт неоднорідності суміші спочатку зменшується, досягаючи мінімуму, потім зростає. Помітне збільшення її починається, коли залежність продуктивності змішувача наближається до максимального значення.

Мінімальному значенню коефіцієнта неоднорідності суміші  $v = 3,7... 3,8$  % відповідає режим обертання гвинта змішувача  $55...60$   $s^{-1}$  при цьому його максимальна продуктивність складає  $3,8$  кг/с при  $h = 0,030$  м.

3) Двовимірний перетин поверхні відгуку, що характеризує показники  $R_k$  і  $h$  при  $x_2 = 0, x_3 = 0$

$$y_0 = 3,72 - 1,64 x_1 + 0,39 x_4 - 0,94 x$$

(4.11)

одержимо:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x} = -1,64 + 1,84 x_1 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_4} = 0,39 x_4 = 0 \end{cases}$$

$$x_{1s} = 0,89 \quad x_4 = 0 \quad y_s = 3$$

Власними числами даного характеристичного рівняння будуть:

$$B_{11} = -0,85, B_{44} = 3,06 \tag{4.12}$$

Канонічне рівняння буде мати вигляд:

$$Y - 3 = -0,85 X_1^2 + 3,06 X_4^2$$

Коефіцієнти канонічного рівняння (4.12) дозволяють зробити висновок, що по  $h$  області оптимуму немає (рис. 4.13). Тому продуктивність змішувача зі шторкою постійно зростає з ростом товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозуються на змішування (рис. 4.14). Зі зростом параметра  $R_k$  (радіус кожуху над гвинтового простору) продуктивність змішувача зі шторкою при малих значеннях  $R_k$  незначно збільшується, а потім постійно знижується. Це дозволяє зробити висновок, що по  $R_k$  є область оптимуму (рис. 4.15).

Така закономірність зміни продуктивності залежно від внутрішнього радіусу надгвинтового простору зберігається й при збільшенні товщини шарів  $h$  сипучих компонентів (рис. 4.15). Тому, виходячи з максимальної продуктивності (рис. 4.13, 4.14), варто вибирати внутрішній радіус кожуху надгвинтового простору в межах  $R_k = 0,11 \dots 0,12$  м.

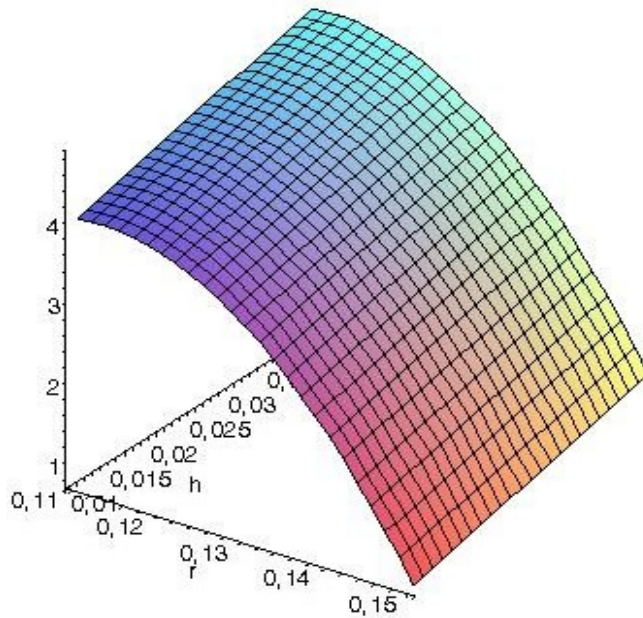


Рисунок 4.13 – Двовимірний перетин поверхні відгук,  $R_k$  і  $h$ : при  $x_2 = 0, x_3 = 0$

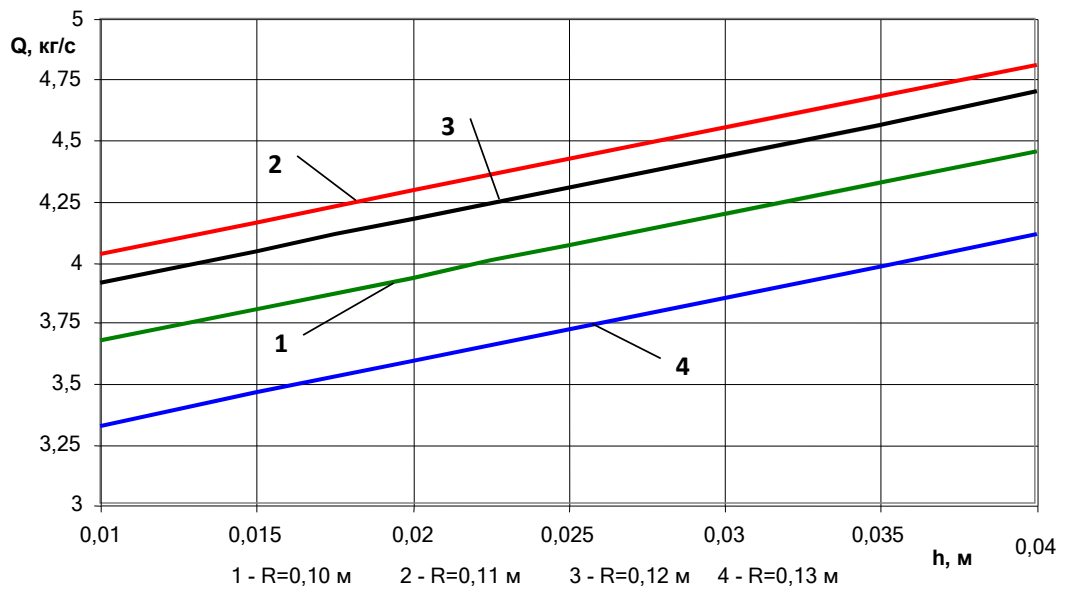


Рисунок 4.14 – Залежність продуктивності гвинтового змішувача  $Q$ , кг/с зі шторкою від товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозуються на змішування при різному внутрішньому радіусі кожуха  $R_k$

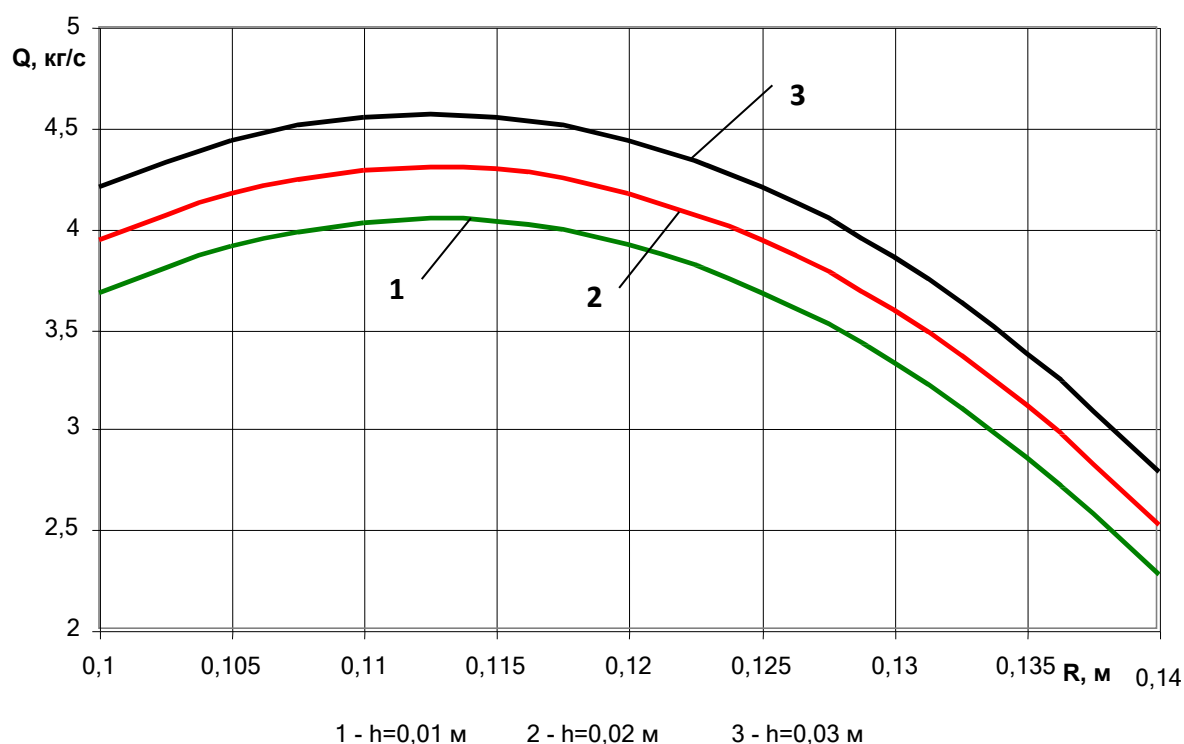


Рисунок 4.15 – Залежність продуктивності змішувача  $Q$ , кг/с зі шторкою від внутрішнього радіуса кожуху надгвинтового простору  $R_k$

На підставі аналізу рис.4.6 - 4.15 приймаємо, що оптимальним режимом роботи гвинтового змішувача зі шторкою є наступні параметри: частота обертання гвинта  $\omega = 55...60 \text{ с}^{-1}$ , довжина зони дозування контрольного компоненту  $0,14...0,16 \text{ м}$ , радіус кожуху надгвинтового простору  $0,11...0,12 \text{ м}$ . При цьому продуктивність змішувача зі шторкою склала  $Q = 3,3...3,8 \text{ кг/с}$  при коефіцієнті неоднорідності суміші  $v = 3,7...3,8 \%$ . Все це забезпечується внесенням сипучих компонентів, що дозуються на змішування за допомогою шторки тонкими шарами товщиною  $h = 0,015...0,030 \text{ м}$ .

### 4.3. Визначення вмісту контрольного компоненту в суміші комбікорму

Для отриманих конструктивно-технологічних параметрів процесу тонкошарового динамічного змішування сипучих компонентів комбікормів

проведемо експеримент по визначенню вмісту контрольного компоненту в суміші комбікорму. За контрольний компонент було обрано пшоно з розміром часток до 2 мм. Пшоно дозували у суміш в об'ємі 10% від маси суміші (подрібнене зерно пшениці з розміром часток менше 3 мм).

Межі варіювання факторів вказані в таблиці 4.5, матрицю експерименту наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.5

Межі варіювання факторів визначення вмісту контрольного компоненту в суміші комбікорму

Фактори	Межі варіювання факторів			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
$X_1$ – частота обертання гвинта $\omega$ , $c^{-1}$ ;	50	60	70	10
$X_2$ – товщина шару дозування $h$ , м	0,015	0,02	0,025	0,005

Таблиця 4.6

Матриця планування експерименту

$N_0$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$y_{i1}$	$y_{i2}$	$y_{i3}$	$\bar{y}_i$	$S_i^2$
1	+1	+1	+1	+1	8,11	8,07	8,16	8,11	0,002
2	+1	-1	+1	-1	7,82	7,68	7,89	7,8	0,011
3	+1	+1	-1	-1	8,84	8,69	8,92	8,82	0,014
4	+1	-1	-1	+1	8,10	7,92	8,33	8,12	0,042
$\Sigma$								0,07	

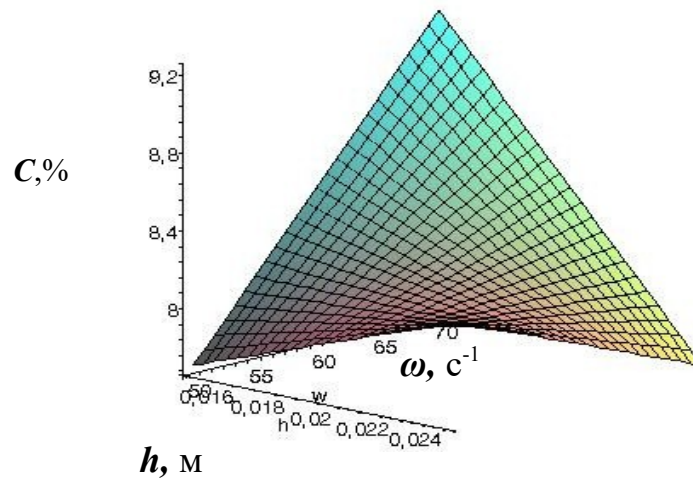


Для лінійної моделі одержимо кореляційну матрицю, що характеризує вплив факторів на результуючу ознаку (таблиця 4.7).

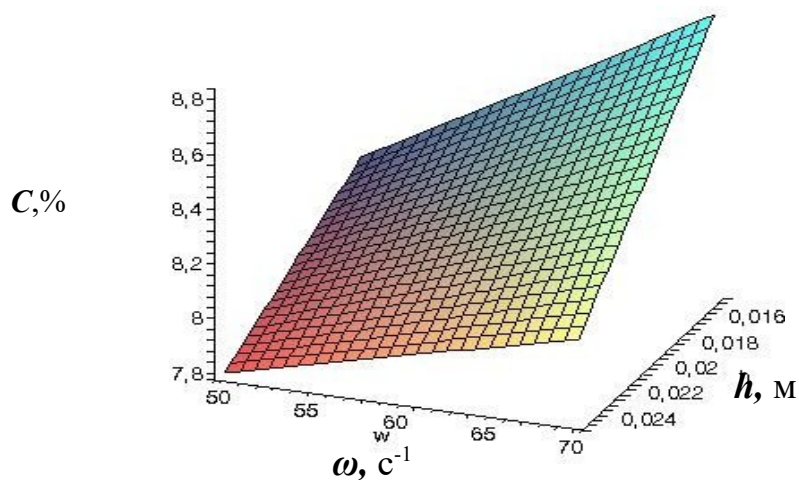
Таблиця 4.7

Кореляційна матриця

	x1	x2	Y
x1	1,00	0,00	0,68
x2	0,00	1,00	-0,69
Y	0,68	-0,69	1,00
Середнє	60,00	0,02	8,21
Ст. відхилення	11,547	0,01	0,43
Кількість	4		



а)



б)

Рисунок 4.16 – Поверхня відгуку залежності вмісту контрольного компонента в суміші комбікорму  $C, \%$

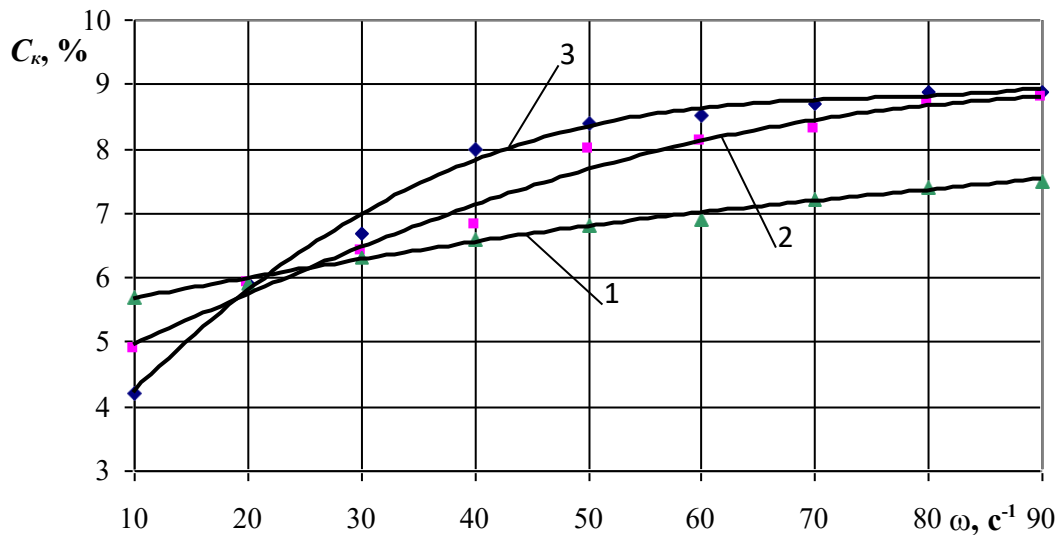


Рисунок 4.18 – Залежність вмісту контрольного компонента в суміші комбікорму  $C$ , % від частоти обертання гвинта  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ : 1 –  $h=30$  мм; 2 –  $h=20$  мм; 3 –  $h=10$  мм

Аналіз рівняння (4.13) та графічних залежностей дозволяє зробити висновок, що по  $\omega$  області оптимуму практично немає. Але видно, що при значеннях частоти обертання гвинта змішувача понад  $60 \text{ с}^{-1}$  вміст контрольного компонента в суміші комбікорму практично не змінюється і залишається на рівні  $8,8...8,9\%$ . З ростом товщини шарів  $h$  сипучих компонентів, що дозуються на змішування вміст контрольного компонента в суміші у зоні оптимізації при  $\omega = 55...60 \text{ с}^{-1}$  спочатку зростає, а потім поступово знижується.

З рис. 4.16...4.18 бачимо, що при частоті обертання гвинта змішувача  $\omega = 55...60 \text{ с}^{-1}$  та товщини шарів дозування сипучих компонентів комбікорму  $h = 0,02...0,025$  м вміст контрольного компонента в готовій суміші складає  $C = 8,3...8,9 \%$ , що знаходиться у межах зоотехнічних вимог.

#### 4.4. Результати впливу розрідження у зоні дозування на параметри роботи гвинтового змішувача

Досліди проводили на зерні пшениці, ячменю, проса при його вільному витіканні з бункера без обертання гвинта.

Установлено також вплив цього розрідження на витрату зерна з бункера (таблиця 4.8) при режимах без шторки та зі шторкою. Для чого в ньому на висоті 50 мм від вивантажувального вікна в похилій стінці насадка були просвердлені 10 отворів діаметром 3 мм для додаткової подачі повітря в бункер при його розвантаженні.

Таблиця 4.8

Порівняльні дані по витрату зерна з експериментального бункера для варіантів роботи його без шторки та зі шторкою

Зерновий матеріал	Умовний діаметр частин, мм	Витрата зерна, кг/с		Різниця витрат, %
		без шторки	зі шторкою	
Просо	1,9	1,08	1,21	12,1
Пшениця	3,7	0,95	1,14	20,0
Ячмінь	4,3	0,84	0,99	17,8

Аналіз цих даних показує можливість підвищення витрати зернових матеріалів з бункера подачею в зону утворення склепінь додаткового повітря атмосферного тиску. Це збільшення може скласти від 12,1% для проса до 20% для пшениці.

Поява розрідження в зоні утворення склепінь у бункері може бути внаслідок недостатньої пропускної здатності пор у зерновому матеріалі. У випадку герметично закритого зверху бункера величина розрідження в підсклепному просторі збільшується. У таблиці 4.9 та на рис. 4.19 приведені дані про величину вакууму в ньому в залежності від ступеня наповнення бункера зерном.

Таблиця 4.9

Значення розрідження в підсклепному просторі бункера, герметично закритого кришкою, при розвантаженні в залежності від ступеня заповнення його зерном (пшениця), варіант зі шторкою

Кількість зерна у бункері, л	Ступень заповнення бункера зерном, %	Величина розрідження, Па		Різниця, %
		Експериментальна	розрахункова	
15	100	90,0	107,9	19,8
10	67	70,5	75,3	6,8
5	33	50,0	54,9	6,5
2	13	47,5	50,4	6,1
1	7	46,5	48,6	4,5

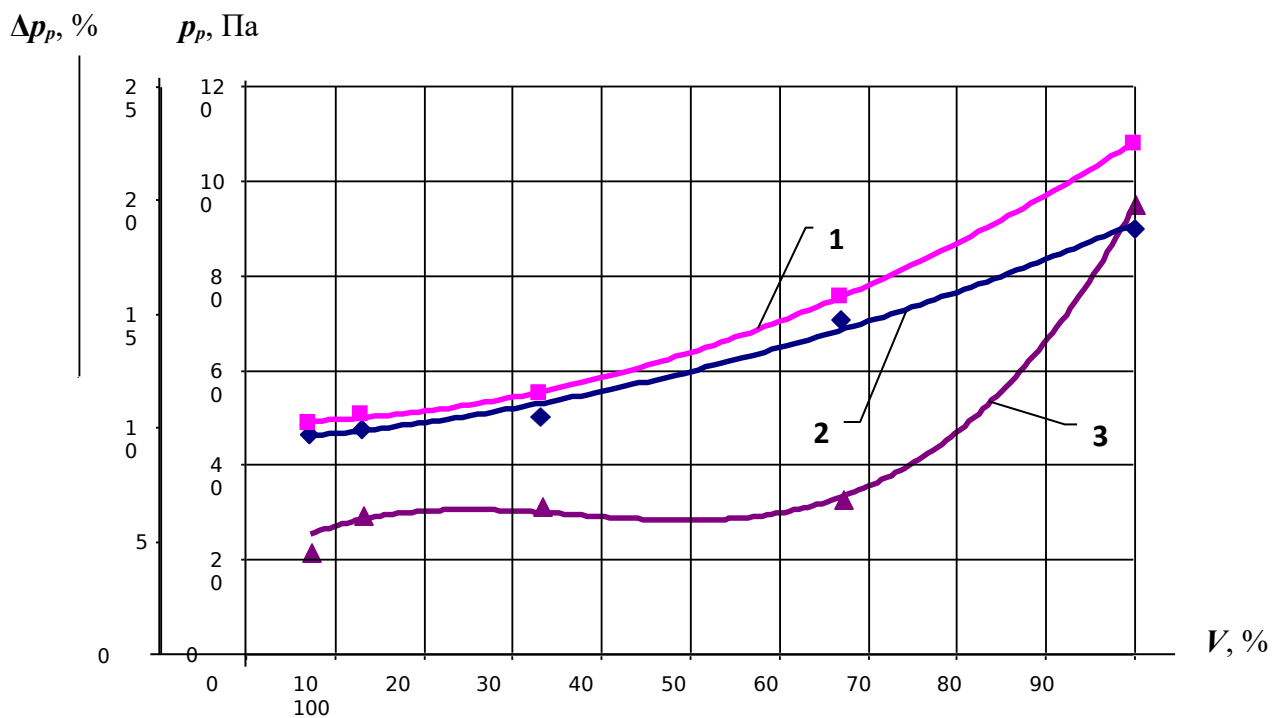


Рисунок 4.19 – Залежність величини розрідження  $p_p$ , Па від ступеня заповнення бункера зерном: 1 – розрахункова величина розрідження; 2 – експериментальна величина розрідження; 3 – різниця значень розрахункового та експериментального розрідження, %

Найбільше розрідження в зоні розвантажувального вікна (50 мм від його краю) спостерігалось при 100 %-ому наповненні бункера, найменше – при 7 %-ому наповненні. Порівняння теоретичних значень розрідження з експериментальними показує, що в основній зоні роботи бункера (при наповненні 10 – 70%) вони відрізняються на 4 – 12 %. що досить для виробничих розрахунків у процесі проектування бункерів і їхніх розвантажувальних пристроїв.

Як правило, теоретичні значення вакууму вище експериментальних, що пояснюється не тільки значною похибкою тензовимірювань величини розрідження (близько 5%), але і тим, що в зоні випуску зерно, що витікає, має трохи більшу пористість, чим нерухомий його шар.

З вищесказаного можна зробити висновок, що витікання сипучих компонентів з бункерів дозаторів приводить до утворення деякого розрідження близько 50...60 Па в зоні дозування. Установка шторки в зоні дозування сприяє збільшенню розрідження до 100...120 Па. Це зв'язано з тим, що шторка утворює спрямований тонкий шар сипучого компонента в зону псевдозрідження, що сприяє, у свою чергу, підвищенню розрідження в зоні дозування.

З метою визначення впливу кінематичних (частоти обертання гвинта) і конструктивних (наявність або відсутність шторки) параметрів гвинтового дозатора на величину розрідження в зоні дозування були проведені дослідження по дозуванню пшениці при ступені заповнення бункера не менше 67% (це найменша різниця розрахункового та експериментального значення розрідження при максимальному заповненні бункера).

На рис. 4.20 показана залежність величини розрідження  $P_p$ , Па в зоні дозування від частоти обертання гвинта  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ .

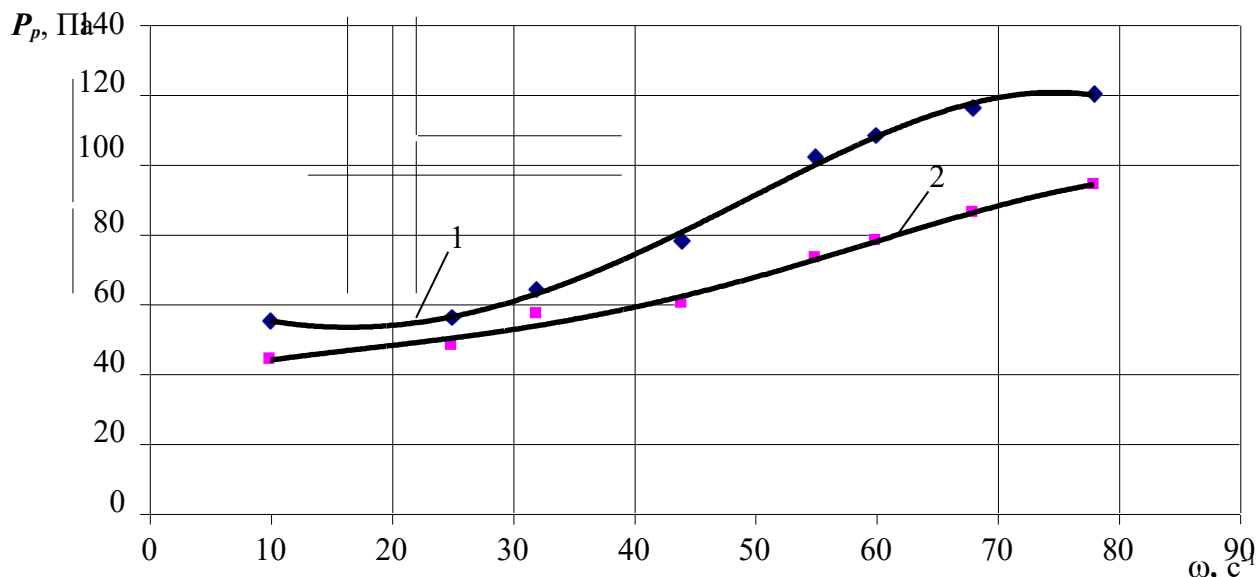


Рис. 4.20. Залежність величини розрідження  $P_p$ , Па в зоні дозування від частоти обертання гвинта  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ : 1 – зі шторкою; 2 – без шторки. Заповнення бункеру 67% (пшениця)

Аналіз рис. 4.20 показує, що наявність шторки в зоні дозування сприяє підвищенню розрідження (крива 1) у порівнянні з роботою змішувача без шторки в зоні дозування (крива 2). Зі збільшенням частоти обертання гвинта до  $25 \text{ с}^{-1}$  розрідження росте дуже повільно, потім відбувається різкий ріст величини розрідження в 1,5...2,0 рази і досягає максимального значення при частоті обертання гвинта  $70 \text{ с}^{-1}$ . Потім ріст величини розрідження практично припиняється на відмітці 118..120 Па. Аналізуючи криву 2 (рис. 4.20) бачимо, що розрідження у зоні дозування без шторки зростає постійно зі збільшенням частоти обертання гвинта. Однак значення розрідження у зоні дозування без шторки на 15...20% нижче за розрідження зі шторкою.

Тому, виходячи з рис. 4.20, оптимальними конструктивно-кінематичними параметрами гвинтового змішувача можна прийняти наступні: максимальне значення розрідження в зоні дозування до 120 Па забезпечує наявність шторки при частоті обертання гвинта до  $70 \text{ с}^{-1}$ .

## Висновки

Аналіз результатів дослідів, наведених на рис. 4.3 показали, що зі збільшенням потужності змішувача коефіцієнт неоднорідності суміші спочатку зменшується, досягає мінімуму, а потім зростає. Його помітне підвищення починається, коли залежність роботи змішувача наближається до максимального значення. Крім того, найменший коефіцієнт неоднорідності суміші не збігається з максимальною продуктивністю, а трохи зміщений вліво. Мінімальне значення коефіцієнта неоднорідності суміші 4,4 ... 4,5% відповідає режиму обертання змішувального шнека 55 ... 60 с<sup>-1</sup>, а максимальна його продуктивність 4,0 ... 4,1 кг/с. Максимальна продуктивність змішувача 4,10 ... 4,22 кг/с, частота обертання змішувального шнека 62 ... 68 с<sup>-1</sup>, але коефіцієнт неоднорідності суміші вже 4,6 ... 4,9%.

Приймаємо компромісне рішення і вибираємо максимальну продуктивність змішувача 4,0...4,1 кг/с при частоті обертання змішувального шнека 55...60 с<sup>-1</sup> і коефіцієнті неоднорідності суміші 4,4.. .4,5%.

На основі аналізу рис. 4.1 - 4.4 вважаємо, що найбільш оптимальним режимом роботи шнекового змішувача є також такі параметри: довжина зони дозування контрольного компонента  $L = 0,13...0,17$  м (рисунок 4.4 при максимальній продуктивності 4,6). ...4,7 кг/с).

Перевірка адекватності теоретичних і експериментальних досліджень залежності роботи шнекового змішувача від експериментальних даних і теоретичних даних, визначених за формулою (2.65), показала, що значення експериментального і теоретичного ККД знаходяться в інтервалі оптимальності для частоти обертання змішувального шнека, що дорівнює 55 і 60 с<sup>-1</sup>, приймаються значення відповідно 4,6 і 4,42 і 4,88 і 4,82 кг/с. При цьому похибка становить 1,2...3,9%, що знаходиться в межах 5% похибки інженерних досліджень.

На основі аналізу рис. 4.6 - 4.18 вважаємо, що найбільш оптимальним режимом роботи шнекового змішувача із завісою є наступні параметри: частота обертання шнека 55 ... 60 с<sup>-1</sup>, довжина зони дозування 0,14. ..0,16 м,

радіус кожуха надшнекового простору 0,11...0,12 м. При цьому продуктивність шторного змішувача 3,3 ... 3,8 кг/с з коефіцієнтом неоднорідності суміші 3,7...3,8%. Все це забезпечується введенням сипучих компонентів, які дозуються для змішування за допомогою завіси тонкими шарами товщиною 0,02 ... 0,025 м, при цьому зміст контрольного компонента в кормових сумішей 8,3...8,9%, що відповідає зоотехнічним вимогам.

Установка завіси в шнековому просторі викликає утворення розрідження до 100 ... 120 Па в зоні дозування, що в свою чергу сприяє підвищенню рівномірності дозування сипучих компонентів



## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Техніка безпеки технологічного процесу**

Контроль за виконанням заходів з охорони праці покладається на інженера з охорони праці. На відповідальних осіб покладається усунення недоліків, забезпечення безпечних умов праці, проведення нарад на підставі нормативних документів та відповідальність за порушення вимог охорони праці. На високому рівні ведеться пропаганда і агітація за охорону праці в господарстві. Усі виробничі дільниці мають відповідну документацію та куточки з охорони праці.

Працівник повинен бути ознайомлений з вимогами інструкції. Тільки при високій трудовій і виробничій дисципліні, точному виконанні вимог інструкцій можна забезпечити безпеку при роботі і зберіганні машин і устаткування. Особи, які порушили вимоги інструкції, притягуються до відповідальності згідно з правилами внутрішнього розпорядку господарства, крім випадків, коли порушення вимог тягне за собою кримінальну відповідальність.

### **5.2 Небезпечні та шкідливі фактори, які можуть впливати на працівника**

Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі машини та механізми; заготовки, що рухаються;
- підвищена запиленість повітря в робочому приміщенні;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена температура повітря в робочій зоні;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена рухливість повітря;

- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищена яскравість світла;
- гострі кромки, грані та шорсткості на поверхнях обладнання.

Хімічно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- продукти згоряння палива;
- добрива;
- суміш гербіцидів.

Біологічно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- патогенні мікроорганізми, бактерії, віруси, гриби та продукти їх життєдіяльності, які пошкоджують рослину та викликають захворювання;
- шкідливі комахи, а також шкідники.

Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- фізичні перевантаження - статичні та динамічні;
- нервово-психічні перевантаження - монотонність праці.

### **5.3 Рекомендації щодо виробництва**

Для покращення стану охорони праці в господарстві необхідно:

1. Здійснювати посилений контроль за виконанням правил техніки безпеки;
2. Підвищити вимоги до безпосередніх керівників підрозділів для працівників, які не користуються засобами індивідуального захисту;
3. Не допускати використання несправних машин, приладів та інструментів;
4. Стежити за утриманням машин, механізмів, обладнання, ретельно перевіряти їх придатність і справність перед початком роботи;
5. Не допускати проведення робіт без застосування індивідуальних засобів захисту рослин;
6. Не допускати порушень правил техніки безпеки.

Ці рекомендації дозволяють зменшити травматизм і захворювання працівників і дають можливість підвищити продуктивність праці.

## 5.4 Створення карти контролю показників безпеки

Відповідно до вимог обладнання, що надається на перевірку, має бути укомплектованим та справним.

Робоче місце має бути обладнане та обладнане відповідно до виявлених відхилень за показниками безпеки.

При складанні карти робоче місце умовно поділяють на вісім технічних систем: 1 - технологічна; 2 - механічні зв'язки; 3 - рухома; 4 - кермувальна; 5 - гальмівна 6 - енергетична; 7 - операторська; 8 - захисту. Кожну з них можна розділити на підсистеми. На практиці при здійсненні контролю елементи цих систем групуються за місцем розташування, що полегшує контроль і дає можливість його більш швидкого здійснення. У цьому випадку в процесі керування установкою за параметрами безпеки достатньо виділити 8 таких локалізованих груп.

Під час огляду обладнання перевіряється стан, монтаж, робота та працездатність усіх технічних систем за показниками безпеки.

Технологія розробки логіко-імітаційної моделі небезпек на виробництві.

Небезпечна зона (ГОСТ 12.0.002-80) - це приміщення, в якому можливий вплив на працівника небезпечного і (або) шкідливого виробничого фактору.

Постійні небезпечні зони існують або виникають у ланцюгових, пасових і зубчастих передачах, поблизу робочих органів багатьох сільськогосподарських машин, під машинами і платформами.

Під час роботи людина може потрапити в небезпечну зону через відсутність необхідних огорож, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків і написів, порушення відповідних правил, помилку або нещасний випадок. При цьому існує ймовірність дії небезпечного виробничого фактору. Будь-яка дія, яка змушує людину проникнути в небезпечну зону, позначається як небезпечна.

Всебічне знання обставин, які спричинили нещасний випадок або можуть призвести до нещасного випадку, травми чи більш тяжких наслідків,

необхідні для поглибленого розуміння процесу виникнення, виникнення та виникнення небезпечних ситуацій – випадкових явищ, що передують виникненню травми або аварії.

Небезпечні умови можуть бути викликані помилками в конструкції машин, технологічного устаткування і процесів, низьким рівнем організації виробництва, недостатньою надійністю виробничого обладнання та ін. Їм належить пріоритетна роль у виникненні і виникненні виробничої шкідливості - певного стану, при якому існує реальна загроза нещасного випадку або травматизму. Це пояснюється тим, що навіть якщо на певному робочому місці є кілька небезпечних виробничих факторів, але жоден з них не має умов, за яких вони могли б діяти на людину, то реального ризику травматизму на цьому робочому місці немає. Інша справа, коли такі умови є, але працівник про них не знає. Процес виявлення небезпечних ситуацій у деяких випадках може бути досить складним, тому необхідно проводити спеціальні дослідження.

Аналіз небезпечних ситуацій, які існують або виникають безпосередньо на виробництві, показав, що в залежності від характеру експлуатації їх можна поділити на групи, які:

- для визначення стану або ступеня безпеки виробничого обладнання або окремого робочого місця (відсутність огорож рухомих частин або робочих органів, відсутність або некомплектність спеціальних технічних засобів безпеки: блокувальних пристроїв, сигналізаторів тощо), конструктивних дефектів окремих вузлів або машина та інші;

- спонукання працівника до помилок у процесі роботи (конструктивна недосконалість технологічного процесу машин або самої машини чи певного обладнання), низька кваліфікація працівника та рівень знань з охорони праці, відсутність належного контролю за дотриманням з регламентом. з положенням про охорону праці;

- створити можливість проникнення працівника в небезпечну зону (відсутність огорожі небезпечної зони та сигналізації про наближення до небезпечної зони, неналежна організація робочого місця тощо);

- викликати виникнення інших небезпечних станів (помилки в установці обертових роторів, деякі конструктивні помилки);

- безпосередньо викликають травмуючу ситуацію (наявність масляних плям на підлозі, неправильно організоване робоче місце, нерозумні способи експлуатації технологічного обладнання тощо);

- призвести до виникнення небезпечних дій (низький рівень професійної кваліфікації працівника та організації навчання з охорони праці, відсутність або неефективність контролю за охороною праці тощо).

У процесі вивчення небезпечних умов було встановлено, що при їх збігу (поєднанні) з обставинами, в яких опинився працівник після вчинення небезпечних дій, виникає реальна загроза травмування, будемо називати це небезпечною ситуацією, яка виникає при збігаються умови і обставини

Поняття «надзвичайна ситуація» близьке до поняття «небезпечна ситуація», але їх необхідно розрізняти, оскільки наслідком небезпечної ситуації є травма, а наслідком надзвичайної ситуації є нещасний випадок. Якщо люди постраждали внаслідок аварії технічної системи, сама травма повинна розглядатися як подія, що стала наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами є як машина (технічний пристрій), так і людина. Якщо під час роботи таких систем виникла несправність машини (технічного пристрою), яка раптово припинила роботу, внаслідок руйнування окремих частин або самої машини, і це спричинило великі матеріальні збитки, таке випадкове явище слід назвати нещасним випадком.

Ушкодженням вважається будь-яке порушення анатомічної цілісності організму або його функцій внаслідок дії на людину будь-якого небезпечного фактору. Незалежно від виду та тяжкості ушкодження це поняття не змінює свого змісту.

Оскільки такі явища, як травми, аварії та катастрофи під час роботи людино-машинних систем, мають дуже близькі механізми походження та виникнення, ці явища, які можуть виникнути під час роботи.

## **Висновки**

Життя постійно вимагає створення та реалізації більш ефективної політики у сфері охорони праці, посилення впливу держави в цій сфері.

Ніхто не сумнівається, що без сильного державного контролю охорона праці не буде ефективною. У зв'язку з цим значно підвищується роль Національної комісії з нагляду за охороною праці, яка здійснює комплексне управління охороною праці в країні. Основою політики повинні бути три непорушні істини: роботодавець має бути переконаний у необхідності заходів безпеки на виробництві; роботодавець повинен знати методи реалізації цих заходів; жодна компанія не повинна отримати користь від заходів з охорони праці.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

### 6.1 Вихідні дані

У даному розділі визначається передбачувана економічна ефективність застосування розробленого змішувача сипких кормів. Порівняння економічних показників розробленого та наведеного змішувачів проведемо за питомими експлуатаційними витратами, П, грн./т., без прив'язки до конкретних об'ємів змішування. Розрахунки будемо проводити для однозмінної роботи. Вихідні дані для розрахунку зводимо в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Вихідні дані до розрахунку техніко економічних показників

Показник	Варіанти	
	МКК – 1,5	розроблений змішувач
Продуктивність, т/год.	3,7	4,1
Потужність, кВт	3,0	2,2
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Тривалість зміни, год.	8	8
Строк служби, років	10	10
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,10	0,10
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт	0,14	0,14
Балансова вартість, грн.	51000	-
Капітальні вкладення, грн.	-	46800

Переваги експериментального змішувача перед серійним:

- економія електроенергії за рахунок зниження питомої енергоємності процесу змішування;
- зниження трудомісткості технічного обслуговування за рахунок удосконалення конструкції та зменшення матеріалоємності.

## 6.2 Питомі експлуатаційні витрати

Питомі експлуатаційні витрати розрахуємо за виразом

$$\Pi = \Pi_3 + \Pi_a + \Pi_T + \Pi_e, \text{ грн./т} \quad (6.1)$$

де  $\Pi_3$  – питомі експлуатаційні витрати на виплату обслуговуючому персоналу заробітної плати, грн./т;

$\Pi_e$  – питомі витрати на електроенергію, грн./т;

$\Pi_a$  – питомі амортизаційні відрахування, грн./т;

$\Pi_T$  – питомі витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання, грн/т.

Питомі експлуатаційні витрати на заробітну плату визначимо з виразу

$$\Pi_3 = \frac{n \cdot f \cdot \delta}{Q}, \text{ грн./т} \quad (6.2)$$

де  $n$  – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.

$f$  – годинна тарифна ставка одного працівника, грн./год. Мінімальна заробітна плата,  $У$  2022 році, складає у місячному розмірі – 6700 грн., у погодинному розмірі – 39,20 гривень, тому приймаємо  $f = 39,20$  грн./год.;

$\delta = 1,22$  – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

$Q$  – продуктивність змішувача, т/год (табл. 6.1).

За формулою (6.2) за варіантами маємо

базовий

$$\Pi_{3,b} = \frac{1 \cdot 39,20 \cdot 1,22}{3,7} = 12,92 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$\Pi_{3,e} = \frac{1 \cdot 39,20 \cdot 1,22}{4,1} = 11,66 \text{ грн./т}.$$

Питомі витрати на енергоресурси визначимо за формулою



$$P_e = \frac{N \cdot c_e}{Q}, \quad (6.3)$$

де  $N$  – потужність приводу змішувача, кВт.

$c_e = 2,92$  грн/кВт·год. – вартість електроенергії.

Тоді за формулою (6.6) маємо за варіантами:

базовий

$$P_{e.б} = \frac{3,0 \cdot 2,92}{3,7} = 2,37 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$P_{e.е} = \frac{2,2 \cdot 2,92}{4,1} = 1,57 \text{ грн./т}.$$

Питомі амортизаційні відрахування підраховуємо за формулою

$$P_a = \frac{\alpha \cdot B \cdot K}{Q}, \text{ грн./т} \quad (6.4)$$

де  $B$  – балансова вартість змішувача, грн.

$\alpha$  – нормований коефіцієнт відрахувань, %.

$K$  – коефіцієнт використання засобів механізації, який розраховують за формулою:

$$K_a = \frac{t_{фак}}{t_{пл} \cdot 365}, \quad (6.5)$$

де  $t_{фак}$ ,  $t_{пл}$  – відповідно річне фактичне та планове навантаження машини;

Приводимо коефіцієнт використання засобів механізації до 1 години при однозмінній роботі протягом року.

$$K_a = \frac{1}{8 \cdot 365} = 0,00034$$

Тоді за формулою (6.4) маємо за варіантами базовий

$$П_{аб} = \frac{0,10 \cdot 51000 \cdot 0,00034}{3,7} = 0,47 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$П_{ан} = \frac{0,10 \cdot 46800 \cdot 0,00034}{4,1} = 0,39 \text{ грн./т.}$$

Питомі відрахування на ремонт і технічне обслуговування техніки обчислюють за виразом

$$П_{\alpha} = \frac{\beta \cdot B \cdot K}{Q}, \text{ грн./т} \quad (6.6)$$

де  $\beta$  – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт змішувача, %.

Тоді з (6.6) за варіантами маємо

базовий

$$П_{тоб} = \frac{0,14 \cdot 51000 \cdot 0,00034}{3,7} = 0,65 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$П_{тон} = \frac{0,14 \cdot 46800 \cdot 0,00034}{4,1} = 0,54 \text{ грн./т.}$$

Згальні питомі експлуатаційні витрати (6.1) за варіантом складуть:

базовий

$$П_{\delta} = 12,92 + 2,37 + 0,47 + 0,65 = 16,41 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$П_{\pi} = 11,66 + 1,57 + 0,39 + 0,54 = 14,16 \text{ грн./т}$$

Економія питомих експлуатаційних витрат при впровадженні розробленого експериментального змішувача:

$$E_e = \Pi_6 - \Pi_n = 16,41 - 14,16 = 2,25 \text{ грн/т.} \quad (6.7)$$

Строк окупності експериментального змішувача при його впровадженні можна визначити наступним чином:

$$T = \frac{B_e}{P \cdot E_e}, \text{ роки} \quad (6.8)$$

де  $P$  – річний об'єм робіт, т.

Визначимо річний об'єм робіт експериментального змішувача при різному ступені його завантаження:

$$P = \frac{Q \cdot k_{вз} \cdot t_{зм} \cdot D \cdot i_{зав}}{100}, \text{ т} \quad (6.9)$$

де  $k_{вз}$  – коефіцієнт використання часу зміни,  $k_{вз} = 0,9$ .

$i_{зав}$  – ступінь завантаження змішувача, %.

Тоді при завантаженні на 100 відсотків

$$P = \frac{4,1 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 365 \cdot 100}{100} = 10777 \text{ т.}$$

$$T = \frac{46800}{10777 \cdot 2,25} = 1,93 \text{ роки.}$$

### 6.3 Питомі приведені витрати

Питомі приведені витрати розраховують за таким виразом

$$III = II + \frac{B}{P} E, \text{ грн./т} \quad (6.10)$$

де  $E = 0,15$  – нормований коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Розрахуємо питомі витрати за базовим та проектним варіантом за формулою (6.10) при завантаженні на 100 відсотків

базовий

$$II_{\text{б}} = 16,41 + \frac{51000}{10777} \cdot 0,15 = 17,12 \text{ грн./т;}$$

розроблений

$$II_{\text{р}} = 14,16 + \frac{46800}{10777} \cdot 0,15 = 14,81 \text{ грн./т.}$$

Усі показники економічної ефективності зведемо в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Показники економічної ефективності розробленого змішувача

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Продуктивність, т/год.	3,7	4,1
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Балансова вартість, грн.	51000	-
Капітальні вкладення, грн.	-	46800
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	16,41	14,16
в т.ч.: заробітна платня	12,92	11,66
витрати на електроенергію	2,37	1,57
амортизаційні відрахування	0,47	0,39
витрати на ТО та ремонт	0,65	0,54
Максимальне річне навантаження, т	-	10777
Економія питомих експлуатаційних витрат, грн./т	-	2,25
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	24894,87
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	1,93

Розрахуємо річний економічний ефект від впровадження у виробництво запропонованого нами варіанту при завантаженні на 100 відсотків

$$E = (\text{ПП}_в - \text{ПП}_п)P = (17,12 - 14,81) \cdot 10777 = 24894,87 \text{ грн.} \quad (6.11)$$

## **Висновки**

Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовою конструкцією змішувача, він має переваги за експлуатаційними витратами, переважно за рахунок зменшення енергоємності. При цьому строк окупності при впровадженні при завантаженні на 100 % складе 1,93 роки.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Аналіз технологічних схем змішувачів сипучих матеріалів безперервної дії показав, що поєднання вузлів дозування, змішування та транспортування в одному механізмі із спільним робочим органом у вигляді швидкісного шнекового конвеєра з тонкошаровим завантаженням компонентів у змішувач дозволяє істотно поліпшити якісні показники змішувача.

2. На основі системного підходу з використанням теорій подібності, моделювання та ймовірності розроблено методику дослідження процесу змішування сипких компонентів у швидкісному шнековому змішувачі, яка включає створення підсистем: дослідження процесу; дослідження машин і обладнання; дослідження кормової суміші та визначення внутрішньої сутності, якою є процес тонкошарового динамічного змішування компонентів суміші.

3. Визначено умови подібності та співвідношення масштабних коефіцієнтів, за якими можна здійснити перехід від фізичної моделі до математичної, а потім до натуральної моделі змішувача з використанням лінійного масштабного коефіцієнта, яка не повинна перевищувати 30, при співвідношенні довжини моделі змішувальної камери та її діаметра 2...3.

4. Теоретичними дослідженнями встановлено залежність між місткістю бункера-дозатора та шнекового змішувача, яка складається з необхідності організованої та рівномірної подачі тонких шарів компонентів для змішування, та формою робочої поверхні (у вигляді параболи) корпусу шнекового простору змішувача в зоні завантаження.

5. Визначено координати осі підвісу завіси, яка розміщена в надшнековому просторі в зоні дозування компонентів, що забезпечує перетікання сипучих компонентів тонкими шарами в киплячу суміш. Наявність контрольної завіси означає введення додаткового коефіцієнта впливу завіси при визначенні теоретичної потужності змішувача, який коливається між 0,60 і 0,68.

6. Значення теоретично розрахованої та експериментально визначеної продуктивності при оптимальній частоті обертання змішувального шнека (525...575 об/хв) близьке до значення (4,6 і 4,42 і 4,88 і 4,82 кг/с), при цьому часу похибка не перевищує 4%, що свідчить про актуальність теоретичних та експериментальних досліджень.

7. За результатами дослідів визначено раціональні значення конструктивно-технологічних параметрів шнекового змішувача (діаметр шнека 0,22 ... 0,24 м; радіус кожуха надшнекового простору 0,11 м). ... 0,12 м; товщина дозованих шарів сипучих компонентів - 20 ... 25 мм), що забезпечує максимальну продуктивність змішувача (3,3 ... 3,8 кг/с) і якісне перемішування (коефіцієнт неоднорідності). суміші 3,7 ... 3,8%).

8. Ніхто не сумнівається, що без сильного державного контролю охорона праці не буде ефективною. У зв'язку з цим значно підвищується роль Національної комісії з нагляду за охороною праці, яка здійснює комплексне управління охороною праці в країні. Основою політики повинні бути три непорушні істини: роботодавець має бути переконаний у необхідності заходів безпеки на виробництві; роботодавець повинен знати методи реалізації цих заходів; жодна компанія не повинна отримати користь від заходів з охорони праці.

9. Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовою конструкцією змішувача, він має переваги за експлуатаційними витратами, переважно за рахунок зменшення енергоємності. При цьому строк окупності при впровадженні при завантаженні на 100 % складе 1,93 роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Діордієв В.Т. Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК. Сімферополь : ДОЛЯ, 2004. 138 с.
2. Миончинский П.Н. Производство комбикормов. М. : Агропромиздат, 1991. 214 с.
3. Чаусов С.В. Обоснование энергосберегающих режимов работы силового электрооборудования малогабаритных комбикормовых агрегатов: дис. ... канд. техн. наук. С.В. Чаусов Мелитополь, 2003. 226 с.
4. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. М. : Агропромиздат, 1987. 303 с.
5. Егоров Б.В. Комбикормовый комплект завод на модульной основе. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1990. №4. С. 28–29.
6. Погорілий Л.А., Ясенецький В.Х. Малогабаритні комбікормові агрегати за рубежом. Л.А. Погорілий, В.Х. Ясенецький. Техника АПК. 1997. №4. С. 6–7.
7. Черняв Н.П. Технология комбикормового производства. М. : Колос, 1992. 286 с.
8. Макаров Ю.И. Основы расчета процессов смешения сыпучих материалов, исследование и разработка смесительных аппаратов : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук. Ю.И. Макаров. М, 1975. 42 с.
9. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. Макаров Ю.И. М. : Машиностроение, 1973 216 с.
10. Кукта Г.М. Технологические и технические основы механизированных процессов приготовления кормов в условиях интенсификации животноводства : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук. Г.М. Кукта. К., 1980. 40 с.



11. Пахомов В.И. Обоснование и технологическое проектирование блочно-модульных внутрихозяйственных комбикормовых предприятий: дис. ... доктора техн. наук. В.И. Пахомов. зерноград, 2000. 440 с.
12. Дмитрів Д.В. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів малогабаритних кормозмішувачів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. Д.В. Дмитрів. Тернопіль, 2001. 20 с.
13. Гурик О.Я. Обґрунтування параметрів транспортерів-змішувачів сипких матеріалів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. О.Я. Гурик. Тернопіль, 2003. 17 с.
14. Месель-Веселяк В.Я. Развитие м'ясопродуктового підкомплексу України. В.Я. Месель-Веселяк, О.В. Мазуренко; під. ред. П.Т. Каблука. К. : ННЦ ІАЕ, 2004. 198 с.
15. Пашевкин О.Б. Оценка равномерности распределения ингредиентов в кормосмесях. Механизация и электрификация с.х. 1980. №3. С. 21–23.
16. Батунер Л.М. Математические методы в химической технике.: Госхимиздат, 1963. 284 с.
17. Фурса И.И. Определение показателя однородности неравновесных смесей. Сборник научных трудов. Механизация и электрификация сельского хозяйства. К. : Урожай, 1970. Вып. 14. С. 103–102.
18. Орлов Е.Л. Технический уровень оборудования для комбикормовой промышленности и перспективы его совершенствования. Обзорная информация ЦНИИТЭИ. Е.Л. Орлов, Ю.А. Саликов. М., 1991. 38 с.
19. Евсеенков С.В. Исследование процесса вибрационного смешивания сыпучих кормовых смесей : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук. С.В. Евсеенков Челябинск, 1980. 18 с.
20. Волик Р.Н. Технологическая надежность зерноочистительных машин и агрегатов : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук. Р.Н. Волик. Ленинград-Пушкин, 1983. 40 с.
21. Ревенко І. Комплексна оцінка варіантів приготування комбінованих кормів. І. Ревенко, Ю. Ревенко. Техніка АПК. 2000. № 11-12. С. 26 27.

22. Построение и анализ моделей смесителей комбикормов. И.С. Нагорский, А.Д. Селезнев, А.В. Гришков, В.В. Романюк. Техника в сельском хозяйстве. 2001. № 1. С. 9 12.
23. Нойешутц Д. Смесители нового поколения. Д. Нойешутц. Комбикорма. 2001. № 2. С. 34 35.
24. Саломатин Г. Каким должен быть смеситель. Г. Саломатин. Комбикорма. 2000. № 8. С. 27 28.
25. Шамов Н.Г. Механизация приготовления и раздачи комбикормов. Н.Г. Шамов, А.А. Уткин. М. : Россельхозиздат, 1973. 176 с.
26. Спірнін А.В. Оцінка на конкурентоздатність вібраційного змішувача. А.В. Спірнін, О.В. Цуркан. Вібрації в техніці та технологіях. Вінниця, 2004. №2. С. 70 72.
27. Кирпичников И.М. О возможности использования вибропитателей с электромагнитным приводом для смешивания кормов. И.М. Кирпичников, С.В. Евсеенков. Сборник научных трудов ЧИМЭСХ. Применение электромагнитных полей в процессах с.х. производства. Челябинск, 1986. С. 38 44.
28. Леонтьев П.И. Технологическое оборудование кормоцехов. Леонтьев П.И., Земсков В.И., Потемкин В.М. М. : Колос, 1984. 158 с.
29. Копейкин В.А. Разработка, создание методов расчета и внедрение смесителя с тонкослойным движением сыпучего материала : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук. В.А. Копейкин. Ярославль, 1984. 16 с.
30. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств. Остапчук Н.В. К. : Вища школа, 1981 304 с.
31. Гвоздєв В.О. Теорія імовірності, як спосіб визначення конструктивних параметрів гвинтового змішувача. В.О. Гвоздєв. Вісник аграрної науки Причорномор'я. Миколаїв: Миколаївський ДАУ, 2005. Вип.4(32). С. 187 194.
32. Гвоздєв В.О. Розрахунок апаратів для змішування сипких харчових

- продуктив.. В.О. Гвоздєв, О.В Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик. Праці Таврійської державної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2005. Вип.25. С. 25 37.
33. Гвоздєв В.О. Визначення параметрів швидкісного гвинтового змішувача. В.О. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик. Вісник Львівського ДАУ “Агроінженерні дослідження”. Львів, 2004. № 8. С. 236 242.
  34. Гвоздєв В.О. Моделювання системи «кормова суміш змішувач».. В.О. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2005. Вип. 34. С. 112 120.
  35. Алешкин В.Р Механизация животноводства. В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. М. : Агропромиздат, 1985. 336 с.
  36. Гвоздєв О.В. Теоретичне обґрунтування параметрів швидкохідних гвинтових дозаторів сипучих матеріалів. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2005. Вип. 25. С. 87 91.
  37. Механізація транспортуючих робіт. Ч. I : Транспортуючі машини з тяговим органом . М. В. Любін. Вінниця: ВДАУ, 2004. 217 с.
  38. 38. Механізація транспортуючих робіт. Ч. II : Транспортуючі машини без тягового органу . М. В. Любін. Вінниця: ВНАУ, 2010. 230 с.
  39. Любін, М. В. Токарчук О. А., Єленіч М. П. Розрахунки підймальних механізмів та машин. М. В. Любін,. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2013. 208 с.
  40. Любін М. В., Гунько І. В. Конвеєри з гнучким тяговим елементом: навч. посіб; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, ВНАУ. Київ: Хай-Тек Прес, 2012. 269 с.
  41. Чернілевський, Д. В. Технічна механіка: підруч. для студентів вузів. Кн. 4 : Деталі машин . Д. В. Чернілевський, В. С. Павленко, М. В. Любін ; за ред. Д. В. Чернілевського ; М-во освіти України. Навчально-методичний кабінет вищої освіти. Київ: НМКВО, 1992. 359с.
  42. Павленко В. С., Цуркан О. В., Кравченко І. Є., Любін М. В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання : навч. посіб; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, М-во аграр. політики і продовольства України, ВНАУ. Київ: Хай-Тек Прес, 2011. 139 с.
  43. Грицун А. В., Любін М. В. Машиновикористання в тваринництві.

Технологічний розрахунок молочнотоварної ферми (роздавання кормів, доїння корів, первинна обробка молока) : Методичні вказівки по виконанню курсового проекту для студентів факультету механізації сільського господарства денної і заочної форм навчання спеціальності 7.091.902 "Механізація сільського господарства" ..; Мво аграрної політики України, ВДАУ. Вінниця: ВВ ВДАУ, 2002. 35 с.

44. Розрахунок ліній кормоцеху : метод. вказ. до викон. курсової роботи з дисципліни "Машини та обладнання для тваринництва" для студ. ф-ту механіз. з напряму підготовки 6.100102"Процеси машини та обладнання агропромислового виробництва" . уклад. А. В. Грицун, В. М. Яропуд, О. М. Курнаєв ; М-во аграр. політики та прод. України, ВНАУ, Ф-т механіз. с.-г., Каф. с.-г. машин. Вінниця: ВНАУ, 2013. 42 с.
45. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. Шелофаст В.В. М.: Изд-во АПМ, 2000. 472 с.
46. Методологические основы исследований процесса приготовления кормов. Л.П. Карташов, А.П. Иванова, Л.В. Межуева, М.А. Васильева. Техника в сельском хозяйстве. 2005. № 3. С. 18 20.
47. Гвоздєв В.О. Методологічні основи дослідження процесу змішування сипучих компонентів. В.О. Гвоздєв. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2006. Вип.44. С. 54–58.
48. Пат. 21392 Україна, МПК (2006) B65G 33/00 A01K 5/00. Спосіб змішування сипучих компонентів. Гвоздєв В.О., Ялпачик Ф.Ю.; ТДАТА. № u 2006 10098 ; заяв. 21.09.06 ; публік. 15.03.07, Бюл. №3.
49. Ловейкін В.С. До розрахунку швидкохідних гвинтових конвеєрів./ В.С. Ловейкін, О.Р. Рогатинська. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2004. Вип.. 21. С. 130-141.
50. Гунько І.В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень. Гунько І.В., Спірін А.В., Холоднюк О.В. Вінниця : ВДАУ, 2006. 76 с.

## ДОДАТКИ