

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра інжинірингу технічних систем**

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

**Підвищення ефективності технологічного процесу  
приготування комбікормів**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-3-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Косолап Станіслав Олексійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Трипутень Микола Мусійович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Рівень вищої освіти: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
ІТС

(назва кафедри)

**ДОЦЕНТ**

(вчене звання)

**Дудін В.Ю.**

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«12» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Косолапу Станіславу Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Підвищення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів

керівник роботи: к.т.н., доцент Трипутень Микола Мусійович

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«12» листопада 2024 року № 3784

**2. Строк подання студентом роботи** 16.12.2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи** Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбікормів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)** 1. Актуальність питання. 2. Аналіз існуючих конструкцій дозаторів концентрованих кормів. 3. Аналіз процесу дозування матеріалів. 4. Експериментальні дослідження дозатора. 5. Охорона праці. 6. Техніко-економічна оцінка розробленого дозатора комбікорму. Загальні висновки. Бібліографічний список

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (4 аркуші, А4). 2. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4) 3. Охорона праці (1 аркуш, А4). 4. Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Трипутень М.М., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 26.09.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2024 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2024 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2024р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2024 р.	
5	Економічний	до 26.11.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2024р.	

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Косолап С.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Трипутень М.М.

(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Косолап С.О. Підвищення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів /Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Магістерська робота включає 6 розділів, зміст, вступ, висновки та пропозиції до проекту, бібліографічний список. Перший розділ «Актуальність питання дозування концентрованих кормів при приготуванні комбікормів» приведені загальні відомості про дозування сипких компонентів корму. Другий розділ «Аналіз існуючих конструкцій дозаторів» включає в себе огляд існуючих конструкцій дозаторів, їхні недоліки. Третій розділ присвячено аналізу процесу дозування сипких матеріалів. В четвертому розділі приведено запропоновану на основі аналізу існуючих досліджень - конструкцію дозатора, результати експериментальних досліджень процесу дозування сипких матеріалів. П'ятий розділ присвячено заходам з охорони праці та безпеці в аварійних ситуаціях. В шостому розділі приведена техніко-економічна оцінка та показана економічна доцільність запропонованих рішень.

Ключові слова: сипкі матеріали, комбікорм, кормоприготування, дозування, дозатор, гравітаційні сили.

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 Актуальність питання	10
1.1 Комбікорми і технології їх приготування	10
1.2 Дозування компонентів комбікорму	14
1.3 Мета і задачі досліджень	16
1.4 Висновки	18
2 Аналіз існуючих конструкцій дозаторів концентрованих кормів	19
2.1 Загальні положення	19
2.2 Стан справи в дозуванні сипучих матеріалів	19
2.3 Класифікація і аналіз засобів для дозування сипких матеріалів	22
2.4 Висновки	37
3 Аналіз процесу дозування матеріалів	38
3.1 Дозування і його коротка характеристика	38
3.2 Аналіз теоретичних досліджень процесів дозування сипких матеріалів	41
3.3 Основні напрямки по удосконаленню конструкцій дозаторів сипких кормів	48
3.3 Висновки	49
4 Експериментальні дослідження дозатора	50
4.1 Програма експериментальних досліджень	50
4.2 Матеріальне забезпечення	53
4.3 Фактори, які впливають на роботу дозатора	56
4.4 Постановка експерименту	56
4.4.1 Вибір математичної моделі	56
4.4.2 Планування експерименту	60
4.5 Висновки	66
5 Охорона праці	68

5.1 Загальні вимоги охорони праці при на комбикормових підприємствах	68
5.2 Проект інструкції з охорони праці при роботі з гравітаційним дозатором концентрованих кормів	69
5.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	71
5.4 Висновки	74
6 Техніко-економічна оцінка розробленого дозатора комбикорму	75
6.1 Вихідні дані	75
6.2 Розрахунок показників економічної ефективності	75
6.3 Висновки	77
Загальні висновки	78
Бібліографія	80
Додатки	83

## ВСТУП

Сучасне тваринництво висуває високі вимоги до якості кормів, які мають забезпечувати максимальну продуктивність та здоров'я тварин. Приготування комбікормів є одним із ключових етапів у виробничому процесі, що потребує високого рівня організації, точності та ефективності. Збалансований склад кормових сумішей, точне дозування інгредієнтів і рівномірне змішування є основними факторами, які визначають якість готового продукту та його відповідність зоотехнічним вимогам.

Сучасні технології приготування комбікормів стикаються з низкою проблем, серед яких нерівномірність дозування компонентів, зниження продуктивності обладнання та значні енергетичні витрати. Ці недоліки зумовлюють необхідність вдосконалення існуючих методів і засобів приготування кормових сумішей, спрямованих на підвищення точності дозування та рівномірності змішування, а також зменшення витрат енергоресурсів.

Одним із перспективних напрямків у вирішенні цих завдань є розробка нових конструкцій дозаторів-змішувачів, що забезпечують поєднання двох основних технологічних процесів - дозування та змішування. Зокрема, використання гравітаційних сил у конструкціях дозаторів дозволяє спростити технологічну схему, знизити енергетичні витрати та покращити рівномірність змішування компонентів кормової суміші.

Актуальність роботи полягає у необхідності підвищення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів шляхом розробки та впровадження інноваційних рішень у конструкціях дозуючих і змішувальних пристроїв. Це дозволить досягти стабільної якості готових кормів, відповідності їх рецептурам та зоотехнічним нормам, а також оптимізувати виробничий процес.

Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів шляхом удосконалення конструкцій дозуючих пристроїв та обґрунтування їх конструктивно-режимних параметрів.

У роботі передбачається проведення аналізу існуючих технологій



приготування комбікормів, обґрунтування нової конструкції дозатора-змішувача гравітаційного типу, теоретичне моделювання та експериментальне дослідження впливу конструктивних і режимних параметрів на якість дозування та змішування.

Результати дослідження матимуть практичне значення для вдосконалення технологічного процесу приготування комбікормів, що сприятиме підвищенню ефективності виробництва та конкурентоспроможності підприємств у галузі кормовиробництва.

## 1 Актуальність питання

### 1.1 Комбікорми і технології їх приготування

Головна роль комбікормів забезпечити тварину – всіма необхідними речовинами і поживними елементами. Підвищення ефективності утримання тварин неможливо без якісної організації повноцінної годівлі. При забезпеченні тварин повноцінними кормами, можна покращити здоров'я тварин, їхню здатність до продуктивного відтворення, підвищення продуктивності, а також високу якість продукції при мінімальних, обґрунтованих витратах кормів.

Комбікорм це – однорідна суміш, здрібнених до заданих розмірів, у відповідності до зоотехнічних вимог, складових компонентів, що відповідають, науково обґрунтованій рецептурі. Переважно комбікорм складається з зернової сировини на 80% і добавок і мікроелементів на 20%.

Кормові суміші, які є основою для збалансованого годування сільськогосподарських тварин, виготовляються з дотриманням суворих зоотехнічних вимог. Це забезпечує їхню якість, відповідність раціонам та максимальну ефективність використання в годівлі. Основними аспектами підготовки таких сумішей є:

- технологічне обладнання повинно працювати з оптимальною продуктивністю, забезпечуючи однорідність і необхідні фізико-хімічні властивості кормових сумішей.
- точність дозування компонентів: комбікорми- допустиме відхилення у межах  $\pm 1,5\%$ , соковиті корми - не більше  $\pm 3,5\%$ , рідкі складові -  $\pm 2,5\%$ , мінеральні добавки -  $\pm 1\%$ , стеблові корми:  $\pm 15\%$  через складність подрібнення та нерівномірну щільність, концентрати  $\pm 2\%$ .
- підчас змішування складові корму не повинні переподрібнюватися або перетворюватися в мезгу;
- складові компоненти суміші, перед змішуванням повинні бути

здрібнені: грубі корми і силосні до розміром 10...50 мм, коренеплоди - 10... 15 мм, концентрати - 1,0...1,8 мм;

- готова суміш не повинна отримати сторонні запахи і домішки, шкідливі для тварин;
- завантажувати компоненти кормосуміші - механізовано;
- підчас виконання процесів дозування і змішування необхідно дотримуватись правил техніки безпеки і санітарно-гігієнічних;
- обладнання повинно мати високу експлуатаційну надійність і бути простим в обслуговуванні;
- довговічність роботи;
- однорідність готової суміші повинна бути в межах 90...98%.

Наведені вимоги зоотехніки, з врахуванням існуючих раціонів і поголів'я тварин, є мінімальними даними для правильного вибору і розробки технології приготування кормових сумішей.

Якість корму залежить в основному від точності дозування і однорідності змішування, яка в свою чергу залежить від рівномірності подачі.

Все це пред'являє підвищені вимоги до завершальної операції приготування кормосумішей - змішування кормових компонентів. Змішувач кормів повинен не тільки згладжувати нерівномірність подачі компонентів, але і якісно перемішувати складові раціону.

Проте змішування всіх компонентів має певні особливості і потрібен ґрунтовний аналіз існуючих технологій дозування і змішування кормів, пошук раціональної конструкції агрегату змішувача, що забезпечує приготування кормосумішей, що відповідають вимогам зоотехніки і збереження енергії в сучасних умовах господарювання.

На сьогоднішній день в раціонах тварин частка комбікормів по поживній цінності у складі кормової суміші, складає: для великої рогатої худоби – 30...45%, для свиней – 60...90%, для птиці – 70...100%.

На сьогоднішній день існує велика кількість технологій приготування кормів – розроблених на основі наукових досліджень і практичного досвіду.

Технологічні процеси з виробництва комбікормів ґрунтовані на науково обґрунтованих нормах годівлі тварин і птиці і включають в себе перелік певних операцій, виконання яких в певній послідовності дає змогу отримати зі складових кормосуміші, компоненти якої суттєво відрізняється один від одного за механіко-технологічних властивостями, якісними показниками відповідно до заданої рецептури корму із задалегідь заданими і очікуваними параметрами. Спираючись на це комбікорм враховує вид тварин, їхню стать, вік, а також стан сільськогосподарських тварин і передумови їх годівлі.

Комбікорми є основним джерелом збалансованого харчування для сільськогосподарських тварин, що забезпечує їхні потреби в енергії, білках, жирах, мікро- та макроелементах. Сучасні технології приготування комбікормів орієнтовані на оптимізацію їхнього складу, покращення засвоюваності поживних речовин, підвищення ефективності виробництва та забезпечення екологічної стійкості. Одним із ключових аспектів є якість сировини, яка включає зернові культури, білкові добавки (соєвий шрот, соняшникова макуха), жири, мінерали та премікси. Правильний підбір сировини залежить від біологічних особливостей тварин, що годуються, а також економічної доцільності.

Одним із важливих етапів виробництва комбікормів є технологія подрібнення, яка забезпечує необхідний ступінь дисперсності корму для кращого засвоєння. Вибір методу подрібнення (молоткові млини, валкові дробарки) визначається типом сировини та вимогами до кінцевого продукту. Наступним етапом є змішування компонентів для забезпечення рівномірності розподілу поживних речовин у кормі. Використання сучасних змішувачів дозволяє досягти високої однорідності суміші за короткий час, що позитивно впливає на ефективність годівлі тварин.

Важливим етапом є гранулювання комбікормів, що дозволяє зменшити втрати корму, покращити його транспортабельність і тривалість зберігання. Для цього використовуються екструдери та гранулятори, які діють на сировину під тиском і високою температурою. Гранулювання також сприяє знищенню патогенів, покращуючи гігієнічні властивості корму. Крім цього, активно

впроваджуються технології екструзії, які дозволяють отримувати високоякісний продукт із поліпшеними органолептичними властивостями.

Інноваційні розробки в галузі комбікормів включають використання ферментів, пробіотиків і органічних кислот для підвищення ефективності засвоєння поживних речовин та підтримки здоров'я тварин. Автоматизація та цифровізація виробництва також значно впливають на його ефективність. Застосування сенсорних систем і програмного забезпечення дозволяє контролювати якість сировини, точність дозування та параметри технологічних процесів у реальному часі.

Значну увагу приділяють екологічним аспектам виробництва комбікормів. Використання відновлюваних джерел енергії, мінімізація відходів виробництва та впровадження замкнених циклів сприяють зменшенню впливу на навколишнє середовище. Також досліджуються способи переробки побічних продуктів агропромислового комплексу, таких як лушпиння, висівки, та органічних залишків для включення їх у рецептури комбікормів.

Таким чином, сучасні технології приготування комбікормів орієнтовані не лише на задоволення харчових потреб тварин, але й на забезпечення економічної та екологічної ефективності виробництва. Подальший розвиток галузі залежить від інноваційних підходів до вибору сировини, оптимізації технологічних процесів та впровадження цифрових технологій.

Приготування комбікормів відбувається на комбікормових підприємствах, чи на сільськогосподарських підприємства, що займаються виробництвом тваринницької чи птахівничої продукції. Усі процеси повинні відповідати зоотехнічним вимогам і нормативним документам та стандартам України[9].

В період останніх років утворилося багато дрібних і середніх підприємств, які розосереджені по всій території України, тому виготовлення комбікормів на великих підприємствах перестає бути рентабельним, якість отриманих кормів на таких підприємствах не відповідає сучасним жорстким вимогам до комбікормів. Другою причиною виробництва комбікормів безпосередньо в господарствах є те що комбікормові заводи України не в змозі повністю забезпечити тваринництво комбікормами, тому що загальна потреба в комбікормах складає 14,4 млн. т., а

комбікормові заводи виробляють лише 2,9 млн. т.

## 1.2 Дозування компонентів комбікорму

Наукові дослідження підтверджують, що точність дозування компонентів комбікормів значно впливає на їх ефективність. Дотримання рецептури дозволяє забезпечити рівномірний розподіл поживних речовин, підвищити продуктивність тварин та знизити втрати сировини. Введення мікродобавок, таких як мінеральні речовини або премікси, особливо критично, адже їх норми становлять лише 0,5–5% від загальної маси. Нерівномірне змішування призводить до втрат корму або надмірного використання добавок, що знижує економічну ефективність виробництва.

Ефективність дозування залежить від вибору обладнання. Наприклад, тарілчасті дозатори забезпечують високу точність при роботі з малими обсягами, тоді як шнекові дозатори підходять для більших партій, хоча можуть демонструвати похибку до 15%. Сучасні автоматизовані системи дозування дозволяють зменшити похибки і забезпечити відповідність міжнародним стандартам виробництва комбікормів. Підходи до технології включають поетапне введення компонентів, подрібнення, а також автоматичне змішування для досягнення однорідності готової суміші.

Підвищення точності дозування сприяє зниженню енерговитрат і підвищенню екологічності технології. Деякі дослідження наголошують на важливості постадійного змішування, особливо при використанні білково-вітамінно-мінеральних добавок, що забезпечує збалансованість

На виробництво комбікормів в Україні витрачається близько половини усього вироблюваного зерна. Зусиллями вітчизняних і зарубіжних вчених доведена велика практична вигода від якісного корму, а саме збільшення добових приростів, покращення поїдаємості кормів і зменшення непродуктивних витрат кормів.

Процес виробництва високоякісних комбікормів по суті є процес точного дозування та змішування різних по структурі і об'ємній вазі інгредієнтів, що входять до рецептури. Тому дозуванню і змішуванню надають виключне значення. Неточне дозування може призвести до порушення структури комбікорму та зниження його ефективності, а іноді й завдати шкоди тваринам.

Дозатори компонентів комбікорму є важливим елементом технологічного процесу їх приготування, оскільки вони забезпечують точність дозування та рівномірність розподілу компонентів у суміші. Сучасні конструкції дозаторів можна класифікувати за принципом дії на об'ємні, вагові, гравітаційні, шнекові, пневматичні та вібраційні. Кожна з цих конструкцій має свої переваги та недоліки, які визначають їх ефективність у певних умовах.

Об'ємні дозатори забезпечують точність дозування за рахунок постійного об'єму дозованих порцій. Їхніми перевагами є простота конструкції, надійність і низька вартість, однак точність може знижуватися через зміну сипучості чи вологості компонентів. Вагові дозатори, які працюють за принципом зважування компонентів, характеризуються високою точністю дозування незалежно від властивостей матеріалів. Проте їхній недолік – це складність конструкції, висока вартість та потреба в регулярному калібруванні.

Гравітаційні дозатори використовують принцип вільного потоку матеріалів під дією сили тяжіння. Вони прості у виготовленні, енергоефективні та підходять для матеріалів із гарною сипучістю. Однак рівномірність потоку і точність дозування залежать від властивостей сировини, зокрема її гранулометричного складу та кута природного укосу. Шнекові дозатори дозволяють працювати з матеріалами різної щільності та вологості, забезпечуючи високу рівномірність подачі. Недоліками є висока енергозатратність та необхідність технічного обслуговування через зношення шнекових елементів.

Пневматичні дозатори використовують стиснене повітря для транспортування та дозування компонентів. Вони забезпечують високу продуктивність і точність, особливо для дрібнодисперсних матеріалів, але потребують складного обладнання та значних енергетичних витрат. Вібраційні дозатори використовують вібраційні рухи для транспортування та дозування матеріалів. Їх переваги – це рівномірність подачі та можливість роботи з різними типами компонентів, однак вони можуть бути чутливими до змін характеристик матеріалів та створюють додатковий шум.

Таким чином, кожен тип дозаторів має свої специфічні переваги та недоліки, які враховуються під час вибору відповідного обладнання для приготування комбікормів. Найбільш перспективними для удосконалення є гравітаційні дозатори, які завдяки простоті конструкції та низькій енергоємності мають значний потенціал для підвищення точності дозування і рівномірності змішування.

### **1.3 Мета і задачі досліджень**

На основі аналізу сучасних технологій приготування комбікормів встановлено, що одним із найефективніших рішень для забезпечення вимог зоотехніки є використання гравітаційних дозаторів-змішувачів. Ці конструкції дозволяють забезпечити рівномірне змішування сипких компонентів, мінімізувати енергозатрати та зберегти якість вихідної сировини.

Основною метою роботи є підвищення якості змішування кормових сумішей шляхом використання дозатора гравітаційного типу з обґрунтуванням його конструктивно-режимних параметрів. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати кілька важливих завдань.

По-перше, слід розробити та обґрунтувати конструктивно-технологічну схему експериментального дозатора гравітаційної дії. Така схема має враховувати оптимальну геометрію змішувальної камери, шляхи руху компонентів та принципи гравітаційного транспортування для забезпечення



рівномірності змішування.

По-друге, необхідно провести теоретичні дослідження процесу дозування сипких матеріалів. Особлива увага приділяється обґрунтуванню основних конструктивних і режимних параметрів, таких як розміри завантажувальних і вивантажувальних отворів, кут нахилу змішувальної камери, швидкість потоку компонентів.

Третім кроком є виконання лабораторних досліджень, спрямованих на оцінку впливу конструктивно-режимних параметрів дозатора на якість змішування. Параметри, що вивчаються, включають рівномірність розподілу компонентів у суміші, стабільність роботи агрегату та його продуктивність. Аналіз отриманих даних дозволить визначити оптимальні значення параметрів для забезпечення максимального ефекту.

Таким чином, перспективний напрямок розвитку змішувачів для комбікормів полягає в удосконаленні конструкцій гравітаційного типу. Це сприятиме створенню високоефективних агрегатів, які відповідають вимогам сучасного тваринництва та забезпечують високу якість кормових сумішей.

Об'єкт досліджень – технологічний процес дозування сипких компонентів комбікормових сумішей, який визначається взаємозв'язком між конструктивними і кінематичними параметрами гравітаційного дозатора та механіко-технологічними властивостями компонентів корму. Досліджуваний процес включає вивчення закономірностей руху сипких матеріалів, рівномірності подачі компонентів, а також впливу конструктивних рішень дозатора на ефективність роботи.

Предмет досліджень – обґрунтування основних параметрів технологічного процесу дозування сипких компонентів, а також розробка пропозицій щодо вдосконалення конструкцій дозатора гравітаційного типу для комбікормових сумішей. Предметом аналізу є конструктивно-технологічні особливості гравітаційного дозатора, такі як форма змішувальної камери, розміри отворів для завантаження та вивантаження, кути нахилу

робочих поверхонь, а також їхній вплив на якість змішування та стабільність дозування.

Ці дослідження спрямовані на вдосконалення існуючих технологій для забезпечення рівномірності дозування компонентів, підвищення продуктивності та мінімізації втрат поживних речовин у комбікормових сумішах.

#### **1.4 Висновки**

В розділі представлено аналіз інформаційних джерел пов'язаних з приготування кормосумішей, а саме дозування і змішування компонентів. Ряд робіт підтверджує нашу думку про те, що несвоєчасне засвоєння основних складових елементів корму, веде до зниження їх засвоєння, також відмічається, що точність дозування компонентів суміші суттєво впливає на отримання однорідної суміші з рівномірним відсотковим розподіленням всіх складових суміші в загальному об'ємі корму, що в свою чергу впливає на добовий приріст тварин і їх здоров'я.

Головною задачею при приготуванні високо однорідних кормових сумішей при підвищенні вимог до однорідності сумішей і зменшення енергоємності процесу при збереженні високої продуктивності, тому створення нових конструкцій дозаторів, які б забезпечили високу точність – в межах 98-100%, дозування компонентів суміші при сталій продуктивності і малій енергоємності процесу є актуальним на сьогоднішній день.

Процес дозування сипких компонентів корму має ряд особливостей і потребує ґрунтовного аналізу існуючих дозаторів та пошук раціональної конструкції для якісного забезпечення процесу дозування для забезпечення кормоприготування високоякісних сумішей з мінімальними витратами енергії на дозування і змішування.

## **2 Аналіз існуючих конструкцій дозаторів концентрованих кормів**

### **2.1 Загальні положення**

Під час приготування якісних концентрованих кормів необхідно дотримуватися ряду важливих вимог. Найбільше уваги необхідно приділяти дозуванню і змішуванню, як найбільш впливовим процесам на вихідний продукт. Дозування і першою операцією в технологічному процесі і від неї в першу чергу буде залежати співвідношення компонентів в суміші, при порушенні при виконанні цієї операції – подальші не мають сенсу, так як нерівномірне дозування кожного з компонентів неможливо виправити на подальших етапах приготування корму.

До дозаторів пред'являють наступні основні вимоги:

- точність дозування;
- стабільна і висока продуктивність;
- Проста конструкція і регулювання на задану дозу;
- надійність і безвідмовність під час виконання операції – дозування в лінії;
- спроможність до автоматизації процесу.

### **2.2 Стан справи в дозуванні сипучих матеріалів**

Процес дозування являється складовою не лише технологічних ліній приготування комбикормів, а і широко використовується в інших галузях: фармакології, будівництві, харчовій промисловості і інших. Дозування це процес відмірювання певної кількості матеріалу з заданою точністю і похибкою. Процес дозування характеризується – витратою, об'ємною або ваговою. В залежності від технологічного процесу – дозатори можна розділити на два основні типи: безперервної і періодичної дії.

Л.Я. Степук поділяє процес дозування на фази, які можна розділити на три основні складові: заповнення робочого органу дозатора; формування дози; видача дозованого продукту. Найбільший вплив на якість дозування вносять фаза заповнення і фаза формування дози. Заповнення дозуючого пристрою залежить від параметрів бункера і випускних отворів, що забезпечують стабільну подачу матеріалу в зону формування дози. Формування дози в першу чергу залежить від конструктивних особливостей дозуючого пристрою і несе основний вплив на нерівномірність дозування.

Модель безперервного дозування по Відінесу Ю.Д. полягає у дозуванні нерозривним потоком із забезпеченням, незмінної кількості сипкого матеріалу в часі з відхиленнями встановленими в певних межах:

$$|G_p(t) - G_{зад}| \leq G_{доп}, \quad (2.1)$$

де  $G_p(t) = \int_t^{t+\Delta t} Q_p(t) dt$  - кількість матеріалу в дозі;

$Q(t)$  - значення витрати по периметру (t);

$\Delta G_{доп}$  - допустиме відхилення дози;

t - час;

$\Delta t$  - тривалість формування дози.

Алешкін В.Р. і Рощин П.М. – зазначають, що процес дозування у вигляді характеристик випадкової величини, не дає об'єктивних значень, тому що він не відображає внутрішньої структури процесу. Показник, що характеризує ефективність функціонування дозатора, можна представити як:

$$y_i(t) = \bar{y} + \hat{m}_y(t) + \hat{y}(t), \quad (2.2)$$

де  $y_i(t)$  - дія випадкового процесу;

$\bar{y}$  - середнє значення дозування;

$\hat{m}_y(t)$  - центрована складова низькочастотної частини процесу;

$\hat{y}(t)$  - відхилення випадкового процесу від центрованої складової.

За результатами їх досліджень встановлено, що відхилення дози від середнього значення розподіляється по нормальному закону. Графічно щільність вірогідності нормального закону розподілу випадкової величини представлена на рис. 2.1.

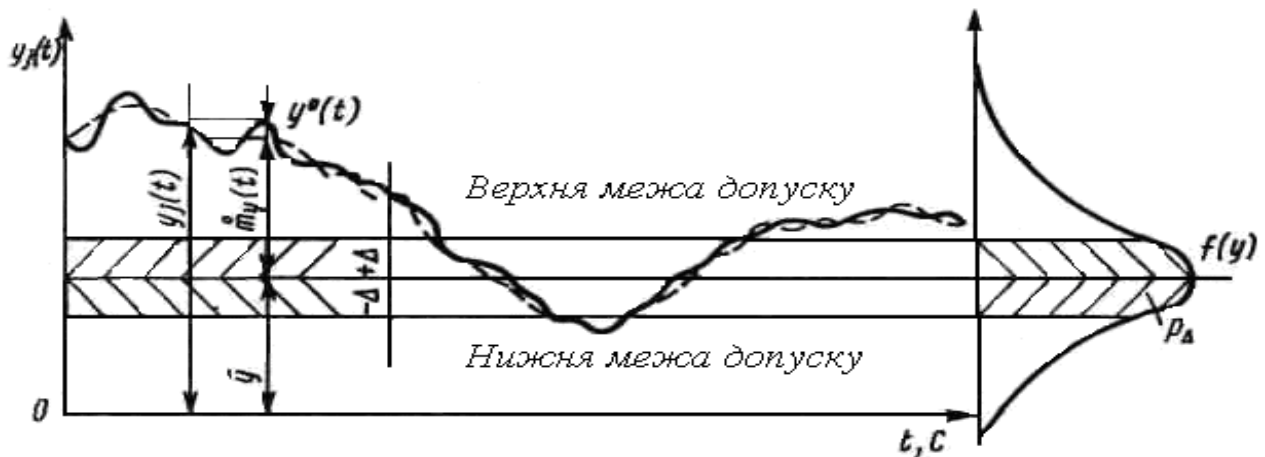


Рисунок 2.1 - Випадковий процес дозування

Вірогідність  $P_{\Delta}$  представляється заштрихованою площею під кривою щільності, а аналітично – виразом:

$$P_{\Delta} = 2\Phi(\Delta/\nu), \quad (2.3)$$

де  $\Phi$  – функція Лапласа, що приймається по таблицях залежно від  $\Delta/\nu$ ;

2 – цифра, що позначає симетричність допуску відносно середнього значення;

$\nu$  – середньоквадратичне відхилення випадкового процесу за час реалізації, віднесене до середнього значення  $\bar{y}$ , тобто  $\nu = s/\bar{y}$ .

Для виконання операції дозування розроблено безліч конструкцій дозаторів, які відрізняються конструктивними рішеннями. Таке різноманіття дозаторів обумовлюється, тим, що дозуємі матеріали відрізняються механіко-

технологічними властивостями, до яких відносяться гранулометричний склад, вологість, сипучість і т.п. Також технічними вимогами: простота конструкцій, діапазон регулювання, легкість в налаштуванні на задану продуктивність, висока надійність, енергоємність і матеріалоємність.

Основним напрямом в дослідженнях дозаторів і їх конструкції є підвищення їх продуктивності, зменшення енерговитрат і спрощення конструкції з метою підвищення надійності і простоти обслуговування.

Останнім часом ряд науковців з метою підвищення ефективності процесів приготування кормосумішей з сипких матеріалів - пропонують інтенсифікацію процесу за рахунок впровадження дозаторів-змішувачів, в яких операції дозування і змішування розглядаються як одне ціле.

### 2.3 Класифікація і аналіз засобів для дозування сипких матеріалів

Загальна схема класифікації дозаторів представлена на рисунку 2.2

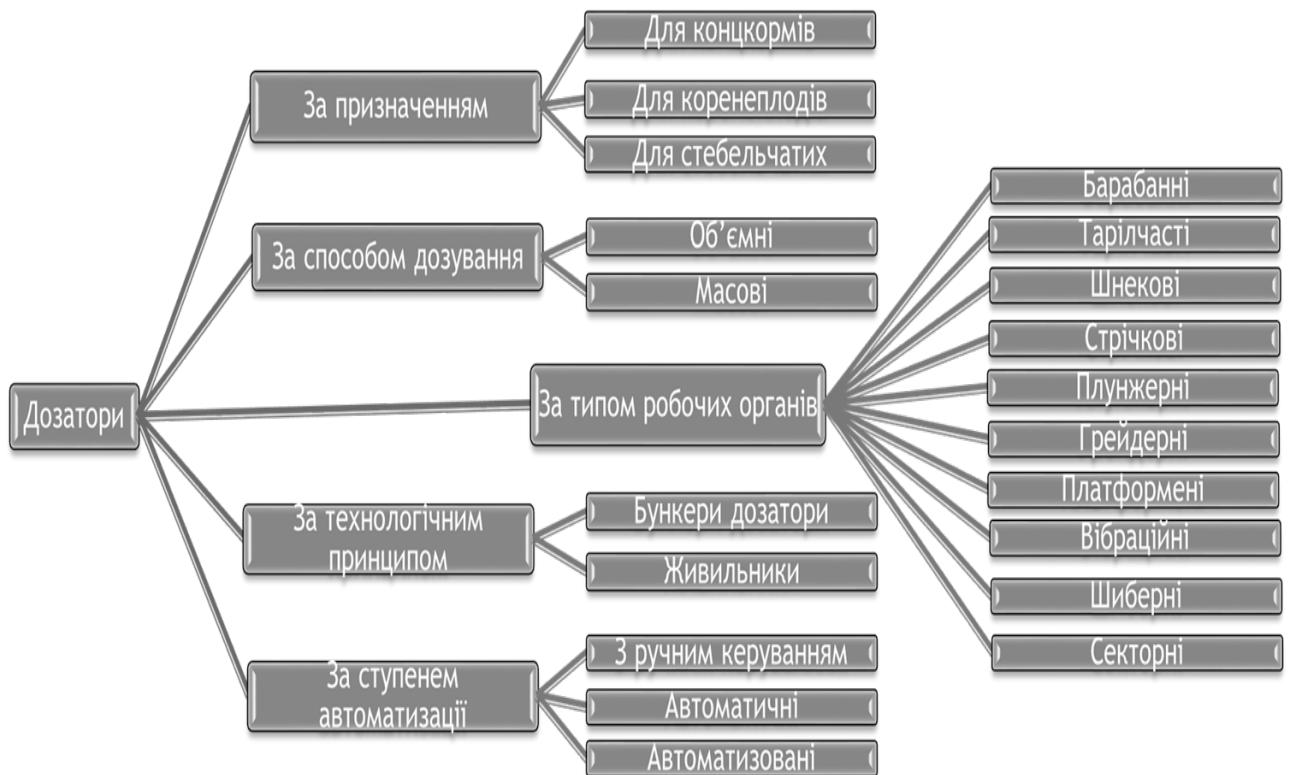


Рисунок 2.2 – Класифікація дозаторів

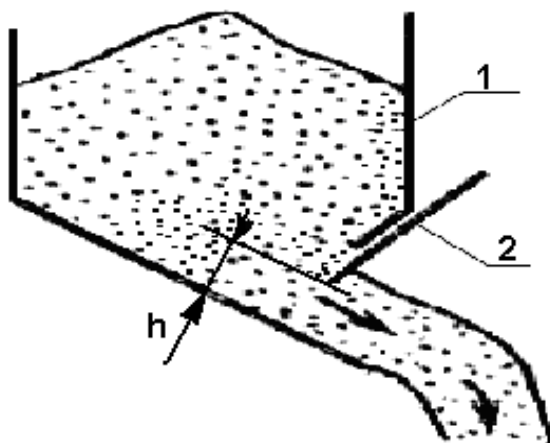


Рисунок 2.3 - Гравітаційний дозатор сипучих матеріалів: 1 - бункер;  
2 - заслінка

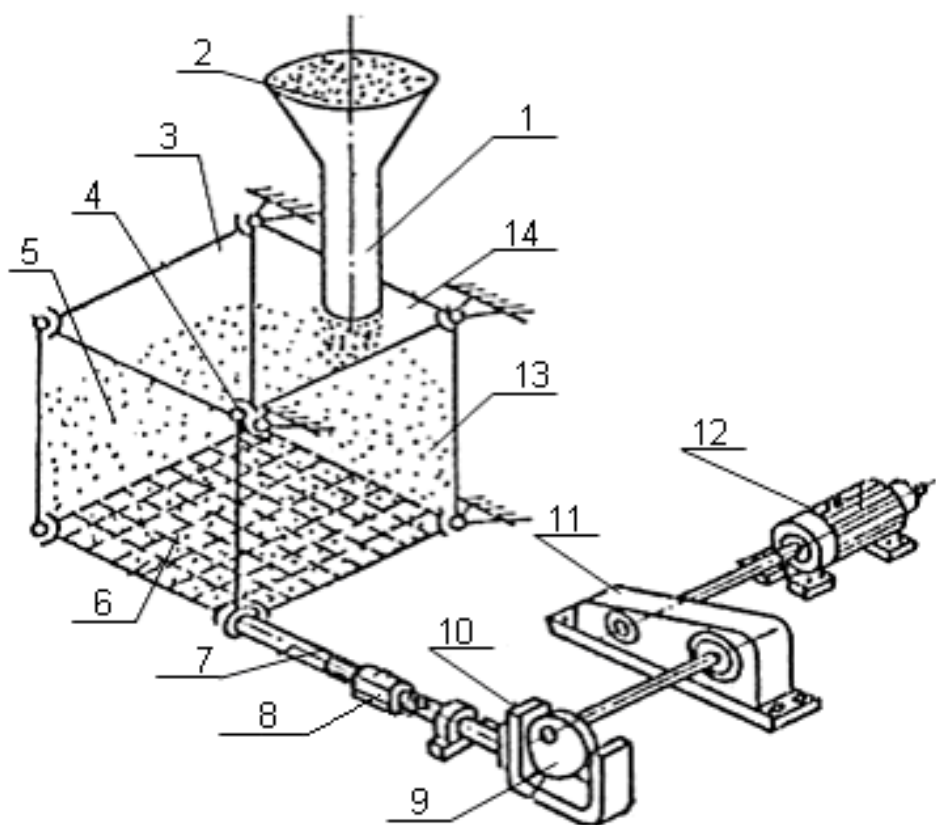


Рисунок 2.4 - Гравітаційний дозатор сипких матеріалів з решітчастим дном

Об'ємне дозування виконують в основному шнековими рис. 2.3 живильниками, встановленими в бункерах, барабанными або тарілчастими

органами.

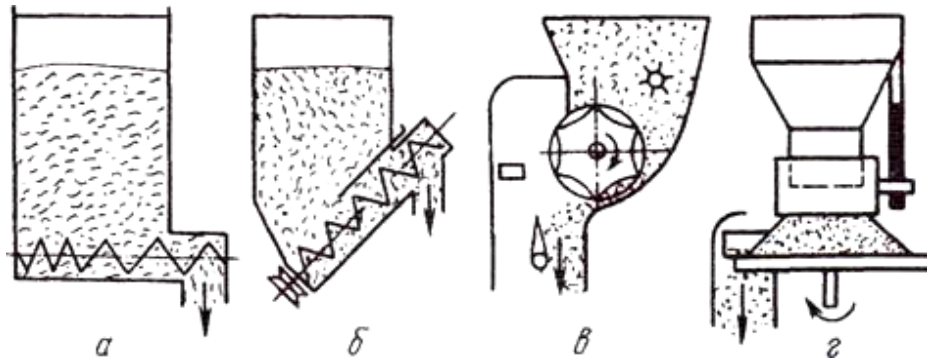


Рисунок 2.5 - Технологічні схеми об'ємних дозаторів:

а – шнекові горизонтальні; б – шнекові похилі; в – барабанні; г – тарілчасті

Вагове дозування при великій кількості компонентів і дозуванні компонентів, що становлять менш 3% суміші. Для цього використовують спеціальні ваги-дозатори.

Процес дозування може бути безперервним і порціонним.

Безперервне дозування забезпечує стрічкові, шнекові, вагарні автоматичні, барабанні й тарілчасті дозатори рис. 26.

#### Продуктивність барабанного дозатора

$$Q = F_k \cdot l \cdot z \cdot n_b \cdot \rho \cdot \psi, \text{ кг/с}, \quad (2.4)$$

Де  $F_k$  – площа поперечного перерізу комірки;

$l$  - її робоча довжина;

$z$  – кількість комірок у барабані;

$n_b$  – частота обертання барабана;

$\rho$  – насипна щільність матеріалу;



$\psi$  – коефіцієнт наповнення комірки(0,8...0,9).

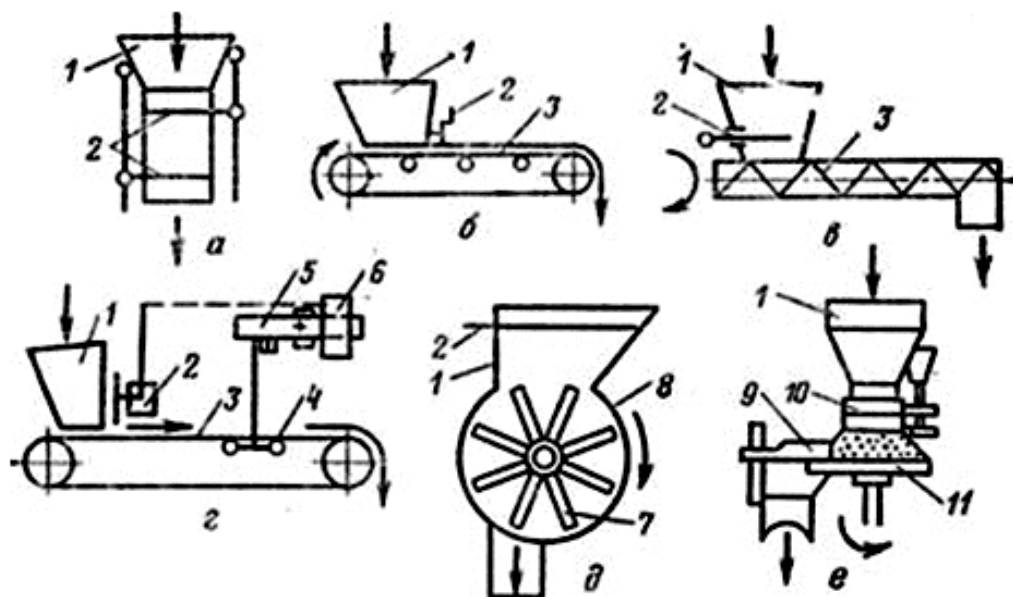


Рисунок 2.6 – Схеми дозаторів кормів:

а – об'ємного порціонного; б – об'ємного стрічкового; в – об'ємного шнекового; г – масового (вагового) автоматичної безперервної дії; д – об'ємного барабанного; е – об'ємного тарілчастого; 1 – бункер; 2 – заслінка з механізмом керування; 3 – стрічковий або шнековий транспортер; 4 – датчик ваг; 5 – балансир ваг; 6 – командний апарат; 7 – барабан; 8 - корпус; 9 - шкребок; 10 – манжета; 11 – диск

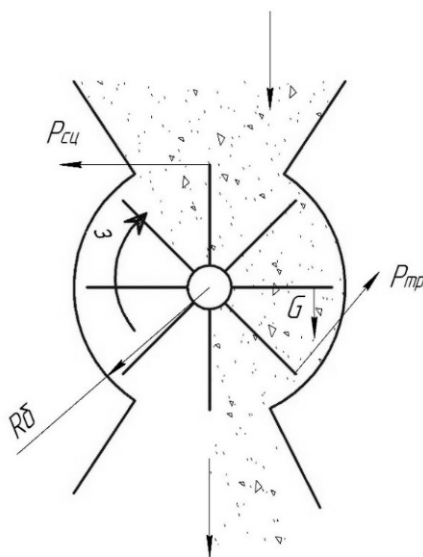


Рисунок 2.7 - Схема до розрахунку барабанного дозатора

Продуктивність стрічкових дозаторів

$$Q = b \cdot h \cdot \vartheta \cdot \rho \cdot \psi, \text{ кг/з} \quad (2.5)$$

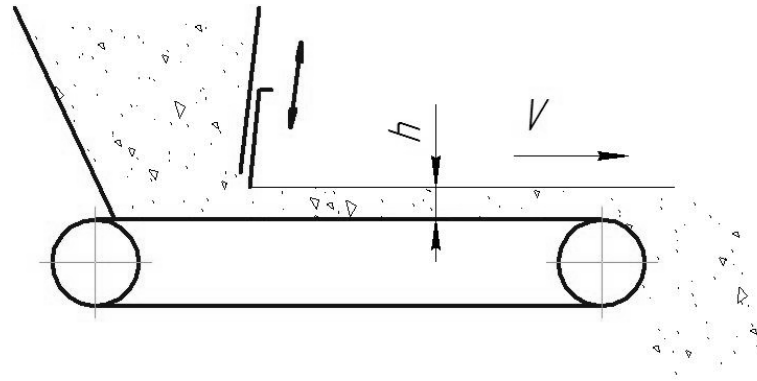


Рисунок 2.8 – Схема стрічкового дозатора

Продуктивність тарілчастого дозатора

$$Q = V_{\text{ш}} \cdot \rho \cdot n = V_{\text{ш}} \cdot \rho \cdot \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.6)$$

Об'єм кільцевого шару трикутного перерізу, що знімається скребком за один оберт тарілки,

$$V_{\text{ш}} = 2\pi \cdot R_o \cdot F_{\text{ш}}, \quad (2.7)$$

Де  $R_o$  – відстань від осі обертання тарілки до центру ваги шару

$$R_o = R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \theta} \quad (2.8)$$

Де  $F_{\text{ш}}$  – площа поперечного перерізу кільцевого трикутного шару

$$F_{\text{ш}} = \frac{h^2}{2 \operatorname{tg} \theta} \quad (2.9)$$

Де  $R$  – радіус циліндра.

Підставивши всі значення складових, формулу продуктивності можна написати:

$$Q = \omega \cdot \rho \cdot \left( R + \frac{h}{3 \operatorname{tg} \theta} \right) \cdot \frac{h^2}{2 \operatorname{tg} \theta} \quad (2.10)$$

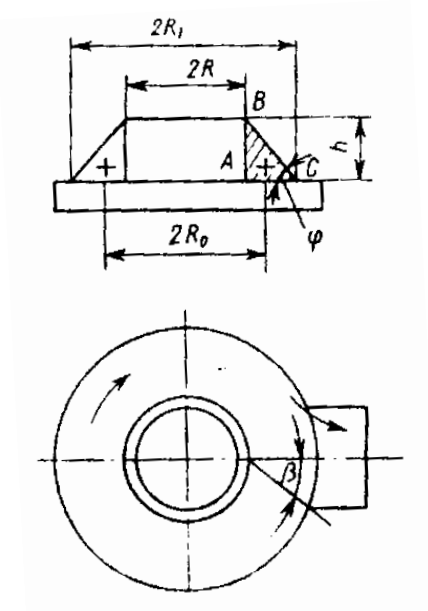


Рисунок 2.9 - Розрахункова схема дискового дозатора

Продуктивність шнекового дозатора

$$Q = 0,25\pi \cdot |(D + 2\delta)^2 - d^2| \cdot n \cdot S \cdot \psi \quad (2.11)$$

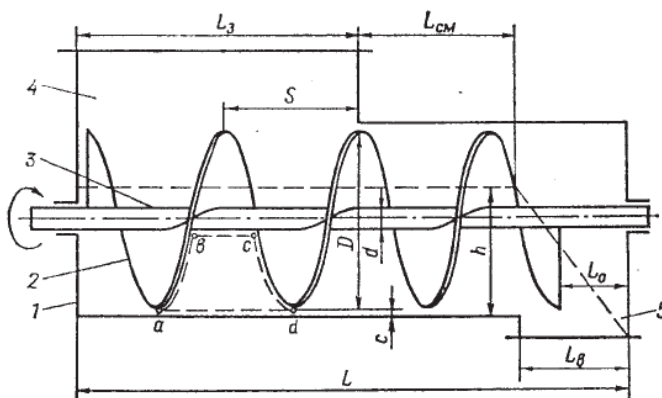


Рисунок 2.10 - Розрахункова схема шнекового дозатора: 1 – жолоб; 2 – гвинтова лопать; 3 – вал; 4 – прийомний патрубков; 5 – вихідний патрубков

Наведені конструкції дозаторів вимагають приділення уваги до: точності виготовлення, надійності роботи всіх складових, складності регулювань. Також

дані конструкції пов'язані з впливом ряду сил, що мають дуже вірогідних характер і передебачити їх вплив на роботу дозатора дуже складно, а для того щоб їх контролювати і керувати створювати ще більш складні робочі органи.

Нашою задачею є спрощення конструкції і зменшення витрат енергії на виконання операції дозування без зменшення якості виконуваної операції, а навпаки підвищення точності дозування і продуктивність обладнання.

Тому розглянемо перспективні напрямки в створенні нових систем і машин для дозування сипких матеріалів.

Про нерозривність процесів дозування і змішування відмічається в багатьох наукових роботах, що свідчить про перспективність напрямків досліджень.

Тарілчастий дозатор-змішувач сипких матеріалів, який розроблено в Харківському національному технічному університеті ім. Петра Василенка наведений на рис. 2.11.

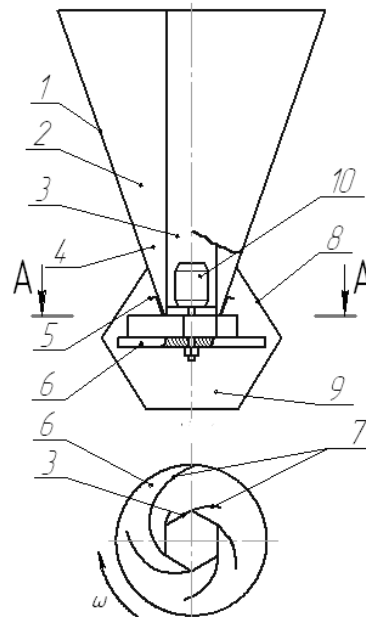


Рисунок 2.11 - Дозатор-змішувач сипких матеріалів конструкції ХНТУСГ ім. Петра Василенка

Дозатори-змішувачі, які забезпечують необхідну якість сумішей і мають низькі енергетичні витрати на процес сумішоутворення при великих

співвідношеннях змішуваних компонентів є відцентрові дозатори-змішувачі безперервної дії. Ці змішувачі є швидкісними машинами і вони характеризуються тим, що відцентрові сили інерції, які діють на сипкий матеріал, значно перевищують сили тяжіння. Це приводить до виникнення в сипкій масі великих розривних і зсувних напружень, що сприяє розрідженню шарів сипких матеріалів і перетину їх потоків. Відцентрові змішувачі сипких матеріалів характеризуються великою продуктивністю при невеликих розмірах і малих питомих енергетичних витратах, що вигідно їх відрізняє від змішувачів других конструкцій.

Робочі органи відцентрових дозаторів змішувачів є простими тілами обертання (диски, циліндри, порожнисті зрізані конуси), більш рідко застосовуються робочі органи, які мають більш складний профіль поверхні (параболоїди, торові і шарові оболонки).

Одним із таких дозаторів-змішувачів, в якому реалізований відцентровий спосіб змішування є змішувач конструкції ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Для досягнення мети управління перерозподілом частинок змішуваних компонентів в запропонованому способі і пристрої для його реалізації змішувані компоненти рухаються по траєкторіям, які перетинаються, причому один із компонентів знаходиться в розрідженому стані, а компоненти які вводяться рухаються під прямим кутом до напрямку руху основного компонента з різною швидкістю.

Конструктивна схема дозатора-змішувача наведена на рис. 2.12.

На особливу увагу заслуговують конструкції відцентрових змішувачів сипких матеріалів і результати досліджень їх технологічних процесів, які розроблені учнями наукової школи доктора технічних наук, професора Кемеровського технологічного інституту харчової промисловості Іванця В.Н.

Розглянемо конструкцію дозатора-змішувача, яка пропонується рядом авторів для виробництва різних кормових сумішей в тваринництві (рис. 2.13). Дозатор-змішувач складається із бункера 1, встановленого вертикально і розділеного на сектори, стакана телескопічного 2, який встановлений на нижній

частині бункера, диска 3 з діаметром більшим діаметра стакана телескопічного, привідного вала 4, скребків 5 і лійки конічної 6.

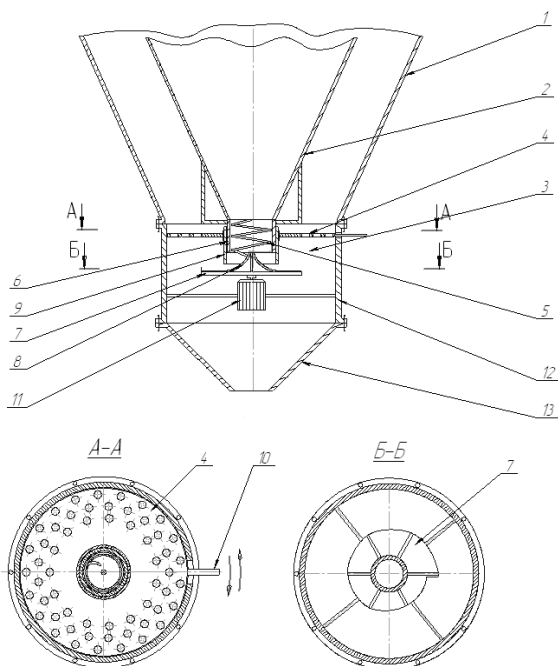


Рисунок 2.12 - Відцентровий дозатор-змішувач сипких матеріалів

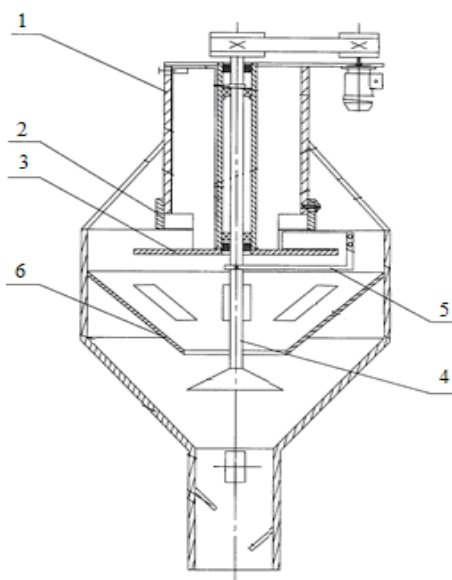


Рисунок 2.13 - Відцентровий дозатор-змішувач компонентів комбікормів

Дозатор-змішувач працює наступним чином. Компоненти кормової суміші засипаються в окремі відсіки бункера 1, які в заданому рецептом співвідношенні

розподіляються під кутом природного укосу по диску 3. При приведенні в обертний рух приводного валу 4, компоненти суміші під дією відцентрових сил переміщуються по диску і зсипаються на лійку 6, де відбувається їх розподілення на потоки, частина яких рухаються через вікна, а частина по поверхні лійки. При цьому при перетині потоків відбувається їх змішування.

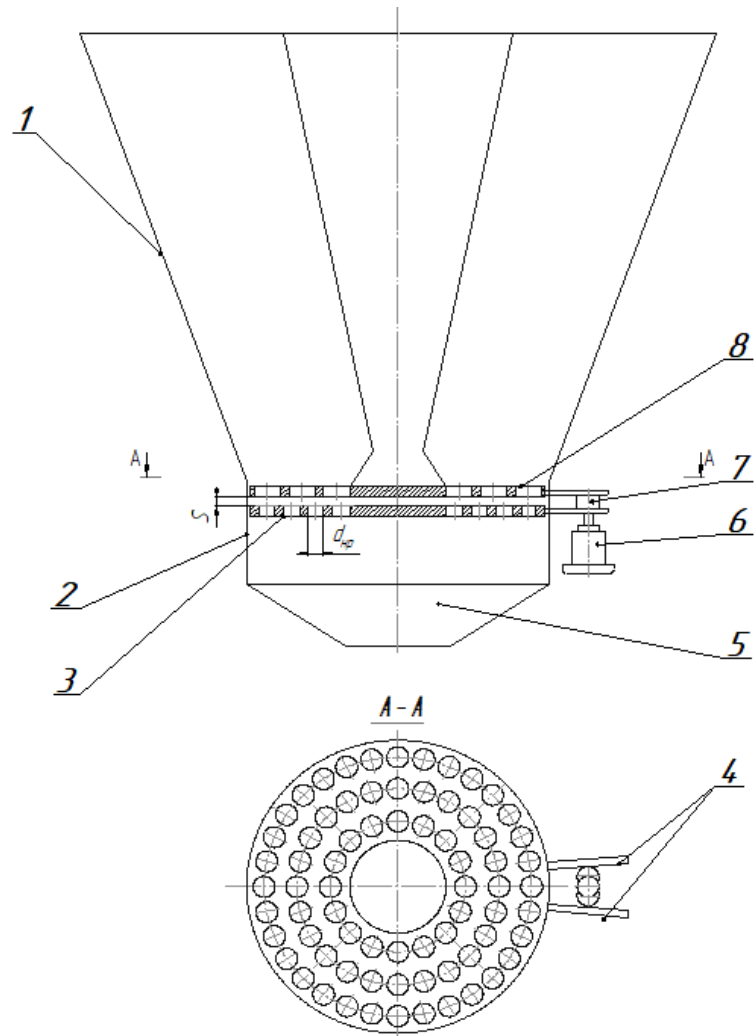
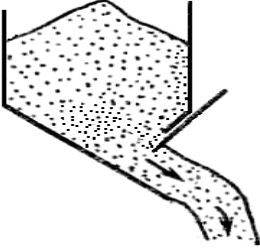
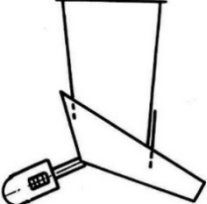
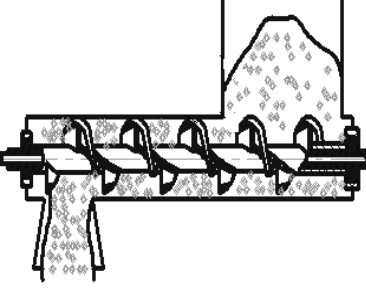


Рисунок 2.14 - Гравітаційний дозатор сипких кормів конструкції ХНТУСГ ім. Петра Василенка:

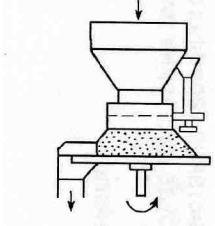
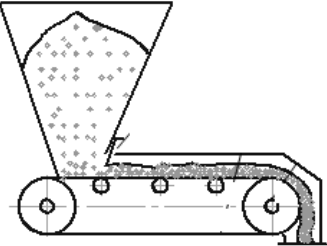
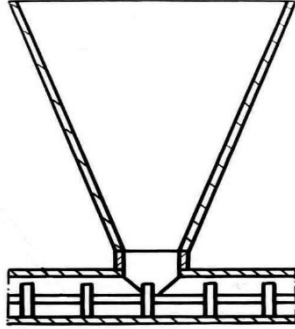
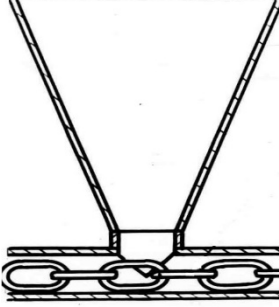
1 – наддозаторний бункер; 2 - циліндричний корпус; 3 - нижнє решето; 4 - повідки; 5 - вивантажувальна горловина; 6 - електродвигун; 7 - ексцентрик; 8 - верхнє решето.

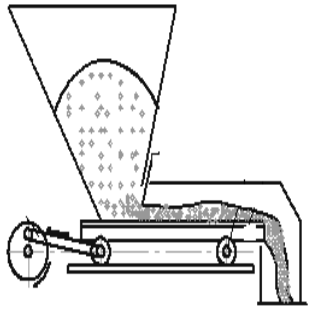
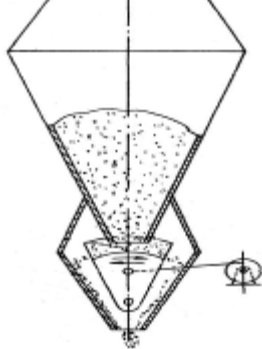
Для оцінки якісних і енергетичних показників дозаторів сипких матеріалів виконаємо їх порівняльний аналіз представлений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристика дозаторів сипких матеріалів безперервної дії

Технологічна схема дозатора	Характеристика якості роботи	Енергоємні сть процесу дозування	Недоліки конструкції дозатора
1	2	3	4
 <p>Гравітаційний</p>	Задовільно працює при дозуванні добре сипких матеріалів	Дорівнює нулю	Не здатні для дозування порошкоподібних матеріалів і вологої кормової суміші
 <p>Вібраційний</p>	Задовільно працює при дозуванні зернистих сипких матеріалів	2,6 кВт год/т	Пульсуюча видача і розділення на фракції дозуючого матеріалу
 <p>Шнековий</p>	Задовільно працює при дозуванні зернистих матеріалів і вологої кормової суміші	26,5 кВт год/т	Пульсуюча видача і часткове подрібнення сипкого матеріалу та велика енергоємність



 <p>Тарілчастий</p>	<p>Задовільно працює при незначній продуктивності</p>	<p>8,3 кВт год/т</p>	<p>Чутливий до зміни механіко-технологічних властивостей, не забезпечує заданої точності дозування</p>
 <p>Стрічковий</p>	<p>Задовільно працює при дозуванні зернистих сипких матеріалів</p>	<p>18,4 кВт год/т</p>	<p>Значна нерівномірність дозування, чутливий до механікотехнологічних властивостей.</p>
 <p>Тросово-шайбовий</p>	<p>Задовільно працює в лініях роздавання комбікормів в птахівничих приміщеннях і на доїльних установках</p>	<p>12,3 кВт год/т</p>	<p>Чутливий до механіко-технологічних властивостей дозованих матеріалів</p>
 <p>Ланцюговий</p>	<p>Задовільно працює в лініях роздавання комбікормів для птиці і свиней</p>	<p>11,7 кВт год/т</p>	<p>Чутливий до механіко-технологічних властивостей дозованих матеріалів</p>

 <p>Каретний</p>	<p>Задовільно працює при дозуванні зернистих сипких матеріалів</p>	<p>6,6 кВт год/т</p>	<p>Пульсуюча видача і розділення на фракції дозуючого матеріалу</p>
 <p>Маятниковий</p>	<p>Задовільно працює при дозуванні порошкоподібних сипких матеріалів</p>	<p>5,2 кВт год/т</p>	<p>Відносно невелика продуктивність, часткове розділення на фракції</p>

Що стосується енергоємності процесу дозування, то найбільш енергоємними є шнекові дозатори. Низьку енергоємність дозування мають також вібраційні дозатори.

Приведений огляд відомих конструкцій дозаторів і дозаторів-змішувачів для отримання сумішей сипких матеріалів дозволяє зробити висновки про тенденції, а також перспективи розвитку і удосконалення дозувально-змішувального обладнання.

По перше, дозатори-змішувачі мають бути обладнані об'ємними багатокомпонентними дозаторами компонентів кормових сумішей і суміщеними із процесом їх змішування.

По друге, рух компонентів суміші в змішувачі повинен здійснюватись в тонких і розріджених потоках, і може бути забезпечений дією відцентрових сил, які створюють великі розривні і зсувні напруження в сипкому матеріалі.

По третє, дозатори-змішувачі повинні згладжувати флуктуацію вхідних потоків за рахунок послідовного завантаження компонентів суміші в змішувач і

подальшим розосередженням потоків по поверхням робочих органів з наступним їх перетином.

Крім цього, найбільш важливими аспектами при розробці конструкцій дозаторів-змішувачів безперервної дії мають бути: висока однорідність отриманої суміші; низькі питомі енергетичні витрати, простота і надійності конструкції та висока продуктивність.

Серед розглянутих конструкцій можна виділити найбільш перспективними наступні, що можуть працювати з мінімальними витратами енергії - гравітаційні дозатори. Тому, ми вважаємо, що перспективною конструкцією буде дозатор, в якому дозування буде відбуватися під впливом постійної, сталої сили гравітації.

На основі розглянутих конструкцій і аналізу ми пропонуємо наступну схему (рис. 2.15).

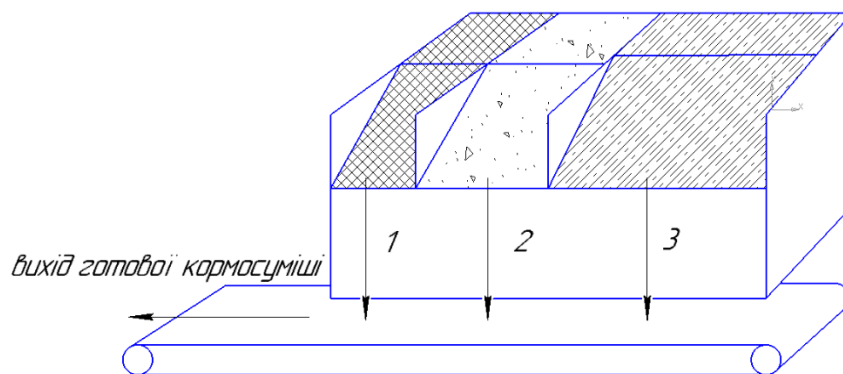


Рисунок 2.15 - Дозатор змішувач, гравітаційного типу.

Запропонована конструкція дозатора має значний потенціал для підвищення ефективності приготування комбікормів завдяки інтеграції процесів дозування та змішування в одному агрегаті, що працює під впливом сталих сил, зокрема сили гравітації. Такий підхід дозволяє уникнути ряду недоліків традиційних гравітаційних дозаторів бункерного типу, таких як зміна продуктивності в залежності від рівня матеріалу в бункері, утворення склепінь, що веде до пульсуючої подачі матеріалу.

У запропонованій конструкції всі компоненти кормової суміші

завантажуються у відповідні секції бункера дозатора, де вони перебувають у відсотковому співвідношенні згідно з рецептурою. Після того, як всі секції заповнені, вмикається привід рухомої заслінки, яка одночасно є однією зі стінок бункера. За допомогою заслінки компоненти суміші пересипаються під дією гравітаційних сил, а в процесі їх падіння відстань між часточками збільшується. В такому "розтягнутому" стані часточки потрапляють на збірний транспортер, де відбувається процес змішування.

Основна ідея конструкції полягає в тому, що завдяки цьому способу пересипання компонентів, часточки змішуються послідовно і проникнення один в один шарів часточок компонентів дозволяє досягти рівномірного змішування. Таким чином, забезпечується рівномірна подача кожного з компонентів, з мінімальними похибками в часі. Оскільки частки компонентів потрапляють на транспортер в "розтягнутому" вигляді, це дозволяє забезпечити більш якісне змішування та рівномірний розподіл компонентів.

Основні переваги запропонованої конструкції включають:

Стабільність дозування: завдяки однакової подачі компонентів протягом всього процесу, усувається проблема пульсацій подачі матеріалу, яка часто спостерігається у традиційних дозаторів.

Енергоефективність: використання гравітаційних сил зменшує потребу в енергії, що робить систему більш економічною.

Висока точність змішування: рівномірний розподіл компонентів завдяки їх "розтягнутому" положенню забезпечує стабільний склад кормової суміші.

З точки зору розробки та впровадження нових енергозберігаючих і високоефективних технологій приготування комбікормів, така конструкція є перспективною. Вона дозволяє поєднати два важливі етапи в одному процесі — дозування і змішування, що дозволяє знизити витрати на обладнання та енергоресурси, підвищуючи ефективність і зручність експлуатації. Такий підхід є актуальним для сучасного виробництва комбікормів, що вимагає максимальної автоматизації, точності та економії ресурсів.

## 2.4 Висновки

На сьогоднішній день при виготовленні комбікормів виділяється два головних напрями в дозуванні: дозування періодичної дії і дозування неперервним сталим потоком.

Для отримання високої точності дозування найкраще використовувати вагове дозування, але при цьому необхідно враховувати складність конструкції, низьку продуктивність і неможливість точного дозування при зміні вологості дозуємого матеріалу - в даному випадку, відсотковий вміст сухої речовини буде коливатися.

Існуючі конструкції не можуть задовольнити сучасних вимог до точності дозування при змінних параметрах сировини.

Для змішувачів неперервної дії, до яких можна віднести комбіновані дозатори-змішувачі гравітаційної дії необхідно розробити дозатори малої енергоємності, з простою конструкцією і високою точністю дозування в часі, для декількох компонентів одночасно.

## **3 Аналіз процесу дозування матеріалів**

### **3.1 Дозування і його коротка характеристика**

Процес дозування відомий ще з давніх часів і використовувався в багатьох галузях, як процес відмірювання певних доз. На сьогоднішній день «дозування» має більш широке поняття: процес відділення певної кількості матеріалу від загального об'єму, як узгоджений з подальшими операціями технологічного процесу – змішування, пакування тощо. Процес відмірювання доз на сьогоднішній день широко використовується в більшості галузей з метою раціонального і ефективного використання матеріалів і сировини. Більш широко під дозуванням прийнято розуміти такий механічний процес, в результаті якого матеріал формується в дози або потік із заздалегідь визначеними параметрами. У відповідності до процесу машини для дозування поділяють на машини періодичної і безперервної дії.

З сучасним розвитком виробництва і науково обґрунтованих досліджень - безперервне дозування набуває все більшого розповсюдження, тому що дозування відбувається постійно, без переривання роботи. Як наслідок виникає потреба в розробці конструкцій дозаторів більш досконалих, надійних і маловитратних. На сьогодні розроблена значна кількість конструкцій дозаторів безперервної дії для сипких, рідинних і газоподібних матеріалів.

Через застосування дозаторів неперервної дії буде отриманий значний економічний ефект, завдяки помітній технологічній перевазі перед дозаторами перервної дії, який в масштабі країни буде відзначатися в мільйонах гривень.

Математична модель процесу безперервного дозування передбачає опис взаємодії між компонентами системи, які забезпечують стабільну та точну подачу сипкого матеріалу у заданих кількостях протягом визначеного проміжку часу. Для цього використовуються рівняння, що описують рух сипкого матеріалу через дозуючі механізми та враховують вплив різних факторів, таких як

кінематичні параметри системи, властивості матеріалу, а також конструктивні особливості дозаторів.

Загальна модель процесу дозування може бути виражена за допомогою рівняння масового балансу, яке описує зміни маси сипкого матеріалу в дозуючій системі:

$$\|G_p(t) - G_{зад}\| \leq \Delta G_{дон}, \quad (3.1)$$

де  $G_p(t) = \int_t^{t+\Delta t} Q_p(t) dt$  - кількість матеріалу в дозі;

$G_{зад}$  - задана величина дози;

$Q(t)$  - поточне значення витрати по периметру  $p$  ;

$\Delta G_{дон}$  - допустиме відхилення дози;

$t$  - поточний час;

$\Delta t$  - тривалість формування дози.

Розкриваючи сутність  $Q(t)$ , можна отримати:

$$G_i(t, \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} s(t)V(t)\rho(t)C_i(t)dt, \quad (3.2.)$$

де  $s(t)$  - перетин потоку матеріалу;

$V(t)$  - швидкість потоку матеріалу;

$\rho(t)$  - щільність матеріалу в потоці;

$C_i(t)$  - концентрація  $i$ -того компонента в потоці.

Процес дозування сипких матеріалів, Алешкін В.Р. і Роцин П.М., у вигляді числових характеристик випадкової величини. Реалізацію вихідного процесу, в загальному вигляді можна представити як

$$y_i(t) = \bar{y} + \hat{m}_y(t) + \hat{y}(t), \quad (3.3)$$

де  $y_i(t)$  – будь-яка реалізація випадкового процесу;

$\bar{y}$  - середнє значення процесу;

$\hat{m}_y(t)$  - центрована складова низькочастотної частини процесу;

$\hat{y}(t)$  - відхилення випадкового процесу від центрованої складової.

Під час роботи дозаторів значення, які входять в формулу (3.3) зазнають змінення, в результаті відбуваються зміни відхилень  $\Delta Q(t)$  і відповідно доз  $\Delta G(t, \Delta t)$ .

Вірогідність  $P_\Delta$ у представляється виразом:

$$P_\Delta = 2\Phi(\nabla / v), \quad (3.4)$$

де  $\Phi$  – функція Лапласа, від  $\Delta/v$ ;

$2$  – симетричність допуску середнього значення;

$v$  – коефіцієнт варіації.

Випадкові похибки підпорядковані нормальному закону розподілення приведені

$$f(m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-(m_i - \alpha)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (3.5)$$

де  $f(m)$  - щільність розподілення ймовірностей;

$m_i$  - маса і-тої проби в досліді;

$\alpha$  - математичне сподівання;

$\sigma$  - середнє відхилення контрольних проб.

Динамічні системи дозуючих пристроїв Куцин Л.М. запропонував описувати рівняннями:

$$\frac{dQ(t)}{dt} + \alpha Q(t) = A + m\xi(t), \quad (3.6)$$



де  $Q(t)$  - продуктивність;

$\alpha$  – коефіцієнт пропорційності опору руху;

$A$  – сили, що постійно діють;

$\xi(t)$  - функція, що характеризує випадкові незалежні, короткочасно діючі сили.

Продуктивність може бути визначена по формулі:

$$Q = SV_{cp}\rho, \quad (3.7)$$

де  $S$  - площа перетину потоку матеріалу;

$V_{cp}$  - середня швидкість руху потоку;

$\rho$  - об'ємна щільність матеріалу, що дозується.

### **3.2 Аналіз теоретичних досліджень процесів дозування сипких матеріалів**

Параметри, що характеризують процес дозування сипких матеріалів в гравітаційних дозаторах, включають кілька ключових величин, які мають прямий вплив на продуктивність і точність дозування:

Мінімально допустимий розмір випускного отвору — цей параметр визначає максимальну можливу швидкість подачі сипкого матеріалу через отвір, обмежуючи його розмір так, щоб забезпечити стабільний потік матеріалу без утворення заторів чи накопичення компонентів. Мале значення отвору може призвести до зниження продуктивності, а надмірно великий розмір — до нерівномірного дозування.

Пропускна спроможність випускних отворів — цей параметр вказує на максимальний об'єм сипкого матеріалу, який може бути поданий через один або

кілька випускних отворів за одиницю часу. Він залежить від розміру отвору, кута нахилу та швидкості потоку матеріалу, а також від його фізико-механічних властивостей. Пропускна спроможність повинна бути достатньою для забезпечення стабільного процесу дозування, особливо при великих обсягах виробництва.

Об'ємна витрата сипкого матеріалу — цей параметр характеризує кількість матеріалу, що проходить через дозатор за певний проміжок часу, і є важливим для забезпечення рівномірного дозування. Об'ємна витрата залежить від характеристик матеріалу (розміри часточок, вологість, сипучість) та параметрів дозуючого механізму, зокрема від кута нахилу робочих поверхонь і швидкості руху компонентів.

Вивчення та оптимізація цих параметрів дозволяє значно підвищити ефективність дозування в гравітаційних дозаторах. Для забезпечення стабільності процесу важливо також враховувати такі чинники, як зміна характеристик матеріалу, зменшення кількості сипучих часток у бункері, а також вплив конструктивних елементів, таких як заслінки чи шнекові механізми, на рівномірність потоку.

Алфьоров К.В. в результаті досліджень пропонує мінімально допустимий розмір випускного отвору гравітаційного дозатора для сипких матеріалів визначати за формулою:

$$A = \frac{1+m}{2m} k_1 (d_{max} + 80) \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.8)$$

де  $m = \frac{B}{A}$  – відношення сторін отворів (більшої до меншої);

$k_1$  – експериментальний коефіцієнт  $k_1 = 2,4 - 2,6$ ;

$d_{max}$  – максимальний розмір частинки сипкого матеріалу;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя матеріалу.

Гячев Л.В. пропонує іншу формулу для визначення мінімально допустимого розміру випускного отвору гравітаційного дозатора:

$$A = d_{max} \left[ 1.8 + 0.038 \left( \frac{f}{k} \right)^{1.8} \right], \quad (3.9)$$

$$\text{де } f = \frac{S_q}{d_e^2}; \quad k = \frac{V}{d_e^3};$$

$S_q$  – площа поверхні частинки;

$d_e$  – діаметр круга, що має таку ж площу, як і частинка;

$V$  – об'єм частинки.

Для визначення мінімально допустимого розміру випускного отвору для важко сипучих матеріалів Е. Дженике вивів свою формулу, яка має вигляд:

$$A = 2 \left[ \frac{c}{\nu} + \frac{2\tau_0 \cos \varphi_1 g \varphi_1}{\nu(1 - \sin \varphi)} \right], \quad (3.10)$$

де  $\nu$  – насипна щільність матеріалу;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя;

$\varphi_1$  – кут тертя матеріалу об поверхню;

$\tau_0$  – початковий опір зсуву.

Для визначення критичного розміру склепоутворюючого отвору на практиці найчастіше застосовується формула Зенкова Р.Л.:

$$A = \frac{4(1 + \sin \varphi)k_0' \tau_0}{\gamma} + a', \quad (3.11)$$

де  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя;

$\tau_0$  – початковий опір зсуву;

$k'_0 = 1,5 \dots 2$  – коефіцієнт запасу;

$a'$  – типовий розмір частинки матеріалу.

Є також безліч думок вчених відносно визначення мінімально допустимого розміру випускного отвору бункера, і вони відрізняються між собою. Тобто, єдиного вирішення цієї задачі немає.

Подібне положення складається і при визначенні об'ємної витрати матеріалу (продуктивності) при їх витіканні з бункерів.

Для визначення об'ємної витрати матеріалу при його витіканні із бункерів Платонов П.Н. пропонує наступну формулу:

$$Q = 3600 \mu \nu F R_2, \quad (3.12)$$

де  $\mu$  – постійна, яка визначається дослідним шляхом;

$\nu$  – насипна щільність матеріалу;

$F$  – площа випускного отвору;

$R_2$  – гідравлічний радіус отворів.

Для визначення об'ємної витрати через випускні отвори гравітаційних дозаторів Зенков Р.Л. приводить дві формули:

$$Q = \lambda F \sqrt{\chi^2 g R_2}, \quad (3.13)$$

$$Q = \lambda F \sqrt{2gh}, \quad (3.14)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт висипання;

$F$  – площа випускного отвору;

$\chi$  – коефіцієнт, залежний від величини тертя;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$R_2$  – гідравлічний радіус отвору.

Для визначення швидкості висипання сипкого матеріалу з гравітаційного дозатора Зенков Р.Л. запропонував формулу:

$$v = \sqrt{2g \frac{\sigma_b}{\gamma}}, \quad (3.15)$$

де  $\sigma_b = \frac{P}{S}$  – питомий тиск в площині випускного отвору;

$S$  – площа випускного отвору;

$P$  – тиск в площині випускного отвору.

Проте, в цій формулі не враховується коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого матеріалу. Степук Л.Я. ввів цей коефіцієнт у формулу (3.13), позначив його  $\lambda_{II}$  і назвав коефіцієнтом витрати. Цей коефіцієнт залежить від внутрішнього тертя матеріалу і визначається за формулою:

$$\lambda_{II} = \frac{l}{\sqrt{2f \left( \frac{l}{f} + 2f \right) - \sqrt{l + f^2}}}, \quad (3.16)$$

де  $f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого матеріалу.

Тоді формула для визначення швидкості висипання сипкого матеріалу з гравітаційного дозатора має вигляд:

$$v = \lambda_{II} \sqrt{2g \frac{\sigma_b}{\gamma}}. \quad (3.17)$$

Основи теорії руху сипкого матеріалу в шнекових машинах наведені в роботах А.О. Співаковського. При розрахунку продуктивності шнекових машин Співаковський А.А. пропонує вираз в загальному вигляді:

$$Q = 3,6 F \rho v, \quad (3.18)$$

де  $F$  – площа поперечного перетину шнека, нормального до напрямку руху матеріалу;

$\rho$  – щільність матеріалу;

$v$  – осьова швидкість переміщення матеріалу.

Для практичних розрахунків зручніше користуватися цією ж формулою, розкритою через конструктивні і кінематичні параметри машини:

$$Q = \frac{\psi \pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{Sn}{60} \cdot \rho, \quad (3.19)$$

де  $\psi$  – кут підймання гвинтової лінії;

$D$  – зовнішній діаметр витка шнека;

$d$  – внутрішній діаметр витка шнека;

$S$  – крок гвинта шнека;

$n$  – частота обертання шнека.

Однак, в цій формулі швидкість руху матеріалу прирівнюється осьовій швидкості точки самого шнека. Тому, в наступних дослідженнях для уточнення розрахунків шнекових машин пропонується більш уточнені формули. Платонов В.В. і Степко В.С. для визначення продуктивності шнекового дозатора пропонують наступну формулу:

$$Q = \frac{S^3}{2\pi} n \gamma \left( \frac{a}{2} - mb - l \right), \quad (3.20)$$

$$\text{де } a = \frac{l}{\operatorname{tg}^2 \alpha_1} - \frac{l}{\operatorname{tg}^2 \alpha};$$

$$b = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 (\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \alpha_1 + 1)}.$$

$\alpha$  та  $\alpha_1$  – кути підймання гвинтової лінії по внутрішній і зовнішній кромкам витка.

Для отримання більш достовірного опису процесів шнекових машин пропонується замість матеріальної точки розглядати різні моделі сипкого матеріалу. Так, Платонов Н.П., розглядаючи рух сипкого корму в шнеці використовує механіку суцільних середовищ. Пізніше Куцин Л. М., описуючи рух сипкого корму в шнеці, який розташований похило, виділяє із потоку сипкого корму елементарний об'єм і розглядає його складний напружений стан з урахуванням граничних умов, які створюються стінками кожуха і витками шнека.

В низці досліджень відмічається, що важливими факторами, які визначають рух сипкого матеріалу при дозуванні або транспортуванні за допомогою різних пристроїв, є коефіцієнт тертя сипкого матеріалу о робочі поверхні поверхні.

Для дозаторів, в яких робочий орган виконаний в вигляді комірчастого барабана, продуктивність визначається за формулою:

$$Q = F_{жс} \cdot l_{жс} \cdot k_{жс} \cdot n \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (3.21)$$

де  $F_{жс}$  – площа поперечного перетину одного жолоба;

$l_{жс}$  – довжина робочої частини жолоба;

$k_{жс}$  – кількість жолобів;

$n$  – частота обертання барабана;

$\rho$  – щільність матеріалу;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення комірки.

Продуктивність тарілчастого дозатора, робочим органом якого є таріль (диск), яка обертається, визначається по формулі:

$$Q = V_c \cdot \rho \cdot n \cdot 60, \quad (3.22)$$

де  $V_c$  – об'єм шару, який знімається за один оберт.

Для дозаторів, в яких робочий орган має поступальний рух, наприклад, стрічкові дозатори, продуктивність дорівнює:

$$Q = 0,2 \cdot b \cdot h \cdot v \cdot \rho \cdot K_3, \quad (3.23)$$

де  $b$  – ширина шару сипучого матеріалу на стрічці;

$h$  – висота шару сипкого матеріалу на стрічці;

$K_3$  – коефіцієнт рівномірності розташування сипкого матеріалу на стрічці дозатора по висоті.

Більшість теоретичних досліджень і розглянути нами в своїй більшості направлені на визначення продуктивності дозатора і не відображають процесу дозування, а також не показують можливі шляхи підвищення якості дозування.

### **3.3 Основні напрямки по удосконаленню конструкцій дозаторів сипких кормів**

До процесу дозування постійно змінюються вимоги в наслідок більш точного обґрунтування і жорстких вимог співвідношенні компонентів в раціоні і їх рівномірного розподілення в загальному об'ємі.

Виходячи з цього розробка нового обладнання для дозування є головною задачею, вирішення якої в значній мірі зменшить непродуктивну, витрату кормів, що в подальшому знизить собівартість продукції тваринництва.

Всі напрямки по удосконаленню конструкцій дозаторів сипких кормів повинні бути узгоджені з зоотехнічними вимогами, які пред'являються до технологічного процесу, сутність яких полягає в наступному:

- мати високу продуктивність при малих витратах енергії;
- мати високу точність дозування;
- мати широкий діапазон регулювань з можливістю їх зміни;



- дозувати матеріал незалежно від його механіко-технологічних властивостей;
- в процесі роботи дозатора він не повинен змінювати механіко-технологічні властивості дозуємого матеріалу;
- для забезпечення точності дозування в роботі обладнання використовувати сталі, постійні сили, такі як гравітаційна сила.

### **3.4 Висновки**

За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень способів дозування і обладнання для їх реалізації можна зробити наступні висновки:

Якість процесу дозування залежить від конструктивно-режимних параметрів обладнання, що виконує операцію дозування.

Існуюче обладнання і конструкції дозаторів не можуть задовольнити сучасних вимог до якості виконання операції по дозуванню сипких складових комбікорму.

Існуюче обладнання не може забезпечити задану рівномірність дозування в часі, всіх компонентів суміші що мають різні механіко-технологічні властивості.

Теоретичні дослідження переважно направлені на визначення продуктивності обладнання і не відображають сам процес дозування і фактори, що на нього впливають.

Перспективним напрямом в створенні дозуючих пристроїв є розробка пристроїв, що будуть направлені на зниження енергетичних витрат і забезпечення подачі рівномірного сталого потоку матеріалу, що можливо при розробці машин, які використовують сталі сили, такі як сила гравітації

## 4 Експериментальні дослідження дозатора

### 4.1 Програма експериментальних досліджень

Вихідними даними для розробки програми експериментальних досліджень послужили задачі досліджень, робоча гіпотеза і її теоретичні положення, а також загальна методика теоретичних досліджень. Програма експериментальних досліджень розроблена на основі аналізу літературних джерел, патентних досліджень і тематичної інформації. Проаналізувавши вимоги які постають перед дозаторами і існуючі конструкції та дослідження -нами розроблена конструкція дозатора, яка може використовуватися для дозування твердих сипких матеріалів з одночасним дозуванням декількох компонентів з приблизно однаковою похибкою в часі.

Запропонований дозатор містить бункер, передню стінку яка, завдяки приводу, має можливість рухатись вгору-вниз. Між торцями бокових стінок і днищем бункера, які прилягають до передньої стінки бункера, встановлено ущільнення.

Дозатор працюватиме наступним чином. Дозуємий матеріал, завантажується в бункер. Під час руху передньої стінки за допомогою приводу, відміряємо задану дозу матеріалу, за рахунок переміщення зі сталою швидкістю передньої стінки бункера вниз на відповідну відстань. Розмір дози регулюється відстанню зміщення відносно попереднього положення стінки до кінцевого її положення. Продуктивність дозатора регулюється швидкістю переміщення передньої стінки бункера-дозатора.

Попередня оцінка показала, що запропонована конструкція має просту конструкцію, проста в обслуговуванні, надійна, не потребує спеціального навчання оператора і має високу точність дозування.

Для проведення досліджень запропонованої конструкції нами було розроблено схему лабораторної установки, яка представлена на рисунок 4.1.

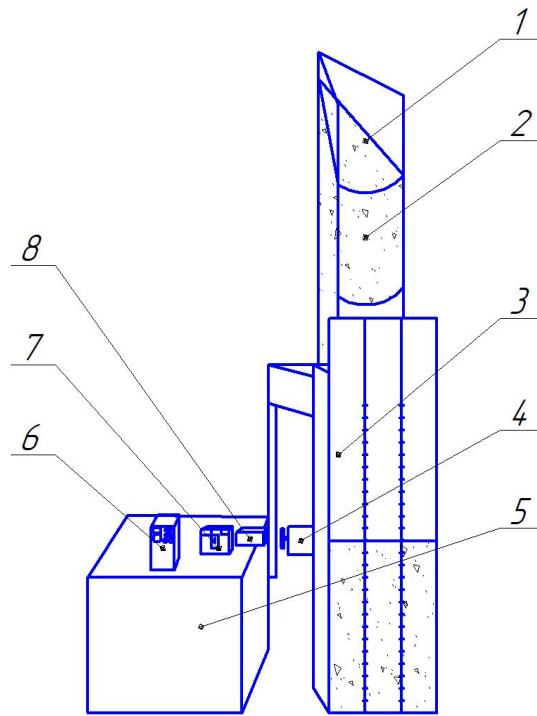


Рисунок 4.1 - Лабораторна установка дозатора сипких матеріалів гравітаційної дії: 1 – бункер-дозатор; 2 – передня, рухома стінка; 3 – пробовідбірник; 4 – привід; 5 – стіл з обладнанням; 6 – частотний перетворювач; 7 – механізм реверсування; 8 – безконтактний тахометр.

Об'єктом дослідження є – технологічний процес дозування сипких матеріалів.

Предметом дослідження є чинники та закономірності, які діють у новій конструкції дозатора, а також конструктивно-технологічні параметри та режими його роботи, що впливають на нерівномірність дозування сипких матеріалів. З урахуванням поставленої мети і задач, програма експериментальних досліджень була розроблена з метою вивчення і оптимізації роботи дозатора для забезпечення точності і стабільності дозування. Це дозволяє з'ясувати, які параметри конструкції і робочих режимів найбільше впливають на ефективність процесу.

Основні етапи дослідження передбачають кілька важливих кроків:

Розробка та виготовлення експериментальної установки - на цьому етапі створюється дослідницька установка, що дозволяє реалізувати тестування різних параметрів дозатора. Вибір вимірювальних приладів, пристосувань і інвентарю для точного контролю та фіксації параметрів процесу є критичним для отримання достовірних результатів. Важливо, щоб обладнання було налаштоване для точного вимірювання таких величин, як витрати матеріалу, швидкість його руху та рівномірність подачі.

Вибір методики експериментальних досліджень - на цьому етапі визначаються основні критерії для оцінки ефективності дозування, а також вибір факторів, що впливають на рівномірність дозування (наприклад, розмір і форма часточок матеріалу, швидкість руху елементів дозатора, геометрія випускних отворів тощо). Оцінка ефективності може проводитися через вимірювання таких характеристик, як відхилення від заданого потоку матеріалу, стабільність дозування протягом часу та рівномірність суміші.

Планування і проведення багатофакторного експерименту - це ключовий етап, на якому визначаються всі можливі варіанти зміни конструктивних і режимних параметрів дозатора для з'ясування їх впливу на ефективність дозування. Планування експерименту передбачає визначення числових інтервалів варіювання факторів (наприклад, швидкості подачі, кута нахилу заслінок, розміру випускних отворів) та кількості повторів для кожної комбінації. Це дозволить визначити раціональні параметри дозатора, які сприятимуть мінімізації нерівномірності дозування.

Проведення експериментальних досліджень з фіксацією результатів і математична обробка - на цьому етапі безпосередньо проводяться дослідження на експериментальній установці. Результати вимірювань фіксуються, і потім проводиться їх математична обробка для отримання статистичних даних, що дозволяють оцінити ефективність різних варіантів конструктивно-режимних параметрів. Використовуються методи статистичного аналізу для виявлення значущих факторів і для побудови моделей, що дозволяють передбачити поведінку системи при зміні параметрів дозатора.

В результаті проведених досліджень мають бути визначені оптимальні конструктивно-режимні параметри дозатора, що забезпечують мінімальні відхилення в дозуванні і забезпечують високу точність подачі матеріалу при збереженні ефективності процесу дозування.

## 4.2 Матеріальне забезпечення

Дослідження запропонованої конструкції дозатора проводились в лабораторії кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві з використанням розробленого лабораторного стенду для дозування сухих сипких кормів, вимірювальної і обчислювальної техніки.

З метою проведення експериментальних досліджень запропонованої конструкції дозатор, на основі запропонованої схеми лабораторної установки, нами було сконструйовано даний стенд, загальний вид якого представлено на рисунку 4.2.

Установка для проведення експерименту складається з бункера-дозатора з передньою рухомою стінкою, електроприводу з редуктором для зменшення частоти обертів до необхідних, камери дозування - пробовідбірника, вимірювальної шкали, нанесеної на передній, скляній стінці пробовідбірника, частотного регулятора, для зміни частоти обертання електродвигуна, системи реверсування – для зміни напрямку руху рухомої стінки, безконтактного тахометру і обладнання відео фіксації

Дозатор (рис. 4.3) складається з: трьох стінок, рухомої стінки-заслінки, нерухомої бічної стінки і рухомої бічної стінки для зміни розміру камери дозування.

Експериментальний дозатор працює наступним. Дозуємий матеріал завантажується в бункер-дозатор, що отворюється трьома стінками 1,2,3 і днищем. Під час руху рухомої стінки-заслінки – за рахунок переміщення гайки, що зв'язана з заслінкою по гвинту привід якого відбувається від електродвигуна через редуктор, дозуємий матеріал пересипається через неї зі сталим кутом

пироднього відкосу. Необхідна доза відміряється двома способами- в залежності від принципу роботи дозатора: періодично або безперервно. Величина дози регулюється відстанню переміщення рухомої стінки при періодичному дозуванні і швидкістю опускання при безперервному дозуванні.

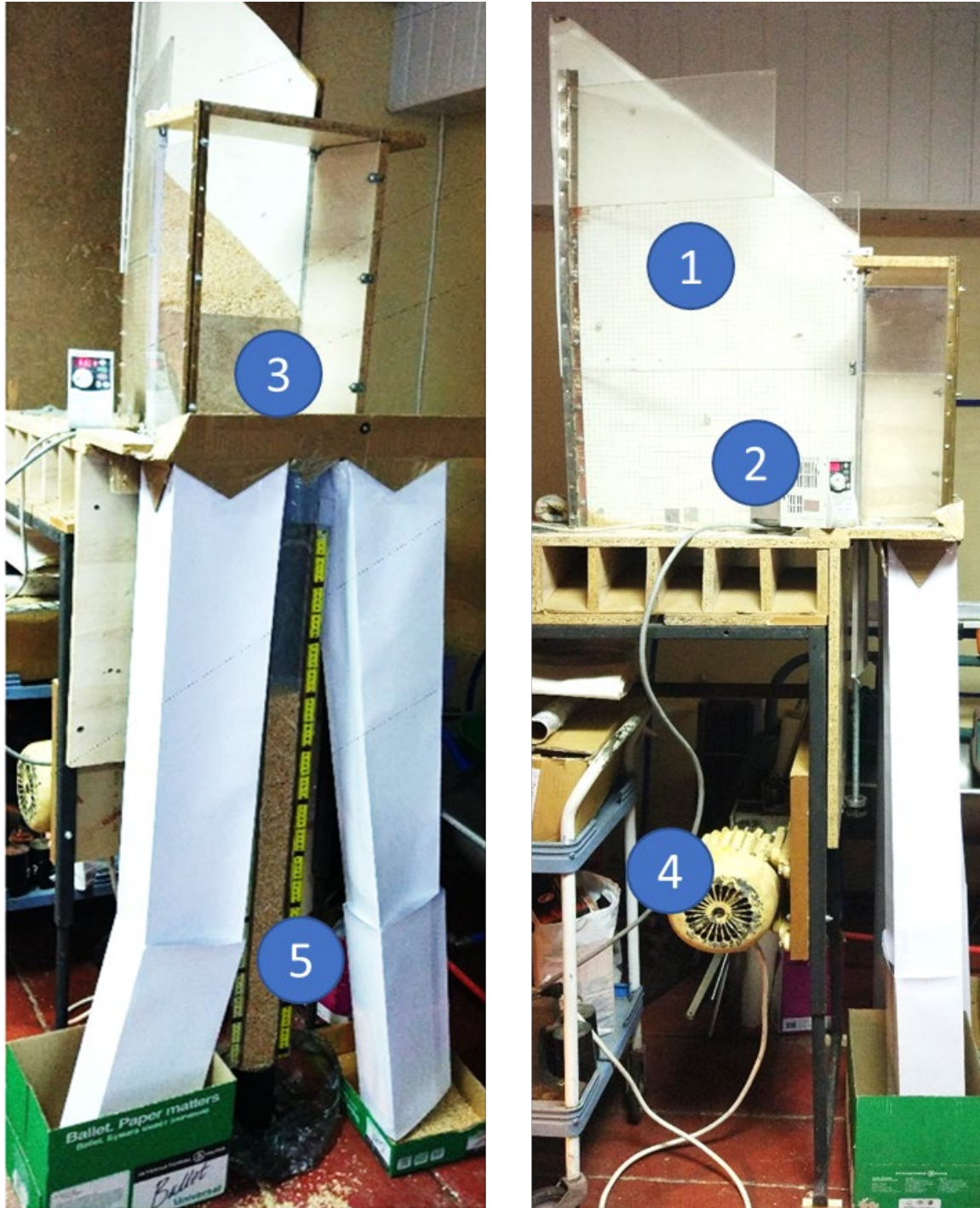


Рисунок 4.2 – Загальний вид дозатора гравітаційного типу

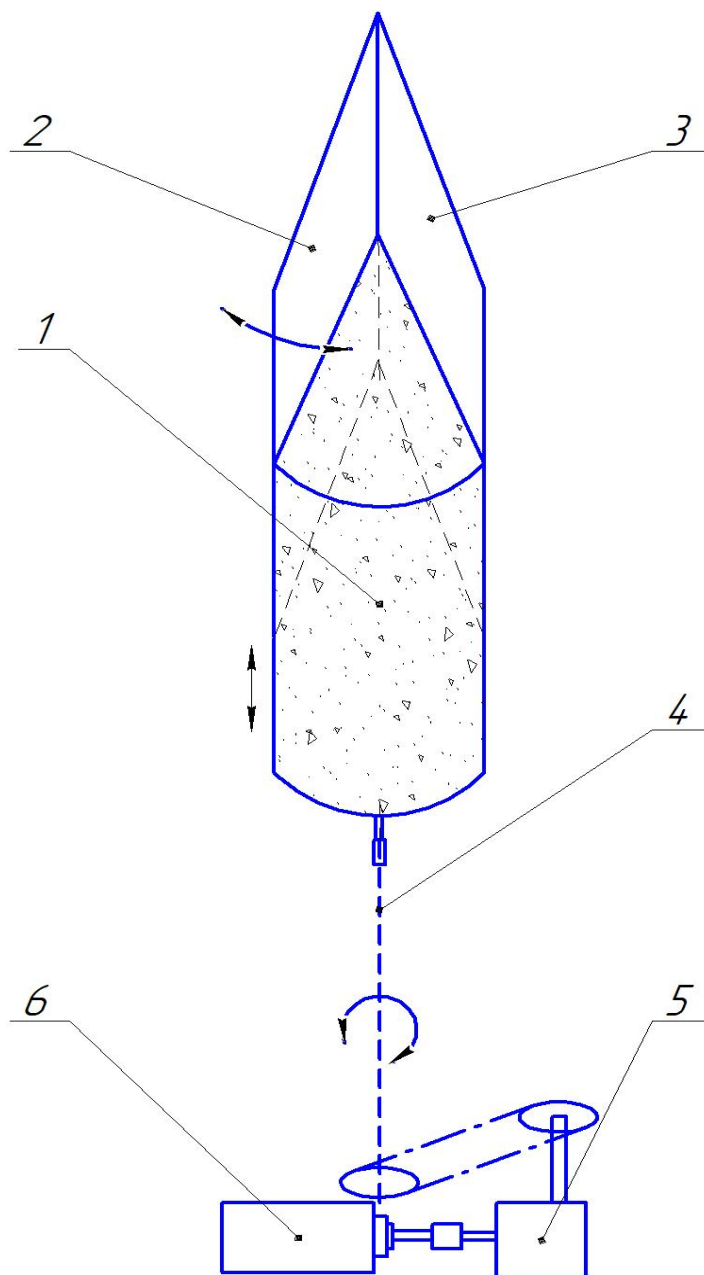


Рисунок 4.3 – Дозатор: 1 – Рухома стінка-заслінка; 2 – рухома бічна стінка; 3 – нерухома бічна стінка; 4 – гвинт приводу заслінки; 5 – редуктор; 6 – електродвигун

Продуктивність дозування (видачі дози) матеріалу регулюється швидкістю опускання заслінки, приводом - шляхом зміни частоти обертання двигуна.

Стабільність продуктивності забезпечується постійною швидкістю обертання валу електродвигуна. Для регулювання частоти обертання електродвигуна в конструкцію включено частотний перетворювач MITSUBISHI S500

Для вимірювання частоти обертання валу електродвигуна з майбутнім перерахунком швидкості опускання заслінки і продуктивності дозатора – використовувався безконтактний тахометр.

### **4.3 Фактори, які впливають на роботу дозатора**

За результатами аналізу і проведених попередніх експериментальних досліджень нами встановлено, що на точність дозування нашої конструкції впливають такі фактори, як швидкість опускання рухомої заслінки, вологість матеріалу, кут між стінками дозатору, розмір часток компонентів дозування (фракція компоненту).

Задаючись тим, що вологість матеріалу при зберіганні знаходиться в межах 14-16% - брати її до уваги при проведенні досліджень ми не будемо.

Виходячи з вищесказаного нашими факторами – вплив яких ми будемо досліджувати будуть:

- швидкість опускання рухомої заслінки.
- величини кута між стінками бункера-дозатора.
- ступінь подрібнення часток.

## **4.4 Постановка експерименту**

### **4.4.1 Вибір математичної моделі**

За мету проведення експериментальних досліджень, взято - побудова математичної моделі процесу дозування, гравітаційним дозатором. Планування





1. Визначити коефіцієнти регресії. Завдяки ортогональності плану обчислювальна процедура сильно спрощується:

$$b_i = \frac{\sum_1^n (y_i \cdot x_s)}{n} \quad (4.3)$$

де:  $b_i$  – коефіцієнт регресії;

$n$  – кількість проведених дослідів;

$y_i$  – значення функції «Y», відповідне  $n$ ;

$x_i$  – значення фактора, відповідне  $n$  (значення  $x_i$  може бути -1; 0; 1.).

2. Коефіцієнти дисперсії знаходяться за наступною формулою [45]:

$$S_i^2 = (Y_1 - Y_{cp}) + (Y_2 - Y_{cp}) \quad (4.4)$$

де:  $Y_1, Y_2, Y_{cp}$  – коефіцієнти варіації для першого та другого повторювання експерименту.

$Y_{cp}$  – середнє значення коефіцієнту варіації.

6. Перевірка коефіцієнтів регресії за критерієм Стюдента. Методика перевірки коефіцієнтів за критерієм Стюдента передбачає ортогональність плану. Ортогональне планування дозволяє отримати незалежні оцінки коефіцієнтів регресії з мінімальною дисперсією.

Коефіцієнти регресії визначаються з одної і тієї ж самої дисперсії:

$$S_{\{b\}}^2 = S_{\{y\}}^2 / N \quad (4.5)$$

Для коефіцієнтів регресії розраховується довірчий інтервал  $\Delta b_j = \pm t S_{\{b\}}$  з деякою довірчою вірогідністю. У цьому виразі  $t$ -критерій (критерій Стюдента) має те ж число ступенів свободи, що і дисперсія відтворюваності  $S_{\{y\}}^2$ . Коефіцієнт значущий, якщо його абсолютна величина більше довірчого інтервалу. Табличне

значення коефіцієнта Стюдента вибирають, виходячи з кількості факторів та кількості дослідів у кожній збірці (воно повинно бути не менше трьох).

У загальному вигляді для трифакторного експерименту рівняння виглядає:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (4.6)$$

9. Перевірка однорідності дисперсій. Критерій Кохрена визначається відношенням максимальної квадратичної дисперсії до суми всіх квадратичних дисперсій:

$$G = \frac{S_{i \max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} \quad (4.7)$$

З цим критерієм пов'язані числа ступенів свободи  $n-1$  і  $N$ . Гіпотеза про однорідність дисперсій не відкидається, якщо експериментальне значення критерію Кохрена не перевищить табличного. Якщо дисперсії однорідні, то розраховується оцінка усередненої дисперсії відтворюваності:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^n (y_{iq} - y_i)^2}{Nn(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} \quad (4.8)$$

Перевірка гіпотези про адекватність моделі заснована розрахунках дисперсії адекватності  $S_{ao}^2$  і критерія Фішера (F - критерія):

$$S_{ao}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{f}, \quad f = N - p, \quad F = \frac{S_{ao}^2}{S_{\{y\}}^2} \quad (4.9)$$

На даному етапі слід дуже уважно поставитися до проведення математичних дій, так як елементарна помилка може призвести до значних похибок при отриманні кінцевої залежності.

10. Побудова поверхонь відгуку. Після того, як формула представлена в розкодованому вигляді, слід побудувати поверхні відгуку отриманої функції в залежності від факторів. В трьох факторному експерименті будується три поверхні відгуку. При побудові поверхонь фіксується значення одного з факторів на одному з рівнів (-1, 0, 1) і підставляється в розкодоване рівняння функції. Спростивши його, отриманим рівнянням для побудови однієї із поверхонь відгуку при зафіксованому факторі. Побудова проводиться в будь-якій із комп'ютерних програм, здатних вивести тривимірний графік.

11. Побудова перерізів поверхонь відгуку. Перетин поверхні відгука будується аналогічно поверхні відгуку.

#### 4.4.2 Планування експерименту

В нашому випадку досліджується сталість дозування протягом всього робочого циклу  $Q$  від трьох факторів: фракції компоненту  $F(x_1)$ , швидкості опускання рухомої заслінки  $V(x_2)$  та величини кута стінок дозатора  $\alpha(x_3)$ .

План випробувань, вихідні дані про рівні факторів і результати випробувань приведено в табл. 4.2. Кожен дослід плану повторювався двічі, відповідно було отримано значення коефіцієнту варіації продуктивності  $Y_1$  та  $Y_2$ .

Таблиця 4.2 - Матриця для проведення багатофакторного експерименту

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 * x_2$	$x_1 * x_3$	$x_2 * x_3$	$x_1 * x_2 * x_3$	F	V	$\alpha$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_{cp}$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	2	1,5	10	6,2	6,15	6,175
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	2	1,5	30	4,2	4,3	4,25
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	2	4,75	10	3,5	3,4	3,45
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	2	4,75	30	5,8	5,9	5,85

5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	3	1,5	10	4,5	4,6	4,55
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	3	1,5	30	4,3	4,2	4,25
7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	3	4,75	10	5,9	6,4	6,15
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3	4,75	30	6,3	6,2	6,25

Розрахунки проводимо для першого дослідження, інші проводяться по аналогічній схемі.

Розраховуємо коефіцієнти регресії за формулою 4.3:

$$b_0 = \frac{1}{8}(6,175 + 4,25 + 3,45 + 5,85 + 4,55 + 4,25 + 6,15 + 6,25) = 5,12$$

Отримані дані заносимо до таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Дані розрахунків

№	$S_i^2$	$b_i$	$t_i$	y
1	0,00125	5,115	301,755	6,175
2	0,005	0,034	4,271	4,25
3	0,005	0,309	16,155	3,45
4	0,005	0,184	8,728	5,85
5	0,005	0,590	37,325	4,55
6	0,005	-0,084	-2,785	4,25
7	0,005	0,590	37,325	6,15
8	0,005	-0,490	-26,926	6,25

Визначаємо коефіцієнти дисперсії за формулою 4.4:

$$S_1^2 = (6,2 - 6,175)^2 + (6,15 - 6,175)^2 = 0,001$$

Визначаємо помилку досліду або дисперсію відтворюваності за формулою 4.8:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} = \frac{0,156}{8} = 0,02$$

Визначення дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії і розрахункових значень критерію Стьюдента проводимо за наступною формулою 4.5 :

$$S_{bj} = \sqrt{0,02 / (2 \cdot 8)} = 0,035$$

Знаходимо критерій значимості факторів:

$$t_0 = 5,11 / 0,035 = 146,4$$

Отриманні значення звіряємо з табличними даними  $t_{\text{табл}}(f_0 = 8) = 2,31$

Так як  $t_1 < 2,31$ ; приймаємо, що  $b_1 = 0$  отже вони не будуть значені.

Перевіряємо однорідність отриманих дисперсій по критерію Кохрена за формулою 4.7:

$$G = \frac{S_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} = \frac{0,005}{0,036} = 0,138$$

Отримані значення порівнюємо з табличними даними  $G_T(f_1, f_2) = 0,6798$ ,  $f_1 = 8$ ,  $f_2 = 1$ . Так як,  $0,8 < 0,9798$  дисперсії однорідні.

Отримане рівняння регресії в закодованому вигляді має наступний вид:

$$y = 5,078 + 0,072x_1 + 0,272x_2 + 0,147x_3 + 0,628x_1x_2$$

Знаходимо розрахункові значення вихідного параметру для кожного дослідження по рівнянню регресії:

Розраховуємо дисперсію адекватності за формулою 4.9:

$$S_{ad}^2 = 4,2$$

Визначення розрахункового значення критерію Фішера:

$$F_{рас} = 4,2 / 2,31 = 1,82$$

Перевірка адекватності отриманого рівняння по критерію Фішера:  $F_{табл}(f_{ад} = 3, f_0 = 8) = 4.067$ ,  $F_{рас} < F_{табл}$ . Звідки випливає, що отримана модель адекватно описує процес рівномірності дозування.

Фактори  $x_1$   $x_2$   $x_3$  входять в рівняння в закодованому вигляді. Щоб отримати рівняння в натуральному масштабі необхідно використати формули 4.10:

$$x_1 = \frac{x_1 - 4,75}{1,5}; \quad x_2 = \frac{x_2 - 3}{2}; \quad x_3 = \frac{x_3 - 30}{10}$$

Після того як підставимо дані отримаємо рівняння наступного виду :

$$y = 5,078 + 0,072 \cdot \frac{x_1 - 4,75}{1,5} + 0,272 \cdot \frac{x_2 - 3}{2} + 0,147 \cdot \frac{x_3 - 30}{10} + 0,628 \frac{x_1 - 4,75}{1,5} \cdot \frac{x_2 - 3}{2}$$

Кінцеве рівняння регресії в реальному масштабі матиме наступний вигляд:

$$y = 7,6 - 3,2x_1 + 0,7x_2 + 0,5x_3 - 0,82x_1x_2$$

Виходячи з того, що  $x_1 = v$   $x_2 = f$   $x_3 = a$  маємо наступне рівняння:

$$y = 7,6 - 3,2v + 0,7f + 0,5\alpha - 0,82vf$$

Отримана математична модель цілком адекватно відображає залежність коефіцієнта дисперсії від режимних факторів, графічне відображення яких приведено на рис. 4.6 -4.8.

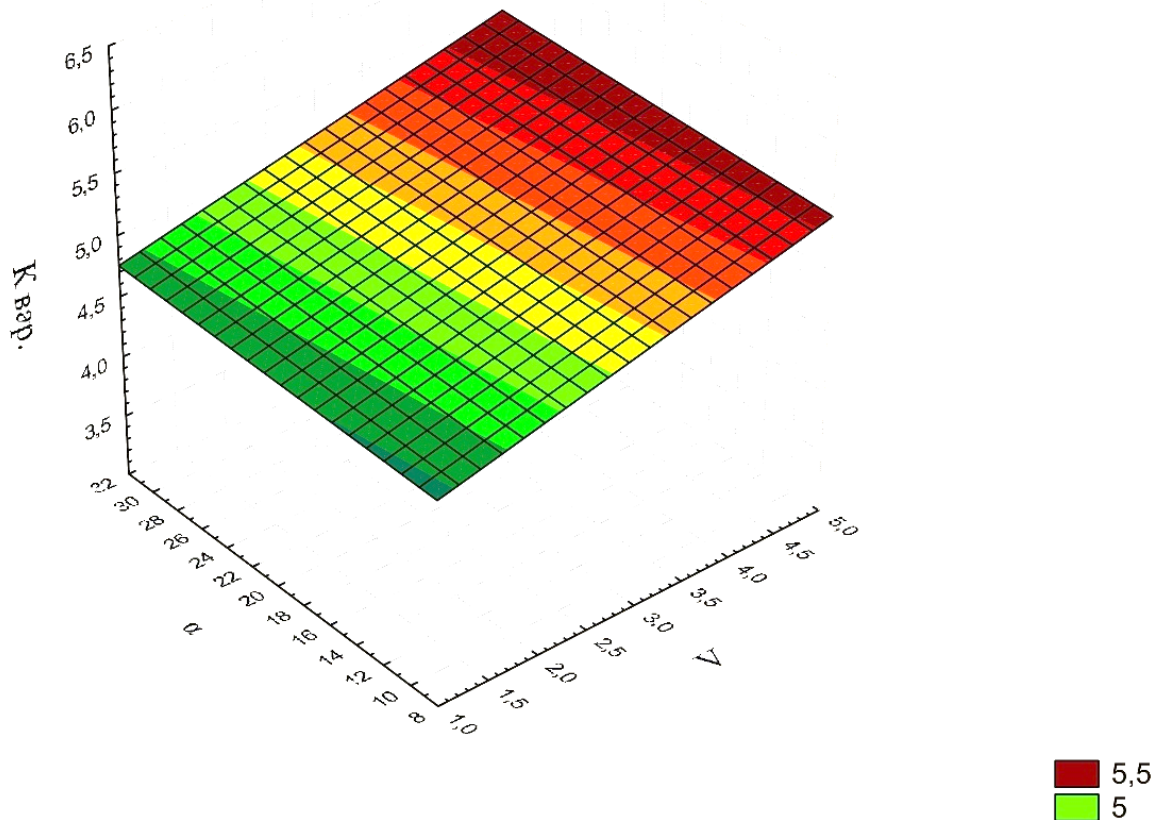


Рисунок 4.6 - Залежність коефіцієнта варіації від величини кута між стінками дозатора та швидкості опускання рухомої заслінки

Як ми бачимо з Рис. 4.6 мінімальне значення коефіцієнта варіації  $K=5$  досягається при максимальному куті  $\alpha=30^\circ$  і швидкості заслінки  $V=2$  см/с, при збільшенні швидкості  $K$  зростає. При зменшенні кута збільшення швидкості заслінки також негативно впливає на коефіцієнт варіації,



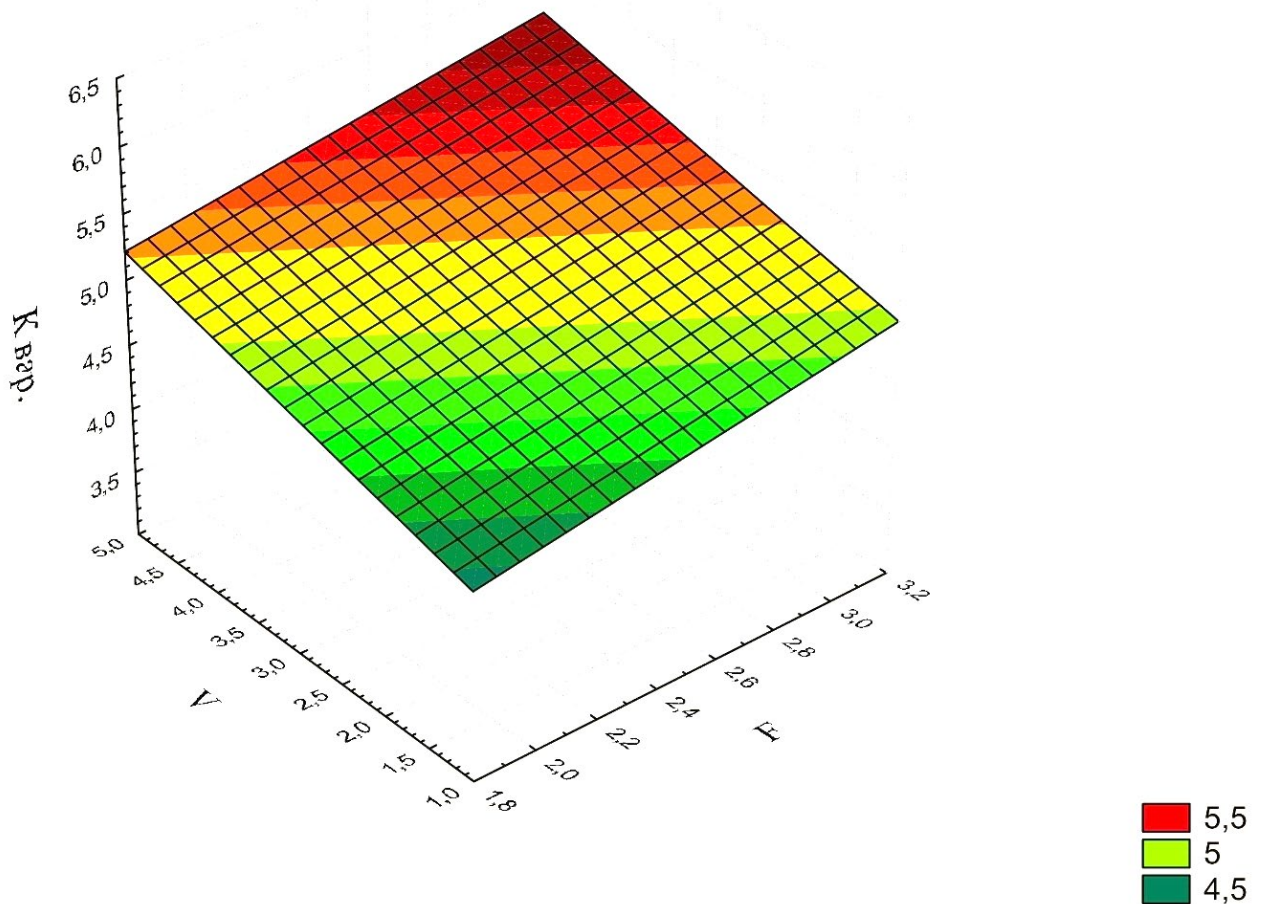


Рисунок 4.7 - Залежність коефіцієнта варіації від величини фракції компонента дозування та швидкості опускання рухомої заслінки

З рис. 4.6 видно, що для зменшення коефіцієнта варіації при будь-якій фракції необхідно працювати на швидкостях, що знаходяться в межах 2...4,5 м/с. При збільшенні швидкості коефіцієнт варіації різко збільшується і проявляється цей ефект сильніше при збільшенні розміру фракції – через утворення лавиноподібного руху матеріалу, пульсуючий потік. При  $f = 3$  і  $V = 3,5$  м/с -  $K = 5,2$ , а при  $V = 2$  м/с –  $K = 5$ . Тоді як при  $f = 2$  і  $V = 3,5$  м/с –  $K = 5$ , а при  $V = 1,75$  м/с –  $K = 4,7$ .

З рис. 4.8 видно, що вплив кута і фракції на коефіцієнт варіації має також пряму залежність, але менше ніж суміжний вплив інших факторів, наприклад таких як швидкість і розмір фракції. Мінімальне значення кута і найменша

швидкість мають максимальний негативний вплив на коефіцієнт варіації – при  $\alpha = 10$  і  $f = 2$  коефіцієнт варіації  $K = 4,9$ . При  $\alpha = 30$  і  $f = 3$  коефіцієнт варіації  $K = 5,4$ , що виходить за допустимі межі .

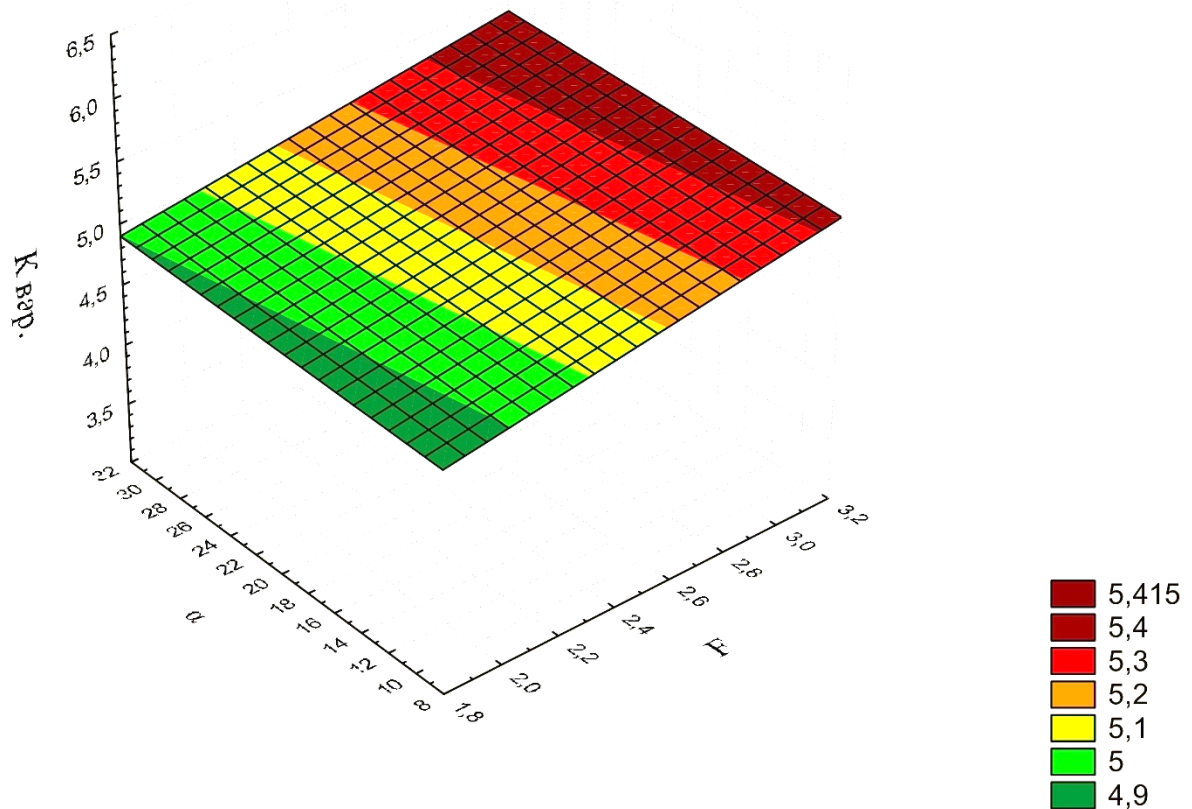


Рисунок 4.8 - Залежність коефіцієнта варіації від величини фракції компонента дозування та кута між стінками

Найбільший вплив на роботу дозатора має швидкість опускання заслінки, що і є головним впливовим фактором.

#### 4.5 Висновки

1. За результатами обробки трьох факторного експерименту ми отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 7,6 - 3,2v + 0,7f + 0,5\alpha - 0,82vf$$

2. За результатами перевірки на адекватність рівняння по критерію Фішера ми отримали:  $F_{\text{табл}}(f_{\text{ад}} = 3, f_0 = 8) = 4.067$ ,  $F_{\text{рас}} < F_{\text{табл.}}$ , з даної залежності ми бачимо, що отримане рівняння коректно описує досліджуємий процес дозування.

3. Результати експериментів показали:

- найкраща точність дозування відбувається при дозуванні матеріалів, що найменше злежуються і мають форму наближену до кулі, в нашому випадку це фракція  $f = 3$ ;

- дозатор працює в допустимих межах похибки при швидкості опускання рухомої заслінки до  $V = 4,75$  см/с, при збільшенні швидкості коефіцієнт варіації різко зростає,

- як бачимо з графіків встановлений кут між стінками дозатору не відіграє важливу роль, при його зменшенні точність дозатору не зменшується, але при невеликих кутах для підтримання стабільності дозування мінімальну швидкість опускання заслінки доводиться збільшувати.

4. Спираючись на результати експериментів і їх аналізу, для забезпечення високої точності дозування на дозаторі даного типу рекомендуємо наступні параметри налаштувань:

- при дозуванні фракції  $f = 3$  і більше: швидкість опускання заслінки повинна знаходитись в межах від 1,5 до 4,75 мм/с, а кут між стінками не повинен бути менше  $10^\circ$ .

- при дозуванні фракції  $f = 2$  і більше: швидкість опускання заслінки від 1,5 до 4 мм/с, а кут між перетинками не в межах  $10...30^\circ$ , при порушенні встановлених меж якість дозування різко погіршується.

## 5 Охорона праці

### 5.1 Загальні вимоги охорони праці при на комбікормових підприємствах

На комбікормових підприємствах охорона праці ґрунтується на дотриманні основних принципів безпеки, здоров'я працівників та забезпечення відповідності виробничих процесів українському та європейському законодавству. У національній правовій базі України ключову роль відіграють Закон України "Про охорону праці", Кодекс законів про працю України, а також спеціалізовані нормативні акти, які стосуються підприємств агропромислового комплексу, зокрема комбікормових заводів. Європейське законодавство, зокрема директиви ЄС, встановлює вимоги до управління ризиками, ідентифікації небезпек, безпеки обладнання та умов праці.

Основні вимоги до охорони праці включають:

Забезпечення безпечних умов праці та мінімізація ризиків, пов'язаних із впливом шкідливих факторів, таких як пил, шум, вібрація, небезпечні речовини та ризик травмування працівників. Згідно з Директивою 89/391/ЄЕС, роботодавці зобов'язані оцінювати ризики, впроваджувати заходи з їх мінімізації та інформувати працівників про потенційні небезпеки.

Встановлення відповідності виробничого обладнання та технологій до стандартів безпеки. Директива 2006/42/ЄС про машини визначає вимоги до проектування, експлуатації та обслуговування обладнання, а національні нормативні акти вимагають дотримання технічних регламентів.

Організація навчання працівників з питань охорони праці, надання інструкцій та регулярних інструктажів. Згідно з українським законодавством, роботодавець повинен проводити вступний, первинний та періодичний інструктаж, а в ЄС це регулюється принципами безперервного професійного розвитку.

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до умов праці, що передбачено як українським законодавством, так і Директивою 89/656/ЄЕС про використання засобів індивідуального захисту.

Контроль умов праці, включаючи моніторинг концентрації шкідливих речовин у повітрі, рівня шуму, температури, освітлення та інших факторів, що можуть впливати на безпеку та здоров'я працівників.

Нагляд за станом здоров'я працівників через періодичні медичні огляди, передбачені українським законодавством та Директивою 89/391/ЄЕС.

Наявність планів з ліквідації аварійних ситуацій, забезпечення евакуаційних шляхів та засобів пожежогасіння, що відповідає як українським вимогам, так і Директиві 89/654/ЄЕС про мінімальні вимоги до робочих місць.

Створення безпечних умов транспортування, зберігання та використання хімічних речовин відповідно до Директиви 98/24/ЄС про захист здоров'я працівників від ризиків, пов'язаних з хімічними агентами.

Таким чином, охорона праці на комбікормових підприємствах спрямована на інтеграцію заходів безпеки на всіх етапах виробничого процесу, адаптуючись до найкращих практик, що передбачені національними та міжнародними стандартами.

## **5.2 Проект інструкції з охорони праці**

### **при роботі з гравітаційним дозатором концентрованих кормів**

#### **1. Загальні положення**

1.1. Ця інструкція встановлює правила безпеки при роботі з гравітаційним дозатором концентрованих кормів (далі — дозатор).

1.2. До роботи з дозатором допускаються особи, які пройшли:  
медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я;  
навчання та інструктаж з охорони праці;  
навчання безпечному поводженню з обладнанням.

1.3. Працівник зобов'язаний:

дотримуватись правил охорони праці, встановлених цією інструкцією;  
використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), такі як захисні окуляри, рукавички, респіратор і спецодяг.

1.4. Заборонено працювати з дозатором у стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння, а також при погіршенні самопочуття.

## 2. Перед початком роботи

2.1. Перевірити наявність та справність ЗІЗ.

2.2. Провести зовнішній огляд дозатора:

перевірити відсутність видимих пошкоджень, деформацій та тріщин;  
переконатися, що рухомі частини працюють плавно і без сторонніх шумів.

2.3. Перевірити наявність захисних кожухів і огорожень на обладнанні.

2.4. Упевнитися в надійності кріплення дозатора до основи та відсутності вібрацій.

2.5. Перевірити роботу електричного живлення (якщо дозатор обладнано електронним блоком) відповідно до інструкції виробника.

2.6. У разі виявлення несправностей повідомити керівника та не розпочинати роботу до їх усунення.

## 3. Під час роботи

3.1. Суворо дотримуватися встановленого технологічного процесу дозування.

3.2. Не перевантажувати дозатор понад зазначену норму.

3.3. Заборонено:

працювати з дозатором при відкритих або знятих захисних огороженнях;  
стояти під завантажувальним отвором під час роботи;  
виконувати ремонт або очищення дозатора, якщо він перебуває в роботі.

3.4. Використовувати тільки ті види концентрованих кормів, для яких призначено дане обладнання.

3.5. У разі появи сторонніх шумів, вібрацій або інших несправностей негайно зупинити роботу дозатора, вимкнути його від джерела живлення та повідомити керівника.

3.6. Забезпечити чистоту робочої зони, своєчасно видаляти залишки кормів, щоб уникнути ковзання або накопичення пилу.

4. Після закінчення роботи

4.1. Вимкнути дозатор від джерела живлення.

4.2. Очистити дозатор від залишків кормів, використовуючи спеціальний інструмент або пристосування. Заборонено використовувати для цього руки.

4.3. Провести візуальний огляд обладнання для виявлення можливих пошкоджень або ознак зносу.

4.4. Відповідно до вимог, скласти звіт або повідомити керівника про виконану роботу та стан обладнання.

4.5. Зняти ЗІЗ і помістити їх у визначене місце зберігання.

5. Заходи безпеки у разі аварійних ситуацій

5.1. У разі аварійного відключення електроенергії або зупинки дозатора: негайно зупинити роботу, вимкнути дозатор і повідомити керівника; не намагатися самостійно усувати несправності, якщо це не входить у посадові обов'язки.

5.2. При травмуванні або виникненні загрози життю чи здоров'ю надати першу допомогу постраждалому, викликати швидку допомогу та повідомити про подію керівника.

6. Відповідальність за порушення інструкції

6.1. Працівники, які порушують вимоги цієї інструкції, несуть відповідальність згідно з чинним законодавством України.

6.2. У разі невиконання вимог охорони праці або навмисного пошкодження обладнання працівник може бути притягнутий до дисциплінарної, адміністративної або матеріальної відповідальності.

### **5.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях**

1. Виявлення пожежі або задимлення

1.1. Якщо ви виявили пожежу, задимлення або інші ознаки займання (запах гару, високу температуру):

Негайно повідомте про це інших працівників, використовуючи голосові сигнали чи засоби зв'язку.

Активуйте систему оповіщення про пожежу, якщо вона є, натиснувши ручний сповіщувач або іншим чином подаючи сигнал.

1.2. Повідомте відповідальну особу за пожежну безпеку та викличте пожежну службу за номером 101. Під час дзвінка вкажіть:

точну адресу підприємства;

місце займання (цех, склад тощо);

вид пожежі (матеріали, які горять);

свої контактні дані.

## 2. Евакуація працівників

2.1. Організуйте негайну евакуацію людей з небезпечної зони згідно з планом евакуації, використовуючи основні та резервні евакуаційні виходи.

2.2. Допоможіть людям, які потребують допомоги (особам з обмеженою мобільністю, новим працівникам або відвідувачам).

2.3. Не допускайте паніки: дотримуйтеся порядку та спокою.

2.4. Упевніться, що всі залишили небезпечну зону. Перевірте приміщення, у яких можуть залишатися люди, якщо це безпечно.

. Дії працівників підприємства до прибуття пожежної служби

3.1. Якщо пожежа незначна (горіння на початковій стадії), використовуйте первинні засоби пожежогасіння:

вогнегасники відповідного типу (вуглекислотні, порошкові, пінні);

пожежні крани (при наявності);

пісок, азбестове полотно або інші засоби для локалізації вогню.

3.2. Вимкніть електроживлення в зоні займання, якщо це можливо, для запобігання поширенню пожежі через електропроводку.

3.3. Заборонено:



намагатися гасити електричні установки під напругою водою чи пінним вогнегасником;

відкривати двері та вікна, якщо це може сприяти поширенню вогню через доступ кисню;

використовувати ліфти для евакуації.

#### 4. Після прибуття пожежної служби

##### 4.1. Повідомте керівника гасіння пожежі (КГП) про:

місце займання;

потенційно небезпечні речовини чи матеріали на об'єкті (хімічні сполуки, горючі речовини тощо);

заходи, які були вже вжиті.

4.2. Забезпечте доступ до гідрантів, насосних станцій або інших пожежогасильних систем.

4.3. Слідкуйте за вказівками КГП.

#### 5. Після ліквідації пожежі

5.1. Заборонено повертатися до приміщень до отримання дозволу від пожежної служби.

5.2. Повідомте керівництво про пожежу та співпрацюйте з відповідними службами для документування інциденту.

5.3. Організуйте огляд пошкоджених зон і визначте причини займання.

5.4. Проведіть аналіз події та організуйте додаткове навчання персоналу з питань пожежної безпеки.

#### 6. Запобіжні заходи

##### 6.1. Завжди дотримуйтесь правил пожежної безпеки:

не допускайте захаращення евакуаційних шляхів;

забезпечуйте регулярну перевірку пожежних систем і засобів пожежогасіння;

не використовуйте обладнання в аварійному стані.

6.2. Проводьте періодичні тренування з евакуації працівників та перевірки їх дій у разі пожежі.

Пам'ятайте: життя та безпека людей мають пріоритет перед захистом майна.

#### **5.4 Висновки**

Охорона праці на комбікормових підприємствах базується на дотриманні законодавчих норм України та європейських стандартів, що спрямовані на забезпечення безпеки працівників, збереження їхнього здоров'я та створення належних умов праці. Важливими аспектами є організація безпечної роботи обладнання, зокрема гравітаційного дозатора кормів, своєчасне навчання персоналу, використання засобів індивідуального захисту та дотримання правил евакуації й пожежної безпеки. Інтеграція цих заходів дозволяє мінімізувати ризики травматизму, професійних захворювань та аварій, сприяючи стабільному і ефективному функціонуванню підприємства.

## **6 Техніко-економічна оцінка розробленого дозатора комбікорму**

### **6.1 Вихідні дані**

Оцінка ефективності запропонованого впровадження може бути виконана по економічним показникам в результаті порівняння існуючої машини для дозування і запропонованої.

Порівнявши технологічні лінії приготування кормів за базовим варіантом і запропонованим, які включають: бункерів з компонентами, дробарки, дозатора і змішувача. Різниця між цими лініями в тому, що в першому варіанті використовується виробничий шнековий дозатор ШД-100, а в запропонованому варіанті використання розробленого гравітаційного дозатору.

Критерієм оцінки є річна економія коштів отримана від використання розробленого дозатора. Всі машини в технологічній лінії кормоприготування окрім дозаторів однакові для обох варіантів, тому при розрахунку річної економії витрат враховуємо тільки дозатор. Точність дозування дозатора ШД-100 згідно технічної характеристики знаходиться в межах 94-96%, а точність дозування запроєктованого дозатору згідно проведених експериментальних досліджень становить 98-100%. Для порівняння дозаторів приймаємо, що обидва дозатори будуть працювати на відгодівельній свинофермі яка має 1000 свиномісць.

### **6.2 Розрахунок показників економічної ефективності**

Порівняння базового та вдосконаленого дозатора здійснюється через аналіз питомих експлуатаційних витрат, які включають декілька основних складових. До цих витрат належать заробітна плата працівників, витрати на енергетичні ресурси, амортизаційні відрахування, а також витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання.

Для точної оцінки витрат ми використовуємо методики та рекомендації, викладені в джерелі [26]. Зокрема, ми вивчимо, як зміни у дизайні та технічних характеристиках удосконаленого дозатора можуть призвести до зниження експлуатаційних витрат, зокрема за рахунок зменшення споживання електроенергії завдяки використанню більш ефективних двигунів або зниження витрат на технічне обслуговування завдяки використанню міцніших матеріалів.

Окрема увага буде приділена аналізу трудових витрат, оскільки вдосконалений дозатор може підвищити продуктивність і скоротити час, необхідний для виконання робіт. Цей підхід дозволить оцінити економічні переваги нового обладнання, що сприятиме оптимізації загальних витрат на приготування комбікорму.

Таблиця 6.1 - Показники економічної ефективності розробленого дозатора

Показники	Одиниці виміру	Типовий варіант, ДШ-100	Новий варіант, гравітаційний дозатор
Маса дозатора	кг	90	100
Продуктивність	т/год	1	1
Потужність	кВт	0,5	0,1
Балансова вартість	грн.	22000	19800
Експлуатаційні витрати	грн.	34610,1	32916,42
Амортизаційні відрахування	грн.	3300	2970
Витрати на ремонт і ТО	грн.	3300	2970
Витрати на електроенергію	грн.	1292,1	258,42
Заробітна платня	грн.	26718	26718
Річний економічний ефект	грн.	-	165213,7
Термін окупності	роки	-	0,12

### **6.3 висновки**

Приведені розрахунки техніко-економічних показників проєктованого дозатора, показали наступні результати:

- Річна економія експлуатаційних витрат складає 1693,68 грн.
- Річна економічний ефект 165213,7 грн.
- Строк окупності капіталовкладення складає 0,12 року.

## Загальні висновки

За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Для забезпечення тварин якісними однорідними кормами необхідно постійно вдосконалювати і підвищувати ефективність машин і обладнання задіяних в технологічних процесах приготування кормів – у відповідності до вимог часу.

2. Основною задачею розробки нових машин по приготуванню кормів є підвищення якості отриманої продукції при мінімальних витратах енергії на виконання процесу. Виконання цієї задачі вимагає розробка і створення нових машин, а саме конструкцій дозаторів які можуть забезпечувати точність дозування 98-100% присталій продуктивності .

3. Дозуючі пристрої, що використовуються на сьогоднішній день не задовольняють сучасних вимог до точності відмірювання доз. І не можуть забезпечити якісне дозування для сипких кормів з різними механіко-технологічними властивостями.

4. Огляд існуючих конструкції і дослідження процесу дозування різними вченими показав, що для підвищення якості роботи дозаторів і зниження енергетичних витрат можна здійснювати за рахунок використання в їх роботі – сталих, постійних сил, я сила гравітації.

5. За результатами проведених досліджень, було запропоновано нову конструкцію дозатора, розроблено експериментальну установку і проведено дослідження процесу роботи на даній установці.

6. За результатами обробки експериментальних даних було проведено аналіз впливу факторів на точність дозування, рекомендовані наступні робочі параметри розробленого дозатора:

- при дозуванні фракції  $f = 3\text{мм}$  і більше: швидкість опускання заслінки повинна знаходитись в межах від 2 до 3,5 м/с, а кут між перетинками 10-30°.

- при дозуванні фракції  $f = 2$ : швидкість опускання заслінки від 1,75 до 3,5 м/с, а кут між перетинками 10-30°.

7. Проведені розрахунки техніко-економічних показників розробленого дозатора в порівнянні з серійним дозатором ШД-100 показали:

- Річна економія експлуатаційних витрат складає 1693,68 грн.
- Річна економічний ефект 165213,7 грн.
- Строк окупності капіталовкладення складає 0,12 року.

За результатами проведених досліджень і отриманих результатів, можна зробити висновок, що запропонована нами конструкція дозатора, в порівнянні з існуючим обладнанням має: значно простішу конструкцію, проста в налаштуванні на необхідну дозу, має високу надійність і точність дозування при малих енерговитратах. Розроблену конструкцію можна пропонувати до впровадження у виробництво.

## Бібліографія

1. Д.І. Бойко. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми багатокомпонентного дозатора-змішувача інгредієнтів комбікорма. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вісник ХНТУ, 2015, випуск 45, ч. 1. С. 284-290.
2. Бойко І.Г. Аналіз конструкцій дозаторів сипучих кормів безперервної дії і основні напрямки їх удосконалення / Бойко І.Г., Скорик О.П., Русальов О.М. // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ ім Петра Василенка. – Харків, ХДТУСГ, 2004. – Вип. 29. – С. 347-350.
3. Проваторов, Г.В. Норми годівлі, раціони і поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин / Г.В. Проваторов, В.І. Ладика, Л.В. Бондарчук. – Суми: Університетська книга, 2009. – 489 с.
4. Піщелка В.А. Стан та перспективи розвитку комбікормової галузі в Україні / В.А.Піщалька // Ефективні корми. – 2016. №3. – С. 5–8.
5. Семенцов В.І., Бойко І.Г. Спосіб змішування сипучих матеріалів і обладнання для його реалізації // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004.– №4.– С.110-111.
6. Пат. 64665 Україна, МПК В01F 7/26, А23N 17/00. Відцентровий змішувач сипучих компонентів / Бойко І.Г., Семенцов В.І.; заявник і патентовласник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – № 20031211042; заявл. 05.12.2003; опубл. 15.02.2007, Бюл. №2.
7. Семенцов В.І., Бойко І.Г. Відцентровий змішувач сипучих кормів // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні: Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2004. – Вип.24. – С.336–338.
8. Пат. 92011Україна, МПК G01F 11/00. Дозатор твердих сипких і рідких матеріалів / Кіряцев Л.О., Різоль Ю.О.; винахідники і власники; заявл.24.02.14;опуб. 25.07.2014, Бюл. № 14.



9. Пат. 91683 Україна, МПК G01F 11/00. Багатокомпонентний дозатор твердих сипких і рідких матеріалів / Кіряцев Л.О., Різоль Ю.О.; винахідники і власники; заявл.24.02.14;опуб. 10.07.2014, Бюл. № 13.

10. Пат. 85174Україна, МПК G01F 11/00. Змішувач сипких матеріалів / Кіряцев Л.О., Різоль Ю.О.; винахідники і власники; заявл.24.05.13;опуб. 11.11.2013, Бюл. № 21.

11. Пат. 91684 Україна, МПК G01F 11/00. Змішувач / Кіряцев Л.О., Різоль Ю.О.; винахідники і власники; заявл.24.02.14;опуб. 10.07.2014, Бюл. № 13.

12. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна [Текст]: / укладачі Є.А. Дмитрук, О.І. Гапонюк та інші. – Київ, Одеса: Друкарський дім, 1995. – 131 с.

13. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.

14. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.

15. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5

16. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p

17. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш

//Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.

18. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

19. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка//Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia– 36-39 s.

20. Дудін В.Ю. Дослідження подрібнювача фуражного зерна сколюючої дії / В.Ю. Дудін, О.М. Антіпов // Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia -33-35 s.

21. Закон України «Про охорону праці»

22. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»

23. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»

24. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»

25. Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53).

26. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.

## **ДОДАТКИ**

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра інжинірингу технічних систем

## Підвищення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгМ-3-23  
Косолап Станіслав Олексійович

**Керівник:** к.т.н., доцент  
Трипутень Микола Мусійович

Дніпро 2024

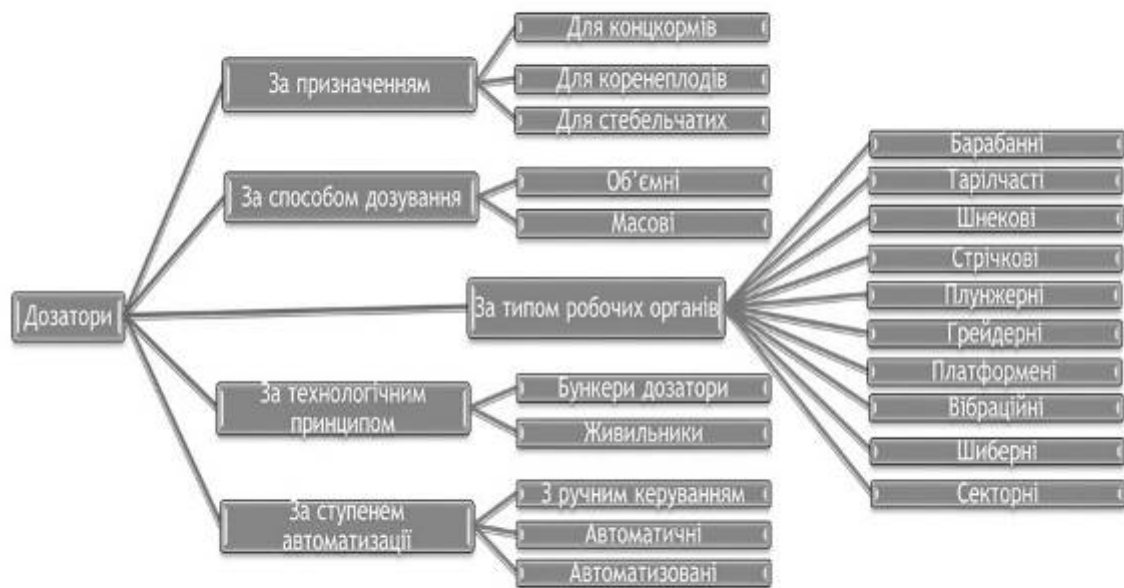
### МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основною метою роботи є підвищення якості змішування кормових сумішей шляхом використання дозатора гравітаційного типу з обґрунтуванням його конструктивно-режимних параметрів. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати кілька важливих завдань.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі **задачі**:

- розробити та обґрунтувати конструктивно-технологічну схему експериментального дозатора гравітаційної дії.
- провести теоретичні дослідження процесу дозування сипких матеріалів
- виконати лабораторні дослідження, спрямовані на оцінку впливу конструктивно-режимних параметрів дозатора на якість змішування.
- розробити заходи з охорони праці
- провести техніко-економічну оцінку дозатора

### АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ



Класифікація дозаторів

3

### АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Технологічна схема дозатора	Характеристика якості роботи	Енергоємність процесу дозування	Недоліки конструкції дозатора
 Гравітаційний	Задовільно працює при дозуванні добре сипких матеріалів	Дорівнює нулю	Не здатні для дозування порошкоподібних матеріалів і вологої кормової суміші
 Вібраційний	Задовільно працює при дозуванні зернистих сипких матеріалів	2,6 кВт год/т	Пульсуюча видача і розділення на фракції дозуючого матеріалу
 Шнековий	Задовільно працює при дозуванні зернистих матеріалів і вологої кормової суміші	26,5 кВт год/т	Пульсуюча видача і часткове подрібнення сипкого матеріалу та велика енергоємність
 Тарілчастий	Задовільно працює при не значній продуктивності	8,3 кВт год/т	Чутливий до зміни механіко-технологічних властивостей, не забезпечує заданої точності дозування
 Стрічковий	Задовільно працює при дозуванні зернистих сипких матеріалів	18,4 кВт год/т	Значна нерівномірність дозування, чутливий до механіко-технологічних властивостей.

4

### АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Технологічна схема дозатора	Характеристика якості роботи	Енергосмість процесу дозування	Недоліки конструкції дозатора
 Тросово-ланцюговий	Задовільно працює в лініях роздавання комбікормів в птахівничих приміщеннях і на доільних установках	12,3 кВт год/т	Чутливий до механіко-технологічних властивостей дозованих матеріалів
 Ланцюговий	Задовільно працює в лініях роздавання комбікормів для птиці і свиней	11,7 кВт год/т	Чутливий до механіко-технологічних властивостей дозованих матеріалів
 Каретний	Задовільно працює при дозуванні зернистих сипких матеріалів	6,6 кВт год/т	Пульсуюча видача і розділення на фракції дозуючого матеріалу
 Маятниковий	Задовільно працює при дозуванні порошкоподібних сипких матеріалів	5,2 кВт год/т	Відносно невелика продуктивність, часткове розділення на фракції

5

### ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

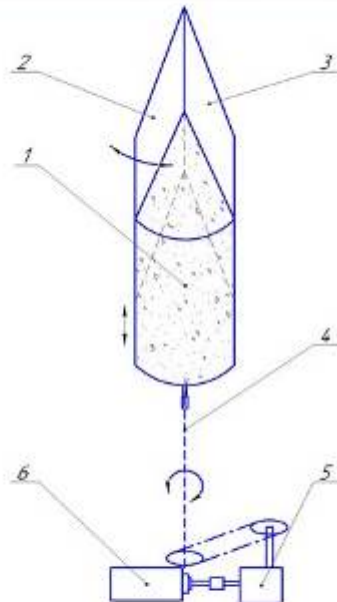
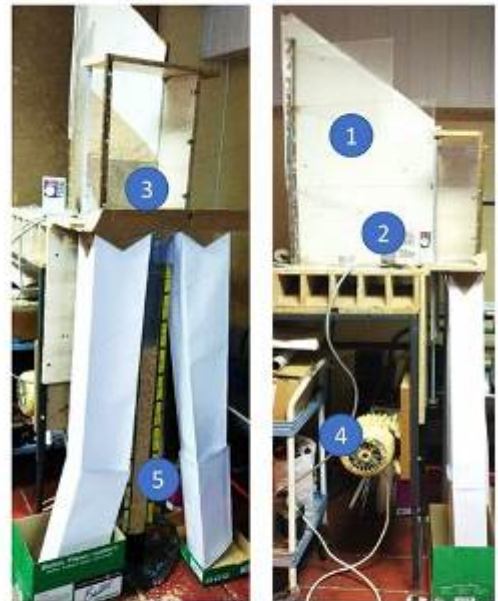


Схема дозатора гравітаційного типу : 1 – Рухома стінка-заслінка; 2 – рухома бічна стінка; 3 – нерухома бічна стінка; 4 – гвинт приводу заслінки; 5 – редуктор; 6 – електродвигун



Загальний вид дозатора гравітаційного типу: 1 – бункер; 2 – частотний перетворювач; 3 – рухома заслінка; 4 – привід; 5 – пробовідбірник з вимірною шкалою

6

## ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджувалась сталість дозування протягом всього робочого циклу  $Q$  від трьох факторів: фракції компоненту  $F(x_1)$ , швидкості опускання рухомої заслінки  $V(x_2)$  та величини кута стінок дозатора  $\alpha(x_3)$ .

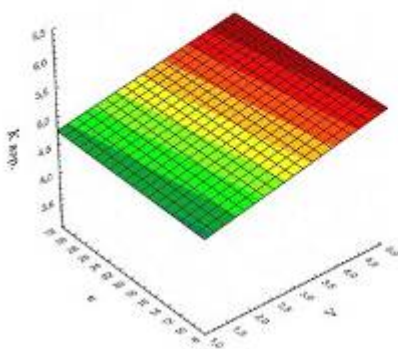
Матриця для проведення багатofакторного експерименту

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	F	V	$\alpha$	Y1	Y2	$Y_{cp}$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	2	1,5	10	6,2	6,15	6,175
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	2	1,5	30	4,2	4,3	4,25
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	2	4,75	10	3,5	3,4	3,45
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	2	4,75	30	5,8	5,9	5,85
5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	3	1,5	10	4,5	4,6	4,55
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	3	1,5	30	4,3	4,2	4,25
7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	3	4,75	10	5,9	6,4	6,15
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3	4,75	30	6,3	6,2	6,25

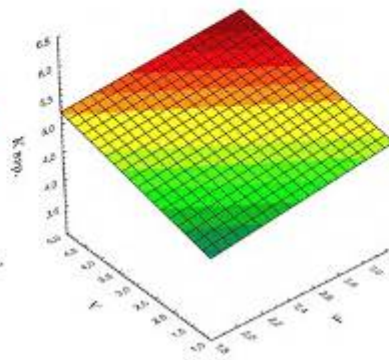
Кожен дослід плану повторювався двічі, відповідно було отримано значення коефіцієнту варіації продуктивності Y1 та Y2.

7

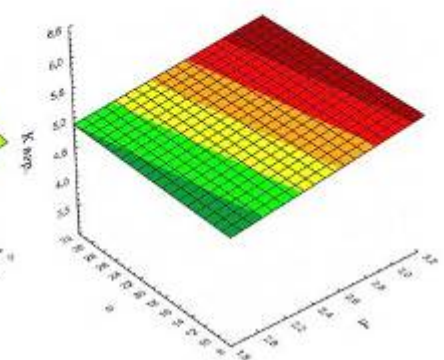
## ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Залежність коефіцієнта варіації від величини кута між стінками дозатора та швидкості опускання рухомої заслінки



Залежність коефіцієнта варіації від величини фракції компонента дозування та швидкості опускання рухомої заслінки



Залежність коефіцієнта варіації від величини фракції компонента дозування та кута між стінками

Для забезпечення високої точності дозування на дозаторі даного типу рекомендуємо наступні параметри налаштувань:

- при дозуванні фракції  $f = 3$  і більше: швидкість опускання заслінки повинна знаходитись в межах від 1,5 до 4,75 мм/с, а кут між стінками не повинен бути менше  $10^\circ$ .

- при дозуванні фракції  $f = 2$  і більше: швидкість опускання заслінки від 1,5 до 4 мм/с, а кут між перетинками не в межах  $10...30^\circ$ , при порушенні встановлених меж якість дозування різко погіршується.

8

## ОХОРОНА ПРАЦІ

Карта контролю показників безпеки дозатора

Небезпечна зона	Вузол машини	Небезпечний вплив	Заходи
I	Багатокomпонентний бункер	Висота обслуговування	Облаштувати драбиною, містки з огороженням
II	Бункер дозатора	Запиленість	Размістити попереджувальні знаки Не виконувати завантаження при відкритих захисних кожухах. Використовувати засоби індивідуального захисту
		Висота обслуговування	Облаштувати аспіраційними камерами Облаштувати містки з огороженням
III	Видантажувальні канали	Зворотнього поступального рух, передньої стінки бункера, запиленість	Размістити попереджувальні знаки Не вмикати дозатор з відкритими захисними кожухами Облаштувати аспірацією відвантажувальні канали
IV	Вихід дозованих компонентів	Вихід суміші разом з запиленим повітрям	Размістити попереджувальні знаки Не виконувати завантаження при відкритих захисних кожухах. Використовувати засоби індивідуального захисту Встановити аспіраційний зонтик
V	Привід передньої рухомої стінки	Обертальний рух, ураження електричним струмом	Размістити попереджувальні знаки Виконати заземлення Встановити захисний кожух
VI	Збірний транспортер	Рухома стрічка	Размістити попереджувальні знаки Встановити захисний кожух

9

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Показники	Одиниці виміру	Типовий варіант, ДШ-100	Новий варіант, гравітаційний дозатор
Маса дозатора	кг	90	100
Продуктивність	т/год	1	1
Потужність	кВт	0,5	0,1
Балансова вартість	грн.	22000	19800
Експлуатаційні витрати	грн.	34610,1	32916,42
Амортизаційні відрахування	грн.	3300	2970
Витрати на ремонт і ТО	грн.	3300	2970
Витрати на електроенергію	грн.	1292,1	258,42
Заробітна платня	грн.	26718	26718
Річний економічний ефект	грн.	-	165213,7
Термін окупності	роки	-	0,12

10



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Для забезпечення тварин якісними однорідними кормами необхідно постійно вдосконалювати і підвищувати ефективність машин і обладнання задіяних в технологічних процесах приготування кормів – у відповідності до вимог часу.

2. Основною задачею розробки нових машин по приготуванню кормів є підвищення якості отриманої продукції при мінімальних витратах енергії на виконання процесу. Виконання цієї задачі вимагає розробка і створення нових машин, а саме конструкцій дозаторів які можуть забезпечувати точність дозування 98-100% присталій продуктивності.

3. Дозуючі пристрої, що використовуються на сьогоднішній день не задовольняють сучасних вимог до точності відмірювання доз. І не можуть забезпечити якісне дозування для силних кормів з різними механіко-технологічними властивостями.

4. Огляд існуючих конструкцій і дослідження процесу дозування різними вченими показав, що для підвищення якості роботи дозаторів і зниження енергетичних витрат можна здійснювати за рахунок використання в їх роботі – сталих, постійних сил, а сила гравітації.

5. За результатами проведених досліджень, було запропоновано нову конструкцію дозатора, розроблено експериментальну установку і проведено дослідження процесу роботи на даній установці.

6. За результатами обробки експериментальних даних було проведено аналіз впливу факторів на точність дозування, рекомендовані наступні робочі параметри розробленого дозатора:

- при дозуванні фракції  $f = 3\text{мм}$  і більше: швидкість опускання заслінки повинна знаходитись в межах від 2 до 3,5 м/с, а кут між перетинками 10-30°.

- при дозуванні фракції  $f = 2$ : швидкість опускання заслінки від 1,75 до 3,5 м/с, а кут між перетинками 10-30°.

7. Проведені розрахунки техніко-економічних показників розробленого дозатора в порівнянні з серійним дозатором ШД-100 показали:

- Річна економія експлуатаційних витрат складає 1693,68 грн.
- Річна економічний ефект 165213,7 грн.
- Строк окупності капіталовкладення складає 0,12 року.

За результатами проведених досліджень і отриманих результатів, можна зробити висновок, що запропонована нами конструкція дозатора, в порівнянні з існуючим обладнанням має: значно простішу конструкцію, проста в налаштуванні на необхідну дозу, має високу надійність і точність дозування при малих енерговитратах. Розроблену конструкцію можна пропонувати до впровадження у виробництво.