

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"
на тему:

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів роторного змішувача
комбікормів періодичної дії**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАі-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Кочережко Назар Васильович

Керівник: _____ Алієв Ельчин Бахтияр огли

Рецензент: _____ Луц Павло Михайлович

Дніпро, 2023

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

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 20__ р.

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

Кочережко Назару Васильовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів роторного змішувача комбікормів періодичної дії

керівник роботи Алієв Ельчин Бахтияр огли, д-р техн. наук, старший дослідник

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« ____ » _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі механізації тваринництва та існуючих технічних засобів для змішування комбікормів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасного стану проблеми та визначення напрямків досліджень. 2. Теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічних змішувача комбікормів періодичної дії. 3. Програма і методика проведення експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність використання змішувача комбікормів періодичної дії. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень (2 аркуша, А4). 2. Аналіз конструкцій змішувачів (3 аркуша, А4). 3. Чисельне моделювання (4 аркушів, А4). 4 Експериментальні дослідження (3 аркуша, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Алієв Е. Б., професор		
2	Алієв Е. Б., професор		
3	Алієв Е. Б., професор		
4	Алієв Е. Б., професор		
5	Алієв Е. Б., професор		
6	Алієв Е. Б., професор		
Нормоконтроль	Івлєв В. В., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний		
2	Теоретичний		
3	Експериментальний		
4	Охорона праці		
5	Економічний		
6	Демонстраційна частина		

Студент

(підпис)

Кочережко Н. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Алієв Е. Б.

(прізвище та ініціали)

Кочережко Н. В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів роторного змішувача комбікормів періодичної дії. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

В першому розділі розглянуто технологію приготування комбікормів, проведено аналіз технічного забезпечення процесів змішування компонентів комбікормів. В другому розділі проведено чисельне моделювання технологічного процесу змішування. Тема третього розділу фокусується на програмі та методології проведення експериментальних досліджень. В четвертому розділі приведені результати дослідження динаміки однорідності суміші. Наведено розрахунок енерговитрат змішувача. Представлено порівняння результатів експериментальних і теоретичних досліджень. Розділ, присвячений питанням охорони праці, розглядає можливості вдосконалення організаційних та технічних аспектів забезпечення безпеки праці під час роботи на розробленій машині. В розділі 6 приведена техніко-економічна оцінка та показана економічна доцільність прийнятих рішень.

Ключові слова: комбікорм, змішувач, моделювання, параметри, нахил лопаті, частота обертання, якість змішування, енерговитрати, ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 СТАН І НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Технологія приготування комбікормів.....	10
1.2 Аналіз технічного забезпечення процесів змішування компонентів комбікормів.....	14
1.3 Критерії оцінки якості змішування.....	26
1.4 Висновки з розділу.....	28
2 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ	29
2.1 Конструкційно-технологічна схема роторного змішувача.....	29
2.2 Методика чисельного моделювання	30
2.3 Результати чисельного моделювання	34
2.4 Висновки з розділу.....	39
3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	41
3.1 Програма досліджень	41
3.2 Опис лабораторної установки роторного змішувача	41
3.3 Методика експериментального дослідження.....	43
4 РЕЗУЛЬТАТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	46
4.1 Дослідження динаміки однорідності суміші	46
4.2 Визначення енерговитрат змішувача.....	54
4.3 Порівняння результатів експериментальних і теоретичних досліджень	60
4.4 Висновки з розділу.....	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
5.1 Терміни та поняття загального характеру	63
5.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів у робочому середовищі	64

5.3	Методи захисту працівників від впливу небезпечних і шкідливих факторів на робочому місці	66
5.4	Правила безпечного виконання робіт при виробництві комбікормів	67
5.5	Дій під час надзвичайних ситуаціях	70
5.6	Висновки з розділу.....	71
6	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОТОРНОГО ЗМІШУВАЧА.....	72
6.1	Вихідні данні	72
6.2	Розрахунок економічних показників	73
6.3	Висновки з розділу.....	78
	ВИСНОВКИ.....	79
	Бібліографія.....	81

ВСТУП

Підвищення результативності сільськогосподарського виробництва стає можливим лише при високій продуктивності тварин. Ця продуктивність, у свою чергу, залежить від раціональної годівлі. Для цього в раціони вводяться готові комбіновані корми, премікси, білкові, вітамінні та мінеральні добавки. Придбання готових сухих сумішей та комбінованих кормів призводить до збитків, пов'язаних із витратами на транспортування. Крім того, власні ресурси залишаються невикористаними. Це спричинює підвищення вартості кінцевої продукції. З цієї причини найбільш оптимальним рішенням є виробництво комбінованих кормів на місці їх використання. Виробництво корму об'єднує всі галузі сільськогосподарського сектору (аграрний сектор, рослинництво, тваринництво), екологічні аспекти, управління сільськогосподарськими земельними ресурсами, раціональне природокористування та має значні можливості для розвитку. Останнім етапом у процесі приготування комбікормів є змішування. Засоби для змішування сипких кормів, які виготовляються серійно, не гарантують відповідної однорідності суміші.

З погляду зоотехніки важливо не лише включити в склад кормової суміші компоненти, передбачені раціоном, у необхідному співвідношенні, але й забезпечити рівномірне розподілення всіх компонентів по всьому об'єму суміші. Однорідність суміші гарантує рівномірність поживної цінності корму у всіх його частинах.

Виготовлення високоякісних комбікормів і кормосумішей нині є нагальним завданням для сільськогосподарських підприємств. Для досягнення цієї мети важливо використовувати нові, високоефективне устаткування, наприклад змішувачі. Виробництво такої продукції є складним процесом, в якому ключовим етапом є ефективне змішування. Одним з поширених методів змішування є використання лопатей, що рухаються, обертання резервуара змішувача, проходження маси через сопла зі стиснутим повітрям, рідиною чи парою, вплив вібрацій, ультразвуку тощо. Однак існуючі технічні рішення не завжди забезпечують високоякісне та однорідне

змішування на мікроструктурному рівні. В даний час при створенні нового покоління змішувачів сухих кормових сумішей віддається перевага змішувачам, що обертаються. Проведений аналіз можна стверджувати про недостатній рівень досліджень процесу змішування компонентів кормів в роторному змішувачі періодичної дії.

Метою даного дослідження є оптимізація технологічного процесу змішування сипких компонентів комбікормів через обґрунтування параметрів роторного змішувача періодичної дії з метою підвищення ефективності цього процесу.

Для досягнення мети вирішувалися такі задачі: створити модель процесу змішування сипких компонентів комбікормів в роторному змішувачі періодичної дії; провести чисельне моделювання процесу змішування сипких компонентів комбікормів в роторному змішувачі періодичної дії; виготовити лабораторний зразок роторного змішувача періодичної дії і розробити методику експериментальних досліджень; провести експериментальні дослідження процесу змішування сипких компонентів комбікормів в роторному змішувачі періодичної дії.

Об'єкт дослідження – роторний змішувач періодичної дії. Предмет дослідження – закономірності робочого процесу змішування компонентів комбікормів.

Для проведення досліджень використовувалися чисельні методи моделювання у програмному пакеті Simcenter Star-CCM+, статистичний аналіз та експериментальні підходи, такі як візуальне спостереження, лабораторні експерименти, порівняння отриманих експериментальних результатів з теоретичними.

1 СТАН І НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Технологія приготування комбікормів

Сьогодні є тенденція готувати комбікорми самостійно в господарстві, тому що це економічно вигідніше – комбікорми значно дешевші. Малими фермами активно користуються малосерійні комплекси для виробництва повноцінних комбікормів із наявних інгредієнтів, використовуючи стандартні рецепти або ті, які розроблені спеціалістами у галузі сільського господарства. Завдяки їхній відносно невеликій вартості та швидкій окупності інвестицій, ці комплекси мають широке застосування. Основною тенденцією вдосконалення цих пристроїв є зниження енергоємності та металомісткості без шкоди для якості харчових продуктів [2].

На даний момент існує кілька стандартних варіантів технології виробництва комбікормів в аграрному секторі.

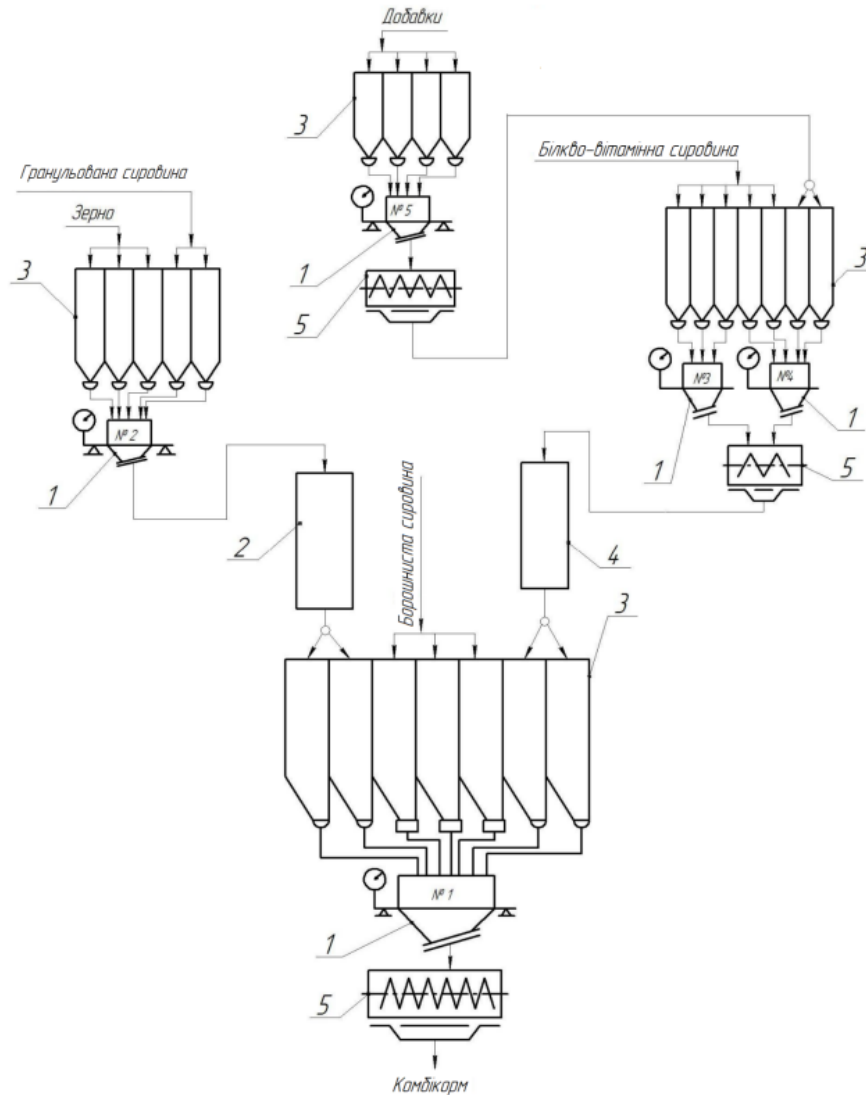
До них відносяться [2, 3]:

- послідовно – паралельне приготування всіх компонентів і разове дозування (класична схема);
- формування попередньої суміші зернової сировини, білків і мінеральних речовин у повторних дозах;
- формування попередньої суміші зернової сировини, білків і мінеральних речовин без необхідності повторного дозування;
- лінійний метод.

Для роботи в сільськогосподарських умовах найкраща схема формування попередньої суміші зернових, білкової та мінеральної сировини в повторних дозах (рис.1.1) [5].

В цій технологічній схемі створюються різні суміші, які відповідають специфічним потребам виробництва та послідовності виконання робіт.

Заздалегідь готові суміші подаються до наддозаторних бункерів і потім проходять повторне дозування через основну лінію дозування та змішування. При одночасній роботі ліній відбувається обробка попередніх сумішей в одному потоці. Цей процес повторного дозування дещо ускладнює і подорожчує технологію, але збільшує точність дозування, що забезпечує вищу якість кормів [5, 6].

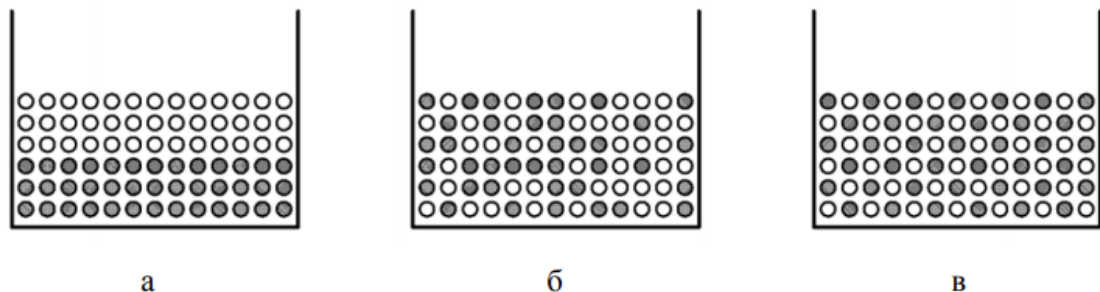


- 1 – багатоконпонентний ваговий дозатор; 2 – обробка попередньої суміші;
 3 – наддозаторні бункери; 4 – обробка попередньої суміші білково-мінеральної сировини; 5 – порційний змішувач кормів

Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу приготування комбікормів з утворенням попередніх сумішей

При будь-якій технологічній схемі виробництва сипучих сухих кормових сумішей обов'язкові операції змішування і наявність машини для цієї операції - кормозмішувача [6]. З рисунку 1.1 видно, що в розглянутій технологічній схемі передбачено використання кількох змішувачів. Основною метою будь-якого змішувача є забезпечення потрібної якості суміші при мінімальних енергетичних витратах [7].

Змішування – це механічний процес, який рівномірно розподіляє частинки окремих компонентів по всьому об'єму суміші під впливом зовнішньої сили для досягнення певної консистенції.



а – початковий стан; б – розподіл компонентів під час змішування відповідно до статистичних закономірностей;

в – суміш, яка має ідеально однорідну структуру (практично недосяжна)

Рисунок 1.2 – Стадії змішування двох компонентів

Аналіз вказує на те, що процес змішування можна умовно поділити на три елементарних процеси (рис. 1.2) [8]:

1. Конвективне змішування: Цей процес включає в себе поступове переміщення частинок різних компонентів з одного об'єму суміші в інший шляхом їх проникнення та ковзання між шарами.

2. Дифузійне змішування: Це етапне переміщення частинок різних компонентів через новоутворені межі їх розділення в об'ємі суміші..

3. Сегрегація: Це утворення концентрованих груп частинок, які подібні за формою, масою і розмірами, у різних зонах змішувача.

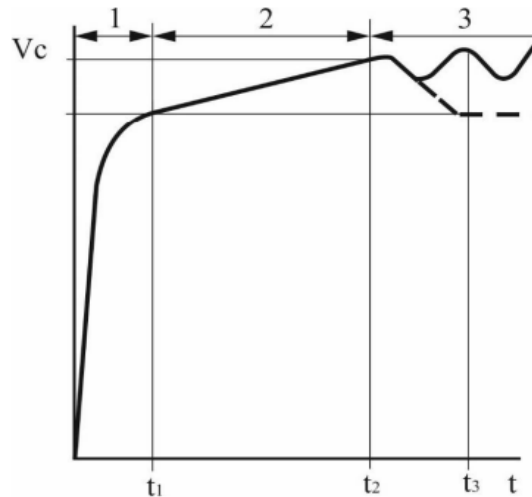


Рисунок 1.3 – Кінематика процесу змішування

Для змішувачів періодичної дії, як правило, можна вказати наявність трьох основних областей на кривій, яка характеризує процес, яка називається кривою змішування (рис. 1.3). Якщо поділити час змішування на три частини, то на початковому етапі переважає конвективне змішування, на середньому - дифузійне, а на заключному - сегрегація. Важливо враховувати, що існує можливість того, що протягом певного періоду сегрегація стане домінуючим процесом, і частинці суміші частково розділяться знову. Перші два процеси сприяють однорідному розподілу частинок в суміші, тоді як останній ускладнює цей процес. Тому рекомендується завершувати процес змішування наприкінці середнього етапу.

У періоді I переважає конвективне змішування, що призводить до зменшення обсягів блоків з частинок окремих компонентів та їхнього рознесення робочими органами змішувача за внутрішнім його обсягом. Цей період характеризується різким зниженням значень коефіцієнта неоднорідності. На етапі конвективного змішування швидкість процесу практично залежить від фізико-механічних властивостей суміші, оскільки змішування відбувається на рівні великих об'ємів. Ключовий вплив на цю швидкість у ці моменти часу визначається характером руху потоків частинок у змішувачі..

Після руйнування блоків з однакових частинок процес змішування йде вже на рівні окремих частинок компонентів (II період). Цей період перерозподілу частинок схожий на процес дифузії молекул газу, тому його називають періодом дифузійного змішування. У другому періоді йдуть як процеси дифузійного змішування, і сегрегації, швидкості протікання яких можна порівняти.

У третьому (III) періоді сумарна швидкість процесів конвективного і дифузійного змішування стає рівною швидкості сегрегації частинок у силовому полі, тому коефіцієнт неоднорідності стає величиною постійної. Час настання цього моменту є оптимальним часом змішування, що залежить від типу змішувача, його режиму роботи та фізико-механічних властивостей компонентів суміші. Гранично досягне значення коефіцієнта неоднорідності визначається експериментально.

Для певних видів змішувачів, при обробці зернистих матеріалів, що складаються з однорідних частинок, практично відсутній період II, тобто граничний стан суміші досягається виключно за допомогою конвективного змішування.

1.2 Аналіз технічного забезпечення процесів змішування компонентів комбікормів

На сучасний момент існує різноманіття моделей змішувачів, вироблених як промисловими виробниками, так і індивідуальними конструкторськими моделями, які були розроблені науково-дослідними інститутами та конструкторськими бюро. Вони виготовлені як фахівцями та раціоналізаторами підприємств. Кількість конструктивних варіантів є великою, і багато з них захищені патентами та авторськими свідоцтвами.

Одним із головних завдань при проектуванні нового змішувача було зниження питомих енерговитрат на процес змішування при збереженні технічних вимог до отриманої суміші. Оптимізація робочих органів змішувача та вдосконалення режимів їх роботи є одним із способів досягнення цих вимоги.

Було проведено аналіз існуючих варіантів для визначення найбільш перспективних конструкцій змішувачів. За вже існуючими класифікаціями змішувачів кормів була розроблена деталізована класифікація, зосереджена на типі робочого органу. [2, 5, 9, 10, 11, 12, 13].

Всі змішувачі класифікуються за кількома ознаками.

Залежно від призначення виробництва розрізняють змішувачі для перемішування сухих, рідких, напіврідких і пастоподібних продуктів, а також змішувачі універсального призначення [11].

Згодовування сухих розсипних комбикормів має багато переваг: скорочення витрат на приготування та транспортування, тривалий термін зберігання готових кормів без ризику псування, зменшення втрат корму під час споживання, його легше механізувати та автоматизувати процес приготування та роздачі .

В залежності від частоти обертання робочих органів можна відокремити змішувачі на тихохідні та швидкохідні згідно їхнього кінематичного режиму роботи. Це розподілення здійснюється на підставі показника кінематичного режиму, який визначається за допомогою формули. [13].

$$k = \frac{w^2 R}{g} \quad (1.1)$$

де w – кутова швидкість, c^{-1} ;

R – радіус обертання, м

При значеннях параметра k менше 30, то змішувач являється тихохідним, в той час як значення більше 30 вказує на швидкохідний змішувач. Швидкохідні змішувачі не є універсальними для всіх типів кормів. Незважаючи на те, що вони вимагають менше часу для приготування порівняно з тихохідними, їхній розхід енергії на одиницю корму є вищим. Висока швидкість обертання робочих органів також може призводити до занадто інтенсивного подрібнення складників корму, тоді як це не відповідає зоотехнічним вимогам..

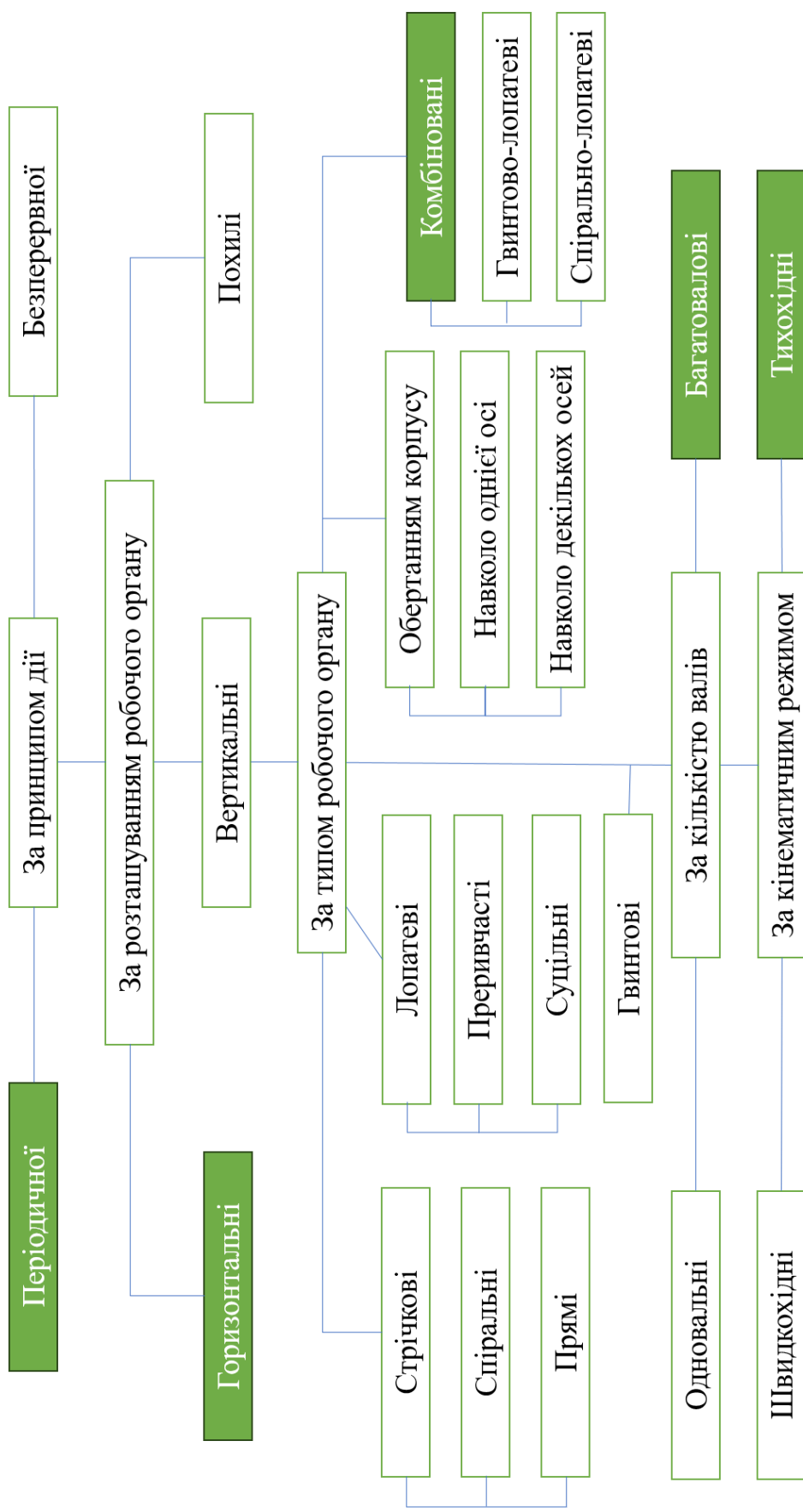


Рисунок 1.4 – Класифікація змішувачів кормів

За способом змішування всі змішувачі поділяють на дві категорії: безперервної і періодичної дії. Ефективне використання змішувачів безперервної дії розумне лише при великих обсягах виробництва. Ці змішувачі не знаходять великої популярності в галузі сільського господарства із-за труднощів у точному дозуванні потоків сипучих матеріалів у точно визначених пропорціях. [14]. Незважаючи на це, у них є кілька переваг у порівнянні із змішувачами періодичної дії: велика продуктивність, змога повної автоматизації плинного виготовлення суміші, можливість монтажу в технологічних лініях безперервної дії без додаткових ємностей, а також менші витрати енергії та матеріалів. Рівень якості змішування у змішувачах безперервної дії має залежність від рівномірності подачі компонентів, рівня їх подрібнення та часу дії робочого органу на суміш. [15, 16].

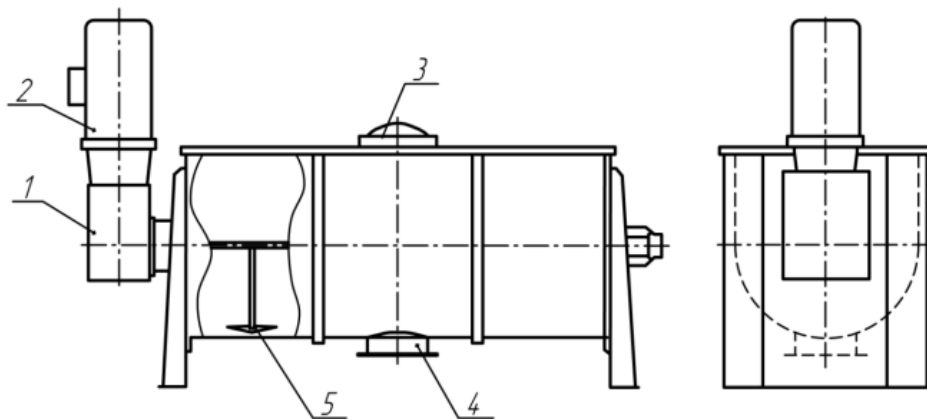
Змішувачі періодичної дії широко застосовуються для виробництва комбікормів і кормових сумішей у сільському господарстві, а також на невеликих комбікормових установках [17]. Ці змішувачі можуть бути стаціонарними або мобільними. Однією з їх технологічних переваг є можливість використання дозування по вазі, це дозволяє приготувати харчові суміші з мінімальними відхиленнями в складі інгредієнтів та автоматизувати процес приготування суміші за певною формулою. У цих міксерах під час роботи є можливість замінити технологічні налаштування, додавати домішки в різному порядку [18].

За структурним рисою змішувачі можуть мати стаціонарний або рухомий бункером. Плюсом змішувачів із обертовий бункером є відсутність допоміжних робочих органів та висока щільність, оскільки бункер виготовлений без технологічних отворів для валів робочих органів. Це спрощує конструкцію, але потребує застосування вузлів з підвищеною вантажопідйомністю підшипників, що може призвести до збільшення вартості. Також ці змішувачі мають невелику продуктивність через знижені значення коефіцієнта наповнення, пов'язані з особливостями процесу змішування [19, 20, 21]. Наявність обертового бункера без

захисного кожуха створює велику небезпеку для робітників. У комбікормовій індустрії найбільш поширені змішувачі з нерухомим бункером.

В змішувачах чисельність валів з робочими органами варіюється зазвичай встановлюється від одного вала до чотирьох валів. Одновальний горизонтальний змішувач зазвичай працює в безперервному режимі, що означає високу продуктивність, але низьку якість змішування та громіздку конструкцію.

Змішувач сухих сипучих матеріалів «СМ ТУРБОМІКС 500» (рис. 1.5) – це пристрій циклічної дії, що застосовується для особливо якісного насиченого змішування сухих сипучих матеріалів. Добротність та продуктивність перемішування сипучого матеріалу гарантуються формою та порядком положення робочих органів змішувального механізму .



- 1 – редуктор; 2 – електродвигун; 3 – завантажувальний люк; 4 – вивантажний люк;
5 – лопатка змішувального вузла

Рисунок 1.5 – Схема змішувача сухих сумішей «СМ Турбомікс 500»

Зараз використання одновальних змішувачів із вертикальним розташуванням робочого органу є досить поширеним. Однак, зазвичай, такі змішувачі мають значну висоту, що може бути не дуже зручним для малих підприємств. З точки зору оптимальних питомих витрат енергії та якості суміші, двохвального конструкція є найбільш вигідною [22].

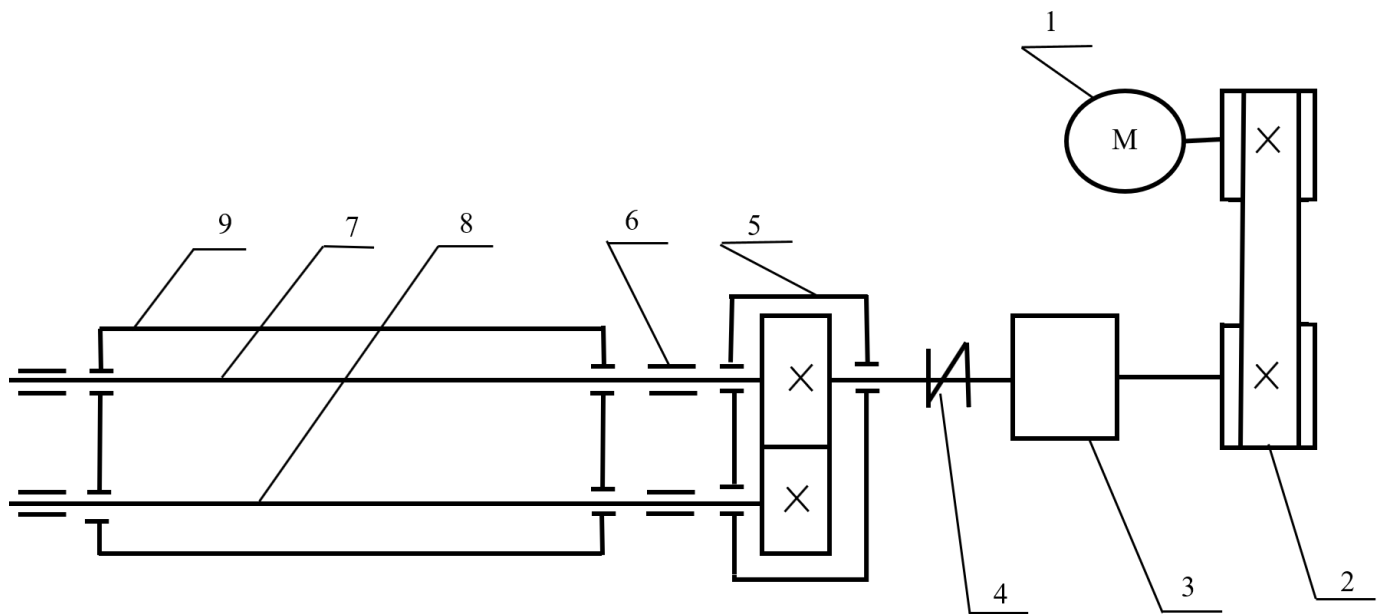
Двохваловий змішувач має кілька переваг порівняно з іншими типами машин:

- Компактність камери змішувача: Двохвалові змішувачі зазвичай мають більш компактні камери, що забезпечує ефективне змішування компонентів на меншій площі.

- Менше зношування на однаковому обсязі: При однаковому обсязі змішування поверхня, яка зношується, менша у двохвалових змішувачах, що може зменшити витрати на обслуговування та ремонт.

- Можливість повторного запуску під навантаженням: Двохвалові змішувачі можуть бути перезапущені під час роботи, що забезпечує більш гнучку експлуатацію та підвищує продуктивність.

- Експлуатація з недовантаженням: Двохвалові змішувачі можуть працювати ефективно навіть при невеликому навантаженні, що дозволяє їх використовувати в різних умовах та для різних обсягів виробництва.



1 – електродвигун; 2 – клинопасова передача; 3 – редуктор; 4 – муфта;
5 – зубчата передача; 6- підшипник; 7 – лопатевий привідний вал; 8 – лопатевий
головний вал; 9 – корпус

Рисунок 1.6 – Кінематична схема двовального лопатевого змішувача

Змішувач безперервної дії 2СМ-1 є горизонтальним і двухваловим. Він складається з корпусу який виконано з метала, в якому обертаються два вали з робочими органами в вигляді лопатки-лопаті, вони розташованими під кутом до осі валу та спрямованими один на одного. Ця конструкція дозволяє ефективно перемішувати компоненти та переміщувати суміш від місця завантаження до випускного патрубка.



Рисунок 1.7 – Горизонтальний змішувач безперервної дії 2СМ-1

За методом перемішування складників в змішувачі може відбуватися вільно (під впливом сил гравітації), під примусом робочих органів і комбіновано.

У змішувачах гравітаційної дії інгредієнти комбінуються завдяки руху матеріалу, спричиненому силами тяжіння та взаємодією з нерухомими елементами конструкції змішувача. Цей тип змішувачів має свої переваги та недоліки:

Переваги:

- Простота і надійність конструкції: Гравітаційні змішувачі мають просту будову і високу надійність у роботі.
- Відсутність рухомих робочих органів: Оскільки змішування відбувається за рахунок природних сил, немає потреби у складних рухомих деталях.

– Малі питомі витрати енергії: Гравітаційні змішувачі вимагають мінімальних енергетичних затрат, оскільки вони використовують силу тяжіння для змішування компонентів.

Недоліки:

– Низька якість змішування: Гравітаційні змішувачі можуть забезпечити лише обмежену якість змішування, оскільки залежать від природних сил і взаємодії з нерухомими елементами.

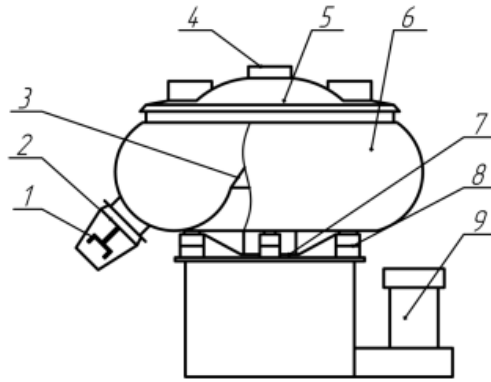
– Необхідність точного дозування: Для досягнення потрібної якості суміші, необхідно точно дозувати компоненти, що може бути складним завданням.

– Можливість перемішування лише з високою i , в окремих випадках, середньою сипучістю: Гравітаційні змішувачі ефективні лише для матеріалів з певним ступенем сипучості, що обмежує їхнє застосування [17].

Для покращення роботи гравітаційних змішувачів їх додатково оснащують примусовим змішуванням за допомогою рухливих робочих органів та використанням вібрації. Вібрація запобігає можливості застрягання компонентів при їх переміщенні з одної секції в іншу, підвищує якість змішування, дозволяє зменшити нахил внутрішніх робочих поверхонь змішувача до горизонту, що в свою чергу дозволяє зменшити розміри змішувача [17, 23].

Для змішування сухих сипких матеріалів використовуються вібраційні змішувачі, які представлені на прикладі вібраційного змішувача СМВ-1,0 (рис. 1.8). Вібраційні змішувачі представленого типу відрізняються рухом сипучого матеріалу в трьох напрямках, частинки матеріалу пересуваються не в одному повільному циркуляційному русі всім об'ємом матеріалу, але і виробляють швидкі спіралеподібні рухи, що описують рух камери. Тому пересування між частинками сипучого матеріалу проходить дуже насичено, що дозволяє прискорити змішування.

Вібромішувачі з просторовим рухом коливань дозволяють виробляти суміші з необхідним розподілом інгредієнтів коефіцієнтом неоднорідності ($V = 1,5-2,5 \%$) через 5–20 хв. після початку змішування.



- 1 – рукоятка відкриття клапана; 2 – клапан вивантаження; 3 – внутрішня кришка;
 4 – завантажувальний люк; 5 – верхня кришка; 6 – змішувальна камера;
 7 – інерційний віброзбудник; 8 – віброізолятор; 9 – електродвигун

Рисунок 1.8 – Вібраційний змішувач СМВ-1,0

Змішувальна камера вібросмішувача виготовлена у вигляді спеціальної конструкції з тороїдальною камерою певного внутрішнього діаметра (співвідношення зовнішнього та внутрішнього діаметрів тора $D/d = 2,0-2,5$) забезпечує під впливом тривимірної вібрації швидке змішування частинок, незалежно від їх розмірів та ваги.

Вібраційний змішувач складається з камери, що спирається через гумові віброізолятори на раму. Із камерою жорстко пов'язаний інерційний віброзбудник. Камера забезпечена патрубком завантаження та розвантажувальним клапаном (з ручним або механізованим керуванням).

Змішувачі, у яких перемішування компонентів відбувається шляхом прикладеного зусилля робочих органів на перемішуваний матеріал, отримують назву змішувачів із активними робочими органами. Це включає мішалки, які активно перемішують компоненти, а також змішувачі, в яких робочий орган який можна так умовно сказати, пропускається через суміш газу, зазвичай повітря. Останні відомі як пневматичні змішувачі, оскільки вони використовують потоки повітря для змішування компонентів.

Змішувачі роторні використовуються для перемішування кормів які складаються з сухих складових. В таких видів змішувачів, що мають обертові ротори, застосовується ефект псевдозрідження сипких матеріалів. Цей ефект обґрунтовується тим, що коли велика швидкість обертання частинок сипкого матеріалу, кінетична енергія окремих частинок перевищує роботу, необхідну для подолання опору сил тертя та сил тяжіння. Це призводить до високої рухливості кожної частинки матеріалу [18].

За конструкцією ротора роторні змішувачі можуть бути лопатевими [24], дисковими [25] або мати обертовий конус [26]. Кожен тип має свої особливості та застосування в залежності від потреб у конкретному виробництві.

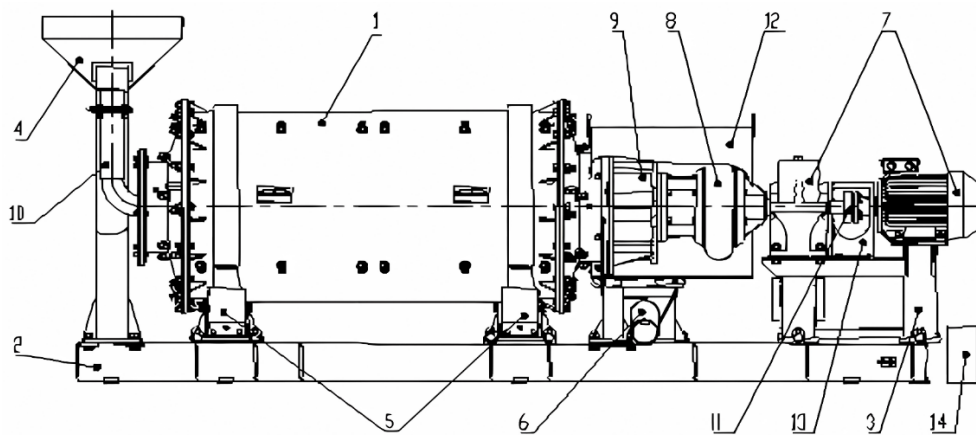
Подрібнювачі роторні, які є змішувачами циклічної дії, призначені для виготовлення сипких кормів для малих підприємствах. Вони поєднують в собі процеси подрібнення і змішування, що дозволяє ефективно виготовляти комбіновані кормові суміші на невеликих масштабах виробництва.

Подрібнювачі-змішувачі (рис. 1.9) утворений з робочого бункера, де є патрубок для завантаження матеріала, і вивантажний колектор через яке вже готову суміш вивантажують з бункера, а також ротора з робочими органами. Вони мають особливість у вигляді можливості обертання робочого бункера. Перемішування та подрібнення складників корму відбуваються за участю обертання ротора та робочого бункера протягом визначеного періоду.

Недоліки подрібнювачів-змішувачів включають у себе складнощі керування, пов'язану з необхідністю зворотного ходу та змінення швидкості обертання робочого органу. Також вони потребують додаткових витрат енергії для створення вихрових потоків у робочій камері та мають обмежену результативність.

У змішувачах з дисками робочий елемент представлений у вигляді плоского диска, що обертається зі значною швидкістю. Ця ротація створює великий градієнт швидкості біля диска, що призводить до енергійної дії зсуву матеріалів [27].

Роторні змішувачі мають декілька переваг, включаючи невелику металоємність та простоту конструкції. Вони забезпечують високу однорідність змішування до 95%. Додатково, їхня низька маса дозволяє встановлювати їх на тензодатчики, що дозволяє використовувати їх як дозатори з великим значенням точності дозування яке досягає значення до 0,1 %. Робочі органи роторних змішувачів виконують швидко та повне само розвантаження за малий відрізок часу – всього п'ятнадцяти до тридцяти секунд [28].



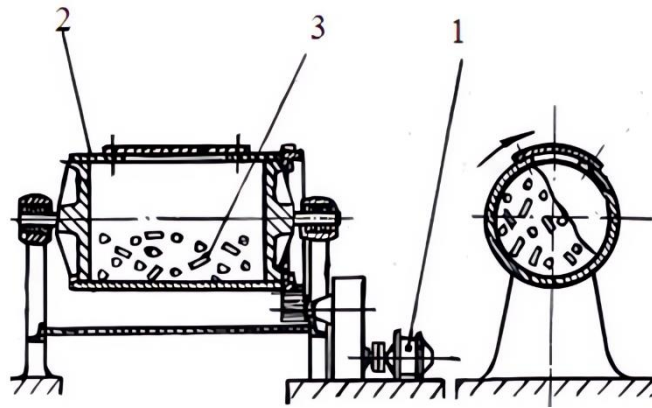
- 1 – барабан; 2 – рама; 3 – рама вертикальна; 4 – бункер завантажувальний;
 5 – кожух; 6 – бункер розвантажувальний; 7 – привод; 8 - цапфа; 9 – пристрій завантажувальний; 10 – патрубков; 11 – муфта; 12 – загорожа; 13 – кожух;
 14 – панель керування

Рисунок 1.9 – Загальний вигляд обертового барабанного апарата

Мінусами роторних змішувачів, незалежно від варіанту виконання ротора, є великі витрати енергії на одиницю продукції, під час процесу перемішування та значний вплив на елементи суміші через велику частоту обертання робочих органів.

Змішувачі барабанні частіше використовуються для перемішування сипких кормів, але за деяких габаритних розмірів їх можна успішно використовувати і для змішування стеблових матеріалів які були попередньо подрібнені [22].

Змішувачі барабанні з корпусом, що обертається широко використовуються в промисловості. Ці змішувачі можуть мати горизонтальний або вертикальний корпус з горизонтальною віссю обертання, або корпус із похилою віссю обертання, а також можуть бути у вигляді «п'яної» бочки [29]. Форма бункера може приймати кубічну, циліндричну, Y-образну форму або рифлену [25]. Всі змішувачі з робочим органом у вигляді барабана, що обертається класифікуються як машини з низькою швидкістю обертання.



1 – привід; 2 – барабан; 3 – сипкий матеріал

Рисунок 1.10 – Барабанний пристрій для змішування сипких матеріалів

Процес змішування в барабанному змішувачі відбувається наступним чином. Під час обертання барабану, нижні шари корму піднімаються на певну висоту, а потім впадають вниз під впливом сили тяжіння. Проте, через обрушення, частинка корму знову підхоплюється стінкою барабана. Цей процес перекидання відбувається кілька разів і сприяє ефективному перемішуванню компонентів [30]. Коефіцієнт наповнення в таких змішувачах може коливатися в діапазоні від 0,3 до 0,6 [30, 31].

Барабанні змішувачі мають декілька переваг, включаючи простоту конструкції, надійність у роботі і можливість змішування сипучих матеріалів з особливими властивостями. Проте вони також мають свої недоліки, такі як низька якість змішування, довгий цикл роботи, обмежену продуктивність та великі габаритні розміри. Ці недоліки призвели до обмеженого застосування барабанних змішувачів у виробництві кормів.

1.3 Критерії оцінки якості змішування

Кормові суміші повинні відповідати високим стандартам у галузі зоотехнії. У збалансованих кормових сумішах може бути до п'ятдесяти різних складових. Для підвищення харчової цінності сумішей кормових використовують премікси, до яких входять антибіотики, вітаміни, синтетичні амінокислоти, різні медичні речовини, біостимулятори і мікроелементи. Ці добавки додаються до комбікормів у невеликих кількостях, які складають від 0.01 % - 0.001 % [5].

Використання змішувачів, які гарантують значну рівномірність суміші, надзвичайно важливе. Якість змішування приймається доброю, якщо неоднорідність суміші не вище 10 % [33]. Стандарти зоотехніки визначають мінімальні показники однорідності сумішей: для птиці – 90 %; для великої рогатої худоби – 80 % ; для свиней – 85 %; для комбікормів власного виробництва – 90– 95 % [34].

Якість змішування визначається за рівнем однорідності утвореної суміші, а для кількісної оцінки застосовується коефіцієнт неоднорідності, який досягається протягом визначеного часу при оптимальному завантаженні робочої камери. Суміш вважається однорідною, коли вміст складових у будь-якому її об'ємі не змінюється від заданого вмісту для всієї суміші.

Однорідність комбікормів має важливу роль, оскільки добовий раціон тварин і особливо птахів дуже обмежений за обсягом. Наприклад, для птиці добовий раціон може складати лише кілька десятків грамів. В цій малій порції корму повинні міститися багато необхідних речовин, які передбачаються комбікормовим рецептом, включаючи білки, вуглеводи, мікроелементи та вітаміни [32].

Забезпечення однорідності в складі комбікормів є критично важливим, оскільки це гарантує однакову поживну цінність у всіх частинах об'єму комбікорму. Отже, параметри процесу змішування повинні суворо відповідати вимогам технології виробництва. У процесі змішування відбувається вирівнювання концентрації окремих компонентів по всій робочій камері змішувача. Оскільки в різних місцях змішувача

показники можуть відрізнятися, для їх оцінки використовують методи математичної статистики. Оскільки комбікорми мають багатокомпонентний склад, то для оцінки однорідності готової продукції досить використовувати найменший компонент.

Ефективність змішування залежить від різноманітних чинників, таких як гранулометричний склад (розміри, розподіл за ступенем крупності, форма) складових компонентів та щільність, стан поверхні частинок, вологість матеріалів, та адгезії між поверхнями частинок а також сили тертя.

Для оцінки однорідності отриманої суміші часто вибирають один головний компонент, вважаючи другі компоненти умовними. Якщо розподіл основного компонента рівномірний у суміші, можна припустити, що також всі інші складові також розміщені добре.

Коефіцієнт неоднорідності суміші k_c визначається як відношенням вмісту основного компоненту до його середньої масової частки в суміші.

$$k_c = \frac{\sigma_c}{c_{cp}} 100 = \frac{100}{c_{cp}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c_{cp})^2}{(n-1)}} \quad (1.2)$$

де c_{cp} – середня масова частка основного компонента в суміші, %;

σ_c – середнє квадратичне відхилення вмісту основного компонента, %;

c_i – масова частка основного компонента в i -ій пробі, %;

n – число проб.

Чим значення k_c мізерніше, тим суміш буде рівномірнішою, це виявляє ефективність роботи змішувачів, при $K < 10$ % результативність змішування вважається достатньо доброю.

Також однорідність суміші визначається за масовою часткою кожного компонента в суміші:

$$h = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_{1i} - V_{2i}|}{V_{1i} + V_{2i}} \quad (1.3)$$

де V_1 – маса частинок першого компонента в i -ій пробі;

V_2 – маса частинок другого компонента в i -ій пробі;

i – порядковий номер проби;

N – кількість проб.

1.4 Висновки з розділу

На підставі вивчення конструкцій змішувачів які вже існують і аналізу поточного стану досліджень процесу змішування були зроблені наступні висновки.

1. Годування сільськогосподарських тварин повнораціонними кормовими сумішами, які включають сухі розсипні корми і готуються безпосередньо в господарстві, стало найпоширенішим методом годування. Цей підхід дозволяє ефективно використовувати відходи рослинництва, такі як зерно, що в результаті допомагає знизити собівартість продукції тваринництва.

2. В даний час при створенні нового покоління змішувачів сухих кормових сумішей віддається перевага змішувачам, що обертаються. Перевагами змішувачів даного типу порівняно зі стаціонарними змішувачами періодичної дії будь-якого типу є: скорочення часу при вивантаженні корму, повністю автоматизований цикл очищення камери, відсутність застійних зон і деталей, що труться. Є можливість комбінувати деякі типові процеси, такі як застосування пари для теплової обробки, змішування будь-яких кормових матеріалів, незалежно від їхньої форми, змішування їх у малих дозах. Найголовніша перевага – простота конструкції змішувальної ємності [40–42].

3. Згідно з аналізу літературних джерел, роторне змішування недосконалих монодисперсних твердих частинок неминуче призводить до механічної сегрегації, тобто до накопичення менших або/або більш щільних частинок в ядрі шару. Очевидним способом зменшення сегрегації, є вставка перегородок (лопатеї) всередину циліндра роторного змішувача.

4. Враховуючи, проведений аналіз можна стверджувати про недостатній рівень досліджень процесу змішування компонентів кормів в роторному змішувачі періодичної дії.

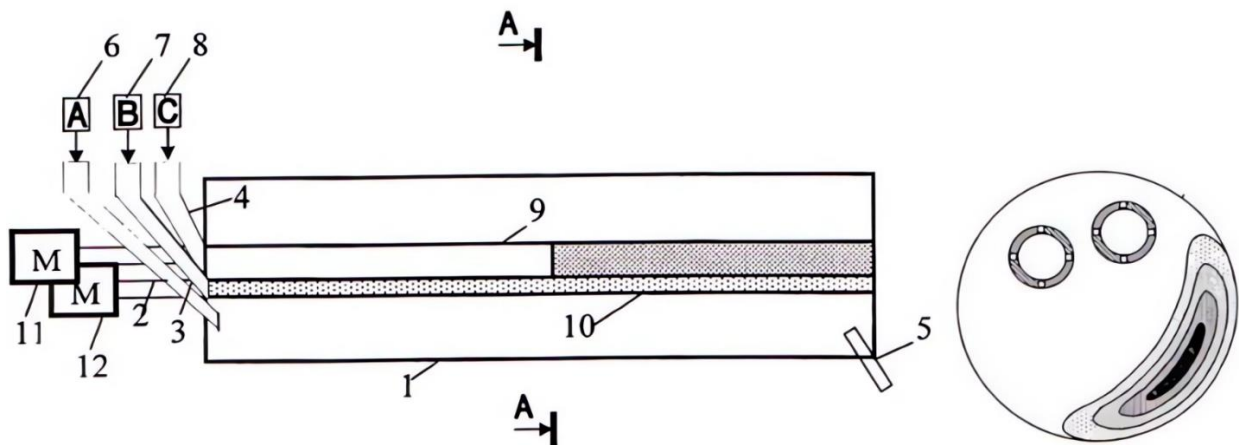
2 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ

2.1 Конструкційно-технологічна схема роторного змішувача

На рисунку 2.1 зображена схема пристрою для змішування сипких матеріалів.

Пристрій, що зображений на рисунку 2.1, працює наступним чином., матеріал А завантажується через вузол завантаження 2, тоді як інші сипкі матеріали завантажуються у вузли завантаження 3, 4 і потрапляють в перфоровані труби. Приводи 11 і 12 обертають труби 9 і 10 навколо своєї осі, що призводить до змішування матеріалу з труб через отвори перфорації із основним сипким матеріалом А. Труба 9 перфорована тільки на певній відстані від вузла розвантаження однорідної суміші 5.

Переваги цього пристрою включають швидке та якісне змішування завдяки рівномірному і поступовому завантаженню одного з сипких матеріалів, які підлягають змішуванню. Проте недолік полягає в складності виробництва перфорованої труби.



1 – барабан; 2-4 – вузли завантаження; 5 – вузол розвантаження однорідної суміші;
6-8 – дозатори безперервної подачі компонентів А, В, С; 9, 10 – перфоровані труби;
11, 12 – приводи; А, В, С – сипкі матеріали (А – основний компонент)

Рисунок 2.1 – Пристрій для змішування сипких матеріалів:

2.2 Методика чисельного моделювання

Чисельне моделювання було реалізовано в програмному пакеті Simcenter Star-CCM+ [14–16]. Процес змішування компонентів комбікорму відбувається в роторному змішувачі періодичної дії (Body), який обертається навколо осі симетрії. Досліджувалися три варіанти змішувачів: без лопатей ($\alpha = 0^\circ$), із похилими ($\alpha = 45^\circ$) та прямими ($\alpha = 90^\circ$) лопатями. Кількість лопатей – 8. В якості компонентів корму обрано два однакових компонента (comp 1 і comp 2), які мають наступні фізико-механічні властивості: коефіцієнт Пуассона (Poisson's Ratio) – 0,45, модуль Юнга (Young's Modulus) – 517000 Па, щільність (Density) – 700 кг/м³. Подача компонентів комбікорму comp 1 і comp 2 здійснюється із частини блоків поверхневого рівня injector 1 і injector 2 відповідно. Геометричні розміри і розрахункова схема області процесу змішування приведена на рис. 2.2.

Створено всі можливі взаємодії компонентів між собою і стінками області: компонент 1 – компонент 1 (comp 1 – comp 1), компонент 1 – компонент 2 (comp 1 – comp 2), компонент 2 – компонент 2 (comp 2 – comp 2), компонент 1 – стінка (comp 1 – wall), компонент 2 – стінка (comp 2 – wall). В якості моделей обрані наступні: фазова взаємодія DEM (DEM Phase Interaction), опір кочення (Rolling Resistance), Hertz Mindlin,.

Тип рідка область (Fluid Region) обрано для області моделювання (Body).

В опорних величинах (Reference Values) вектор сили тяжіння (Gravity) мав наступні координати (0,0; – 9,81; 0,0) м/с².

Для подачі компонентів суміші створено два інжектора: інжектор 1 (Injector 1) і інжектор 2 (Injector 2). Інжектори мають тип випадкового інжектора (Random Injector) на границю частини: injector 1 і injector 2 (рис. 2.2). Умова встановлення упаковки частинок (Particle Packing Specification) – лічильник частинок (Particle Count). Діаметр частинок (Particle Diameter) – 0,003 м. Число частинок (Number of Particles) – згідно плану досліджень. Число затравок (Number of Seeds) – 100.

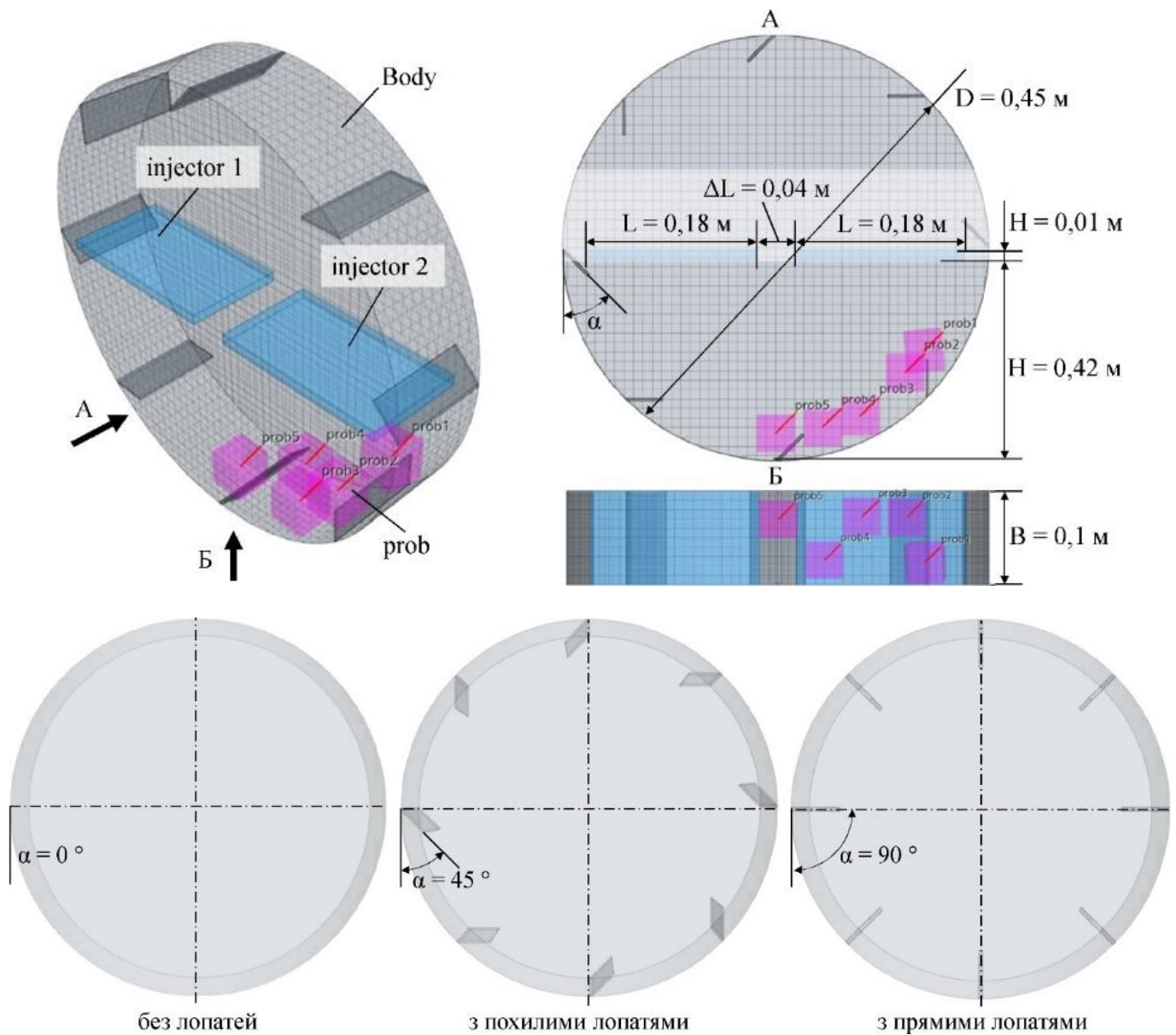


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема дослідження процесу змішування компонентів комбікорму в роторному змішувачі комбікормів періодичної дії

Параметри обертання циліндричному змішувачі (Body): обертання (Rotation), швидкість обертання (Rotation Rate) – $\$Time < 1 ? 0 : \$Time < 15 ? n : 0$ (n – частота обертання, згідно плану досліджень).

Параметри вирішувача (Solvers): крок за часом (Time-Step) – 0,01 с. Параметри критерію зупинки (Stopping Criteria): Максимальний фізичний час (Maximum Physical Time) – 16 с. Maximum Steps – вимкнено.

Для подальшої оцінки процесу створено відповідні звіти. Звіт comp1 – звіт числа елементів (Element Count). Частини (Parts) – comp 1. З цього звіту створюється анотація (Annotations) – comp1. В параметрах тексту (Text) вказані component 1 – \$comp1Report pcs. Аналогічним чином створювався звіт comp 2.

Критерієм якості змішування є однорідність суміші в області, яку визначали наступним чином. Створені 5 проб відбору (prob), шляхом встановлення 5 проріджених об'ємів (Resampled Volume) – prob1, prob2, prob3, prob4, prob5. Розмір (Size) кожного з них складав – 0,04 м × 0,04 м × 0,04 м. Частини (Parts) – Body. Всі інші параметри були довільними, однак проби відбору (prob) повинні знаходитися в області Body, як показано на рис. 2.1.

В кожній пробі відбору (prob) визначали масу частинок компонентів. Далі за наступною формулою розрахувати коефіцієнт однорідності суміші:

$$h = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_{1i} - V_{2i}|}{V_{1i} + V_{2i}}, \quad (2.1)$$

де V_1 – маса частинок першого компонента в i -ій пробі;

V_2 – маса частинок другого компонента в i -ій пробі;

i – порядковий номер проби;

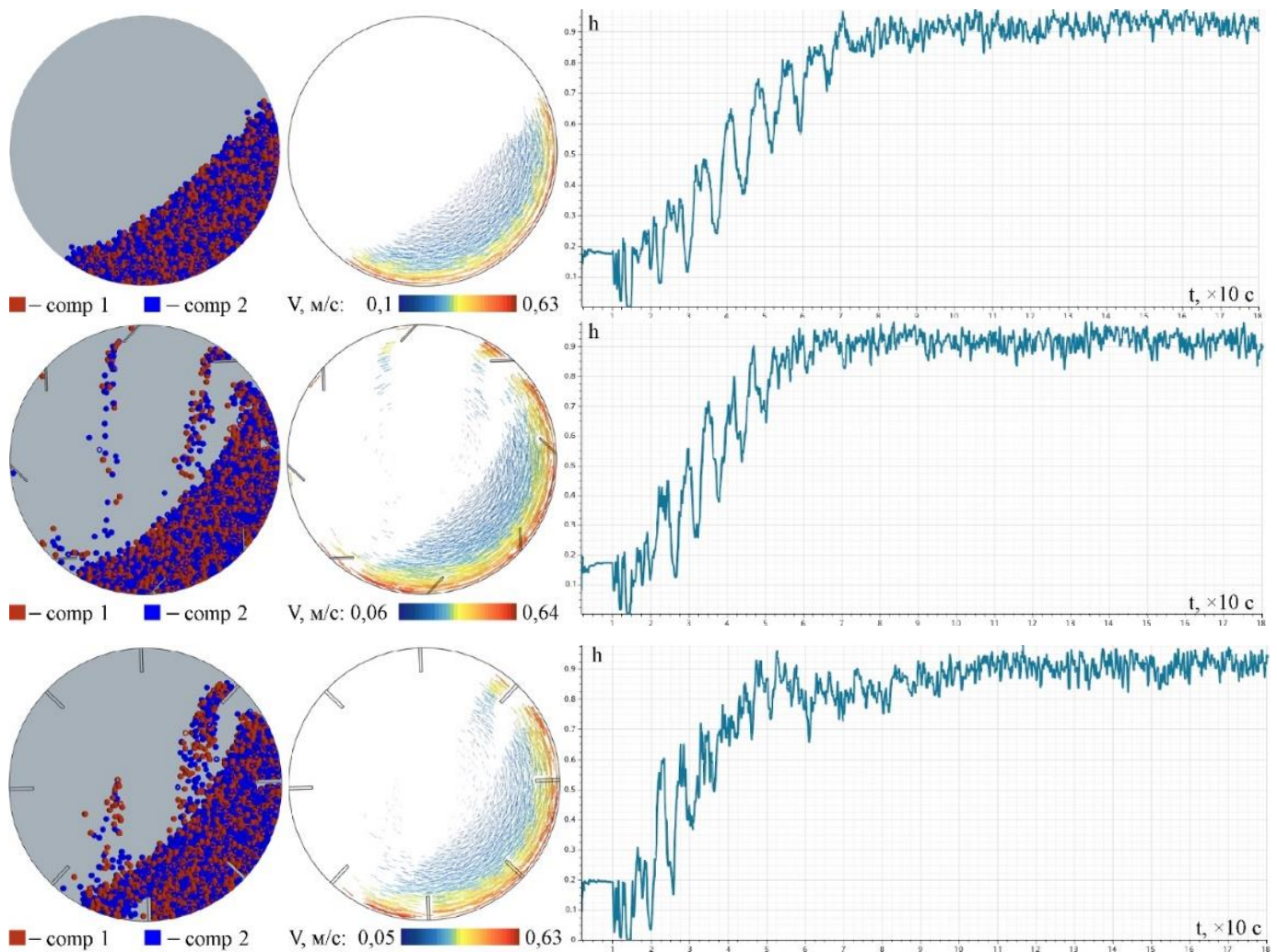
N – кількість проб.

В якості факторів дослідження приймаємо наступні параметри: кут нахилу лопаті α (0 °, 45 °, 90 °), маса матеріалу m (0,1 кг, 0,2 кг, 0,3 кг), частота обертання n (30 об/хв, 60 об/хв, 90 об/хв), тривалість змішування t (1 хв, 3 хв, 5 хв). Моделювання проведено за повнофакторним планом із загальною кількістю дослідів $3^4 = 81$. Межі та інтервали факторів досліджень наведені в табл. 2.1.

В результаті моделювання отримано дві сцени відображення результатів (скалярна і векторна) і графік динаміки зміни коефіцієнта однорідності суміші (рис. 2.3).

Таблиця 2.1 – Межі та інтервали факторів чисельного моделювання

Рівень	Кут нахилу лопаті, α	Частота обертання ротора n , об/хв.	Маса кожного компонента m , кг	Тривалість змішування t , хв
Верхній (+1)	90	90	0.3	5
Середній (0)	45	60	0.2	3
Нижній (-1)	0	30	0.1	1
Інтервал	45	30	0.1	2

Рисунок 2.3 – Візуалізація процесу змішування компонентів комбікорму в роторному змішувачі періодичної дії ($m = 0,2$ кг, $n = 30$ об/хв, $t = 3$ хв)

Також створений графік розподілу компонентів суміші (рис. 2.4). Лагранжеві фази компонентів суміші виступають в якості частин рисунку.

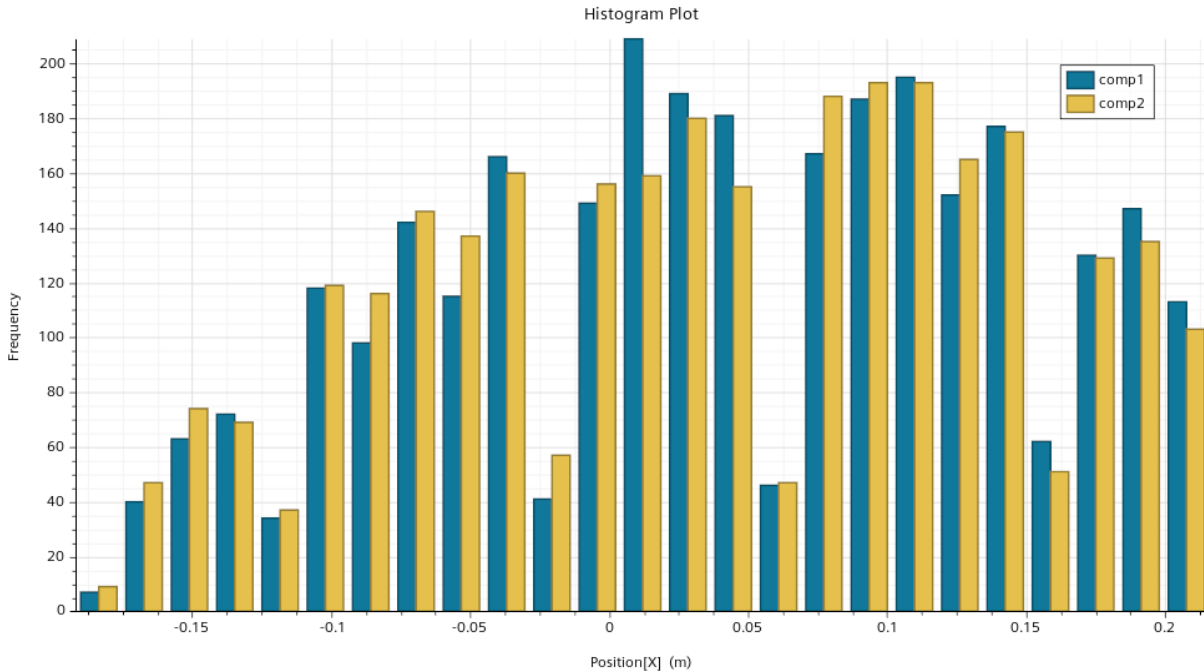


Рисунок 2.4 – Графік розподілу компонентів суміші

2.3 Результати чисельного моделювання

За підсумком чисельного моделювання одержали данні розподілу швидкості переміщення частинок суміші в робочій зоні циліндричного змішувача та коефіцієнт однорідності суміші h в момент часу 20 с. Основним критерієм оцінки дослідження є коефіцієнт однорідності суміші.

На рисунку 2.3 представлено розподіл векторів швидкості руху лагранжевих частинок для різних варіантів розташування лопатей. Данна візуалізація свідчить про те, що найбільша максимальна швидкість частинок досягається під час 60 об/хв та становить 0.424 м/с. А при 90 об/ хв швидкість руху частинок менша яка дорівнює 0.414 м/с. Для всіх інших факторів дослідження дана картина швидкості зберігається.

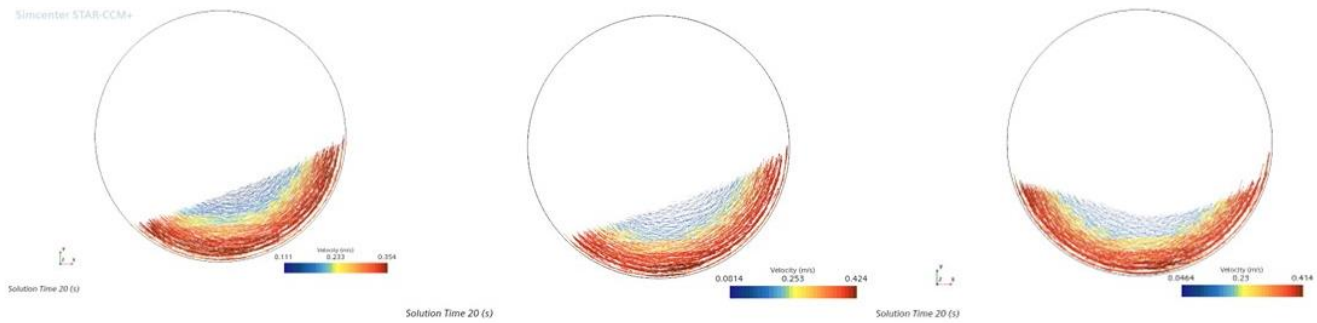


Рисунок 2.3 – Розподіл швидкостей переміщення компонентів суміші в циліндричному змішувачі з швидкістю обертання 30, 60, 90 об/хв відповідно

На рисунках 2.4–2.6 зображено скалярну сцену перемішування частинок в змішувачі в різних варіантах його виконання та різними швидкостями обертання. Із даних сцен можна відзначити, що перемішування матеріалу під час обертання зі швидкістю 90 об/хв погане через те, що матеріал притиснений до стінок за рахунок відцентрової сили.

З використанням програмного пакету Wolfram Cloud проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено рівняння залежності в закодованому вигляді однорідності суміші в змішувачі:

$$\begin{aligned}
 h_t = & 0,943073 + 0,00846667 x_1 - 0,0282556 x_1^2 + 0,035 x_2 - \\
 & - 4,74 \cdot 10^{-17} x_1 x_2 - 0,025 x_2^2 - 0,0417 x_3 + 0,00355 x_1 x_3 + 4,62 \cdot 10^{-18} x_2 x_3 - - \\
 & 0,0204889 x_3^2 - 0,0473389 x_4 - 0,0119417 x_1 x_4 + 6,01371 \cdot 10^{-17} x_2 x_4 + \\
 & + 0,000683333 x_3 x_4 - 0,0473056 x_4^2.
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Статистична обробка даних, яка проведена в програмному пакеті Wolfram Cloud, наведена в таблиці 3.1.

Відхиляючи незначущі коефіцієнти регресії рівняння (2.2) і провівши розкодування остаточно отримуємо:

$$\begin{aligned}
 h_t = & 0,687784 + 0,00181691 \alpha - 0,0000139534 \alpha^2 + 0,366722 m + \\
 & + 0,000788889 \alpha m - 2,04889 m^2 + 0,0051275 n - 8,84568 \cdot 10^{-6} \alpha n -
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

$$- 0,0000525617 n^2 + 0,055 t - 0,00625 t^2,$$

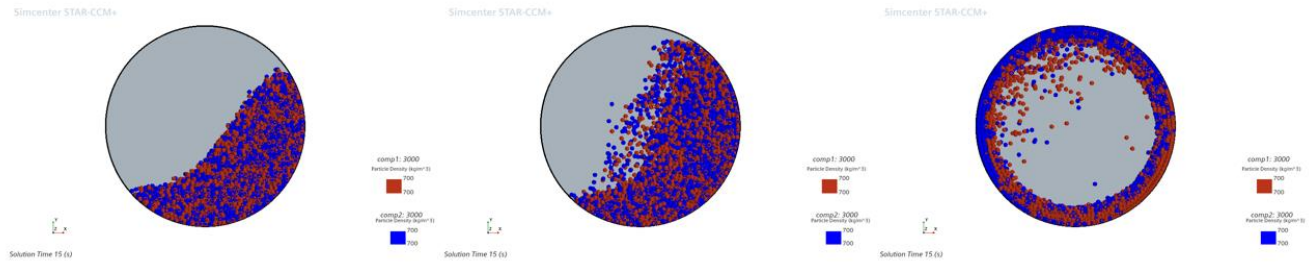


Рисунок 2.4– Рух матеріалу в барабані без лопаток
зі швидкістю 30, 60, 90 об/хв

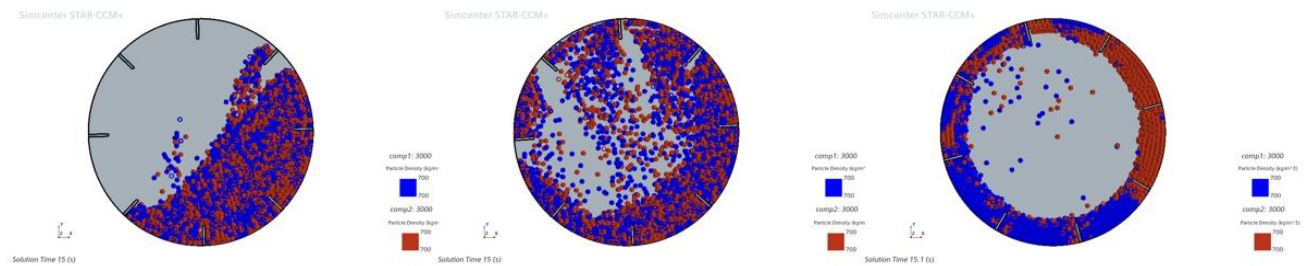


Рисунок 2.5 – Рух матеріалу в барабані з лопатокпми під кутом 90°
зі швидкістю 30, 60, 90 об/хв

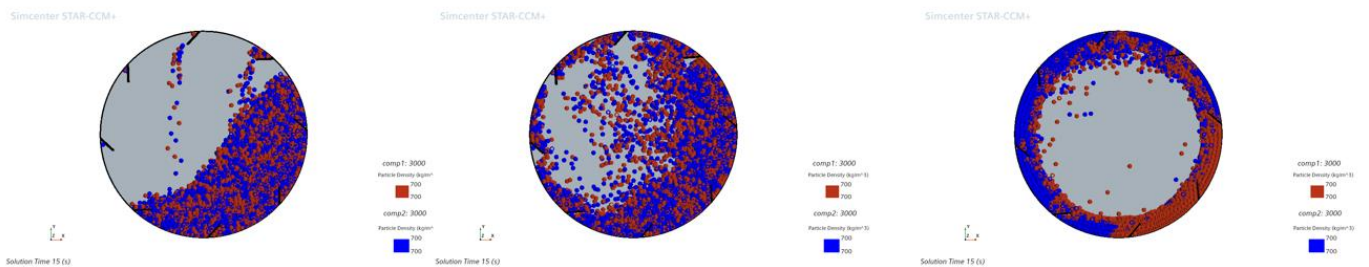


Рисунок 2.6 – Рух матеріалу в барабані з лопатокпми під кутом 45°
зі швидкістю 30, 60, 90 об/хв

Таблиця 3.1 – Статистична обробка даних рівняння (2.2)

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
a00	0.943073	0.00258933	364.215	9.5239×10^{-111}
a10	0.00846667	0.00105709	8.00942	2.54688×10^{-11}
a20	0.035	0.00105709	33.1098	7.81259×10^{-43}
a30	-0.0417333	0.00105709	-39.4795	1.22832×10^{-47}
a40	-0.0473389	0.00105709	-44.7823	4.02904×10^{-51}
a12	-4.74158×10^{-17}	0.00129466	-3.6624×10^{-14}	1
a13	0.00355	0.00129466	2.74202	0.00785098
a14	-0.0119417	0.00129466	-9.22375	1.74475×10^{-13}
a23	4.62593×10^{-18}	0.00129466	3.57307×10^{-15}	1
a24	6.01371×10^{-17}	0.00129466	4.64499×10^{-14}	1
a34	0.000683333	0.00129466	0.527807	0.599403
a11	-0.0282556	0.00183093	-15.4323	1.39512×10^{-23}
a22	-0.025	0.00183093	-13.6542	6.72845×10^{-21}
a33	-0.0204889	0.00183093	-11.1904	6.80911×10^{-17}
a44	-0.0473056	0.00183093	-25.8369	3.13511×10^{-36}

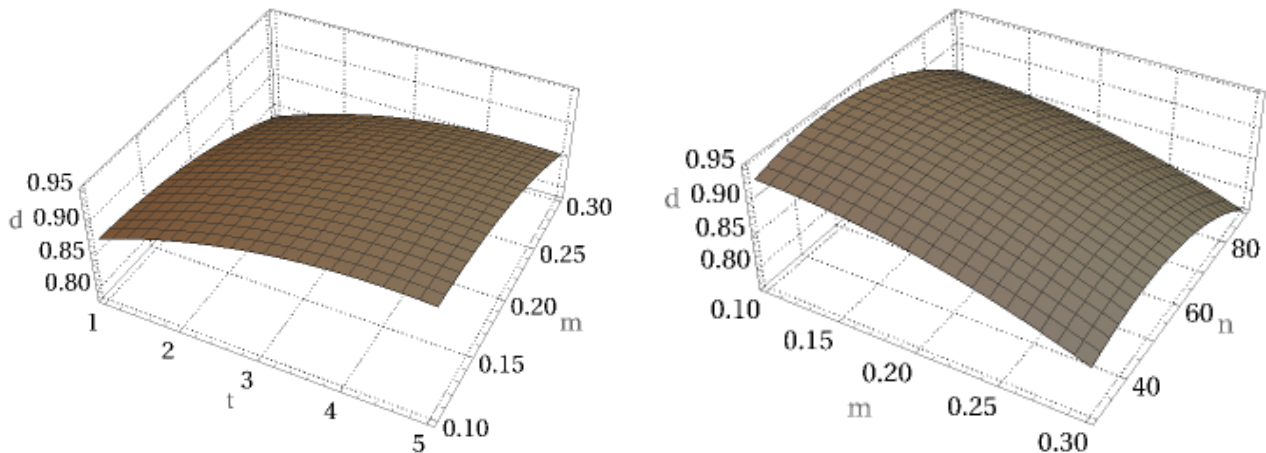


Рисунок 2.7 – Теоретична залежність однорідності суміші від часу змішування та маси компонентів, маси компонентів та швидкості обертання змішувача для змішувача без лопаток

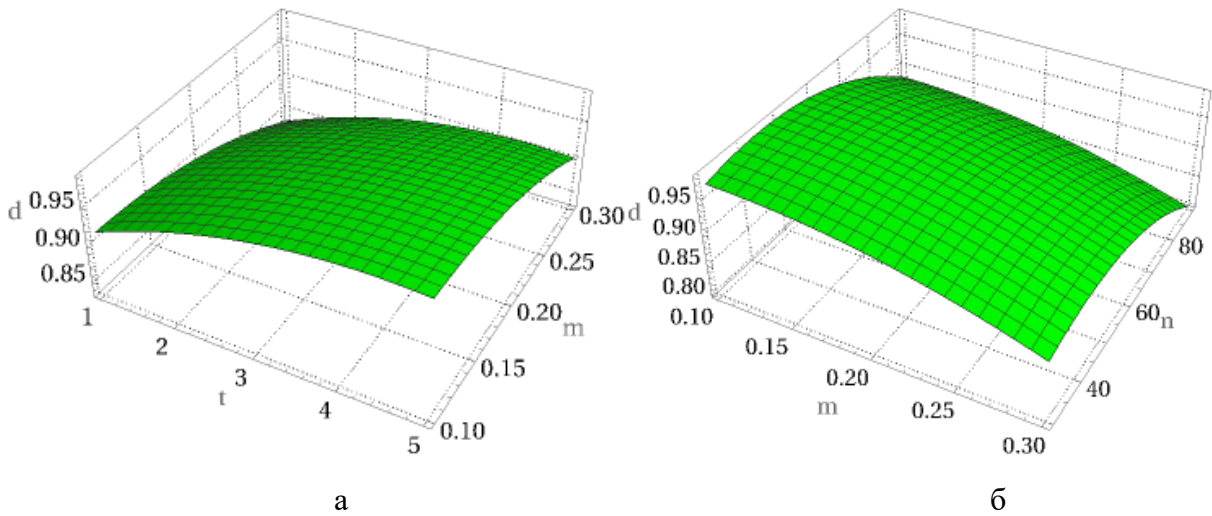


Рисунок 2.8 – Теоретична залежність однорідності суміші від часу змішування та маси компонентів, маси компонентів та швидкості обертання змішувача для змішувача с похилом лопаток 45°

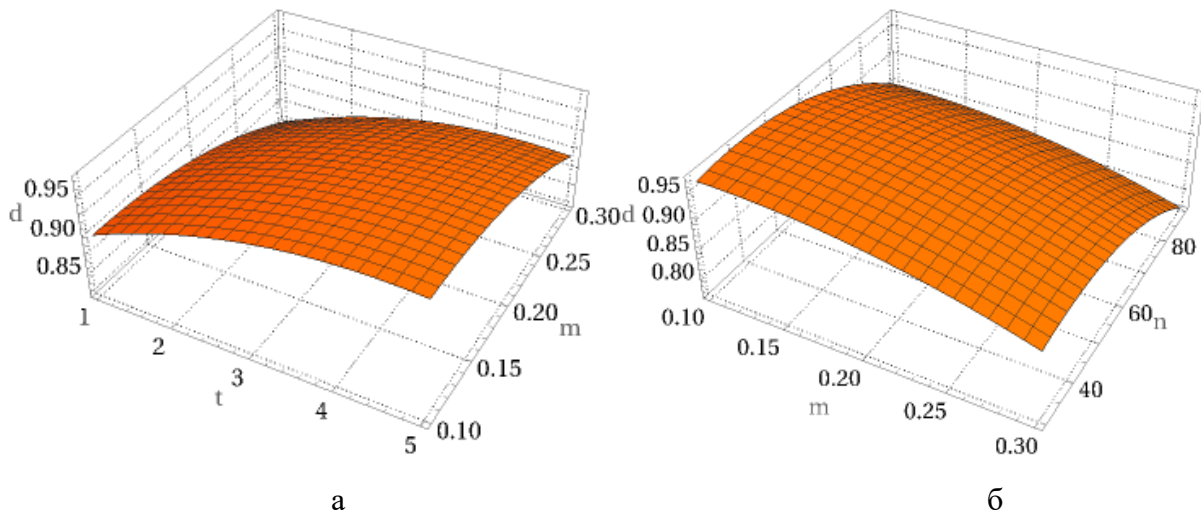


Рисунок 2.9 – Теоретична залежність однорідності суміші від часу змішування та маси компонентів, маси компонентів та швидкості обертання змішувача для змішувача с похилом лопаток 90°

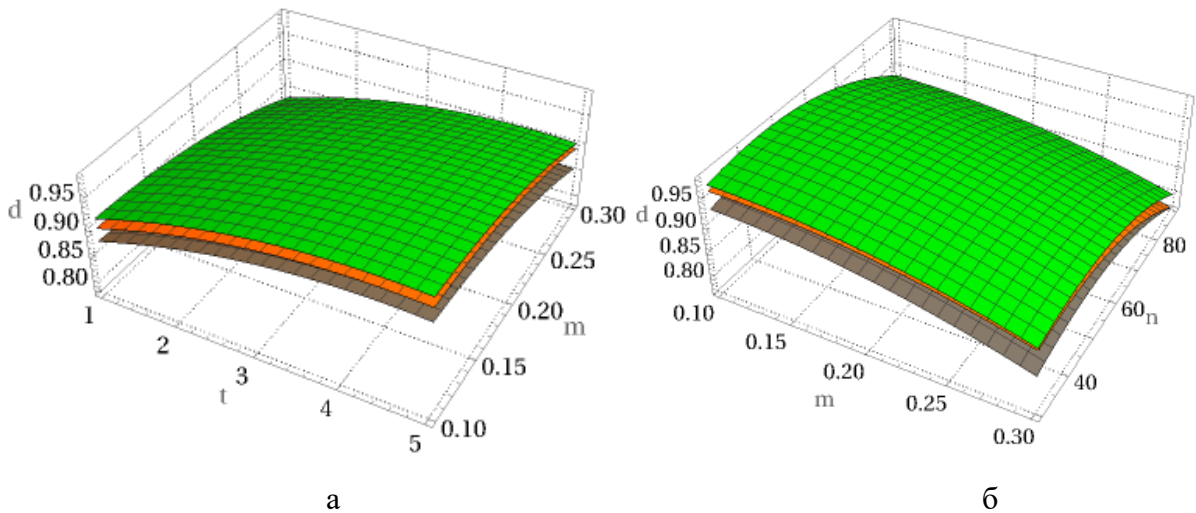


Рисунок 2.10 – Порівняння графіків теоретичної залежності для кожного варіанта виконання змішувача

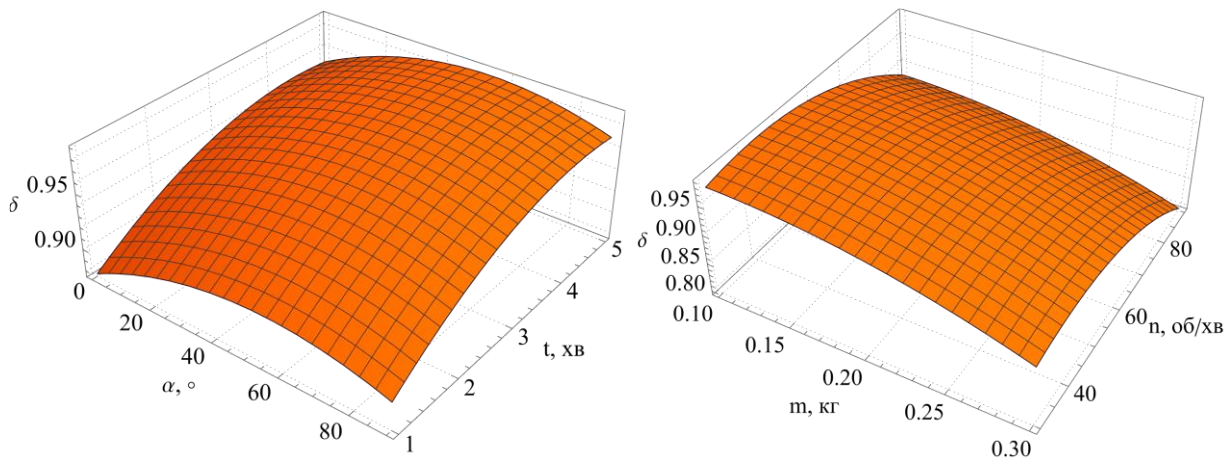


Рисунок 2.11 – Теоретична залежність зміни коефіцієнта однорідності суміші в змішувачі h від куту нахилу лопаті α , маси матеріалу m , частоти обертання n , тривалості змішування t

2.4 Висновки з розділу

В результаті проведення теоретичних досліджень було отримано наступне:

1. Створено модель процесу змішування сипких компонентів комбікормів в роторному змішувачі періодичної дії в програмному пакеті Simcenter Star-CCM+.

2. Обґрунтовано конструктивно-технологічна схема роторного змішувача періодичної, з різними варіантами виконання лопатей, для приготування сухих розсипних кормосумішей;

3. У аналізованому роторному змішувачі за заданими координатами змішувальних частинок визначено швидкості їх руху.

4. У результаті чисельного моделювання процесу змішування в роторному змішувачі комбікормів періодичної дії встановлені залежності зміни коефіцієнта однорідності суміші в змішувачі h від куту нахилу лопаті α , маси матеріалу m , частоти обертання n , тривалості змішування t .

5. Встановлено максимальне значення однорідності суміші за допомогою створеного рівняння регресії. Також з урахуванням умови максимального значення однорідності суміші знайдені раціональні параметри змішувача. Для результатів чисельного моделювання: $\alpha = 53,9^\circ$, $t = 4,45$ хв., $m = 0,10$ кг, $n = 44,2$ об/хв. (рис. 2.11)

3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма досліджень

Під час проведення експериментальних досліджень основною метою було визначити вплив параметрів запропонованої конструкції циліндричного змішувача та режимів роботи установки на процес змішування дисперсного середовища. Завдання експериментального дослідження є: формулювання раціональних конструктивних критеріїв та режиму роботи циліндричного змішувача, необхідність отримання найрезультативнішого процесу змішування компонентів.

Для наступного виконання визначених завдань експериментальних досліджень з аналізом змішування сипких компонентів у циліндричного змішувачі були запропоновані наступні етапи проведення робіт:

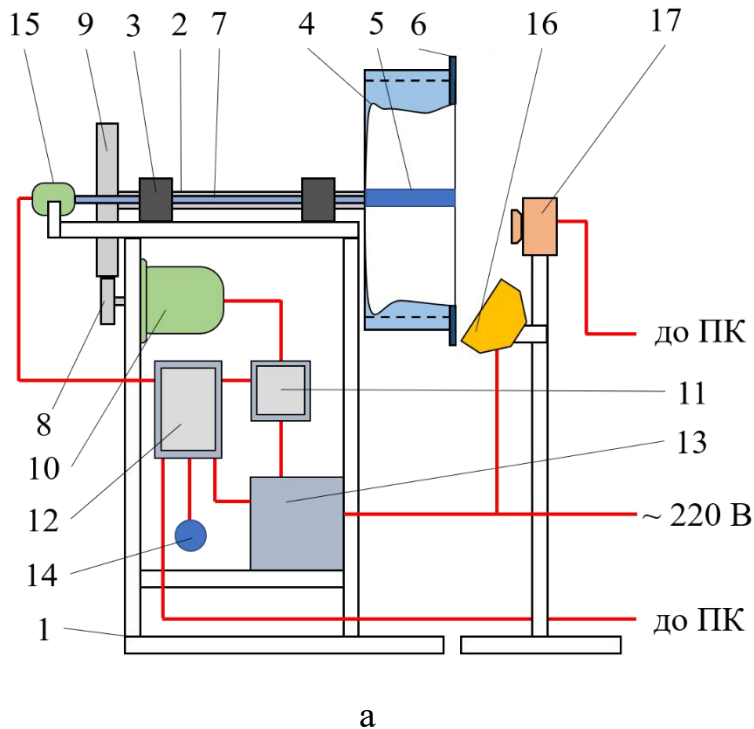
- розробка та виготовлення експериментальної установки циліндричного змішувача;
- визначення технологічних та конструктивних параметрів експериментальної установки циліндричного змішувача, які можуть бути змінені та регульовані під час виконання досліджень.;
- Визначення критеріїв, що оцінюють ефективність процесу перемішування у лабораторній установці;
- Здійснення практичних випробувань та спостереження за ходом процесу.

3.2 Опис лабораторної установки роторного змішувача

Експериментальні дослідження проведені на лабораторній установці роторного змішувача періодичної дії, схема і загальний вигляд якої наведено на рис. 3.1

Установка складається з циліндра 4 який закривається прозорою кришкою 5,

виконаного з оргскла, а також приводу 4. Привід являє собою двигун постійного струму, який може плавно змінювати частоту обертання при зміні напруги, що подається на нього за допомогою плат керування. Крутний момент передається на циліндр від двигуна за допомогою редуктора. Все це змонтовано на металевій станині виконаній із профільної труби.



а

б

1 – станина; 2– порожній вал; 3– підшипники; 4 – циліндр; 5– лопаті; 6– скляна кришка; 7 –суцільний вал; 8 – шків ведучий; 9 – шків відомий; 10 – електродвигун постійного струму; 11 –драйвер електродвигуна постійного струму L298N; 12– плата керування Arduino UNO; 13– блок живлення; 14– потенціометр; 15 – сервопривід; 16– лампа холодного білого освітлення (5000–6500K); 17 – камера Aspiring Repeat 4 Ultra HD 4K Dual Screen

Рисунок 3.1 – Схема (а), загальний вигляд (б) лабораторної установки роторного змішувача періодичної дії

Перед установкою в становлено лампа для освітлення, а також камера для фото-відео фіксації.

Наявність прозорої кришки дозволяє вести візуальне спостереження за процесом змішування, а також фотографування різних стадій процесу.

Кут нахилу лопатей α змінювали шляхом установки їх в циліндрі використовуючи шаблони. Для рулювання швидкості обертання циліндра заставано плату керування Arduino UNO і драйвер L298N для електродвигуна постійного струму. Керування частотою обертання циліндра здійснювалося в режимі ручного керування за допомогою потенціометра. Перевірка швидкості обертання циліндра здійснено за допомогою тахометра контактного Venetech GM8906. Маса матеріалу m , який завантажувався у змішувач визначали за допомогою електронних ваг JD-2200-2 виробництва ТОВ «Центровес» (абсолютна похибка вимірювання 0.01 г). Тривалість змішування t визначали з використання секундоміра.

Додатково фіксувалося відео процесу змішування з використанням відеокамери Aspiring Repeat 4 Ultra HD 4K Dual Screen.

3.3 Методика експериментального дослідження

Фактори досліджень і їх діапазони були обрані такі самі, як при чисельному моделювання.

Для оцінювання якості суміші, що одержана у змішувальному апараті під час проведення експерименту, використовувався метод крапкового відбору проб. Проби бралися спеціальним інструментом – пробовідбірником. Щуп із циліндричною формою складається із двох взаємно встановлених порожнистих трубок. Верхня трубка (футляр) має тверде вістря, а внутрішня має ручку на протилежному кінці для зручності використання. Обидві трубки мають прорізи однакових розмірів, і внутрішня ще має перетинки біля кожного, створюючи комірки. Коли прорізи збігаються, насіння заповнює комірки. Під час обертання внутрішньої трубки на півоберт комірки закриваються. Під час експерименту використовувався пробовідбірник надрукований на 3D-принтері з 1 чарункою (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Циліндричний пробовідбірник

Критерієм якості змішування є однорідність суміші в змішувачі, яку визначали за формулою (2.1). Загальна кількість відібраних проб для кожного дослідження складала 5. Відбір проб здійснювався циліндричним пробовідбірником.

В якості змішуваного матеріалу використовувалося два різних компонента – мак і пшоно, які змішувалися в рівних пропорціях (рис. 3.3). Такий вибір зроблено лише для візуальної оцінки процесу змішування.



Рисунок 3.3 – Матеріал для змішування

Експеримент проводиться в наступній послідовності:

- зважують і засипають у бункер змішувача суміш в відповідності заданими факторам дослідження: пшоно і мак в пропорції 1:1;
- включають установку у роботу,
- включають секундомір і заміряють час змішування відповідно до фактору експерименту;
- після закінчення часу, змішувач вимикають та відкриваю прозору кришку;
- беруть 5 проб пробовідбірником;
- кожну пробу суміші розділяють за допомогою ситового класифікатора на складові компоненти;
- визначають масу відібраних проб суміші з точністю $Mt \pm 0.01$ г. Результати заносять до журналу спостережень.

4 РЕЗУЛЬТАТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження динаміки однорідності суміші

З використанням програмного пакету Wolfram Cloud проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено рівняння залежності в закодованому вигляді однорідності суміші в змішувачі:

$$\begin{aligned}
 h_t = & 0,955107 + 0,00708926 x_1 - 0,035227 x_1^2 + 0,0377454 x_2 + \\
 & + 0,00316065 x_1 x_2 - 0,0271162 x_2^2 - 0,0426159 x_3 + 0,0101499 x_1 x_3 + \\
 & + 0,00353687 x_2 x_3 - 0,0254355 x_3^2 - 0,0254454 x_4 - \\
 & - 0,008503 x_1 x_4 + 0,005425 x_2 x_4 - 0,002502 x_3 x_4 - 0,0236049 x_4^2.
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Статистична обробка даних, яка проведена в програмному пакеті Wolfram Cloud, наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Статистична обробка даних рівняння (4.1)

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
a00	0.955107	0.00564613	169.161	8.6114×10^{-89}
a10	0.00708926	0.00230502	3.07557	0.00305583
a20	0.0377454	0.00230502	16.3753	6.18907×10^{-25}
a30	-0.0426159	0.00230502	-18.4883	8.4581×10^{-28}
a40	-0.0254454	0.00230502	-11.0391	1.22851×10^{-16}
a12	0.00316065	0.00282307	1.11958	0.266951
a13	0.0101499	0.00282307	3.59533	0.000619294
a14	-0.00850366	0.00282307	-3.01221	0.00367444
a23	0.00353687	0.00282307	1.25285	0.214682
a24	0.00542512	0.00282307	1.92171	0.0589614
a34	-0.00250212	0.00282307	-0.886314	0.378666
a11	-0.035227	0.00399242	-8.82348	8.95649×10^{-13}
a22	-0.0271162	0.00399242	-6.79193	3.79106×10^{-9}
a33	-0.0254355	0.00399242	-6.37095	2.09302×10^{-8}
a44	-0.0236049	0.00399242	-5.91244	1.31203×10^{-7}

Відхиляючи незначущі коефіцієнти регресії рівняння (4.1) і провівши розкодування остаточно отримуємо:

$$h_t = 0,687784 + 0,00181691 \alpha - 0,0000139534 \alpha^2 + 0,366722 m + 0,000788889 \alpha m - 2,04889 m^2 + 0,0051275 n - 8,84568 \cdot 10^{-6} \alpha n - 0,0000525617 n^2 + 0,055 t - 0,00625 t^2, \quad (4.2)$$

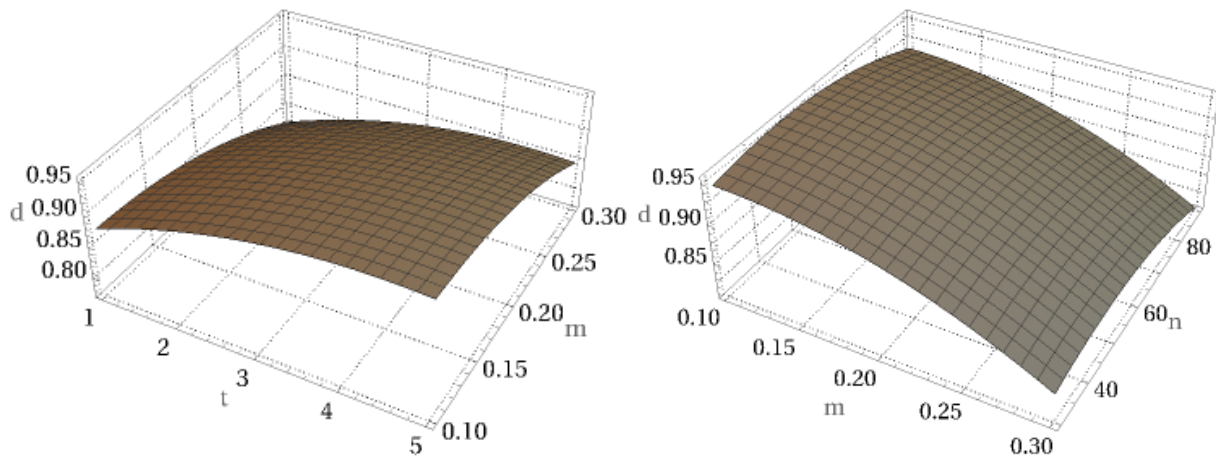


Рисунок 4.1 – Експериментальна залежність однорідності суміші від часу змішування та маси компонентів, маси компонентів та швидкості обертання змішувача для змішувача без лопаток

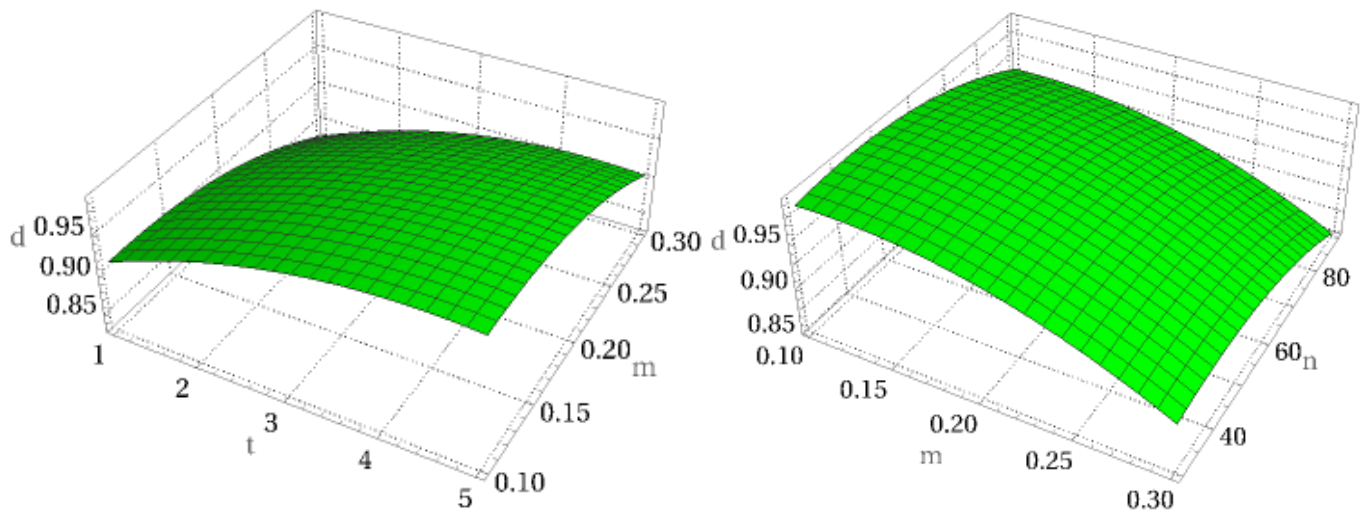


Рисунок 4.2 – Експериментальна залежність однорідності суміші від часу змішування та маси компонентів, маси компонентів та швидкості обертання змішувача для змішувача з похилом лопаток 45°

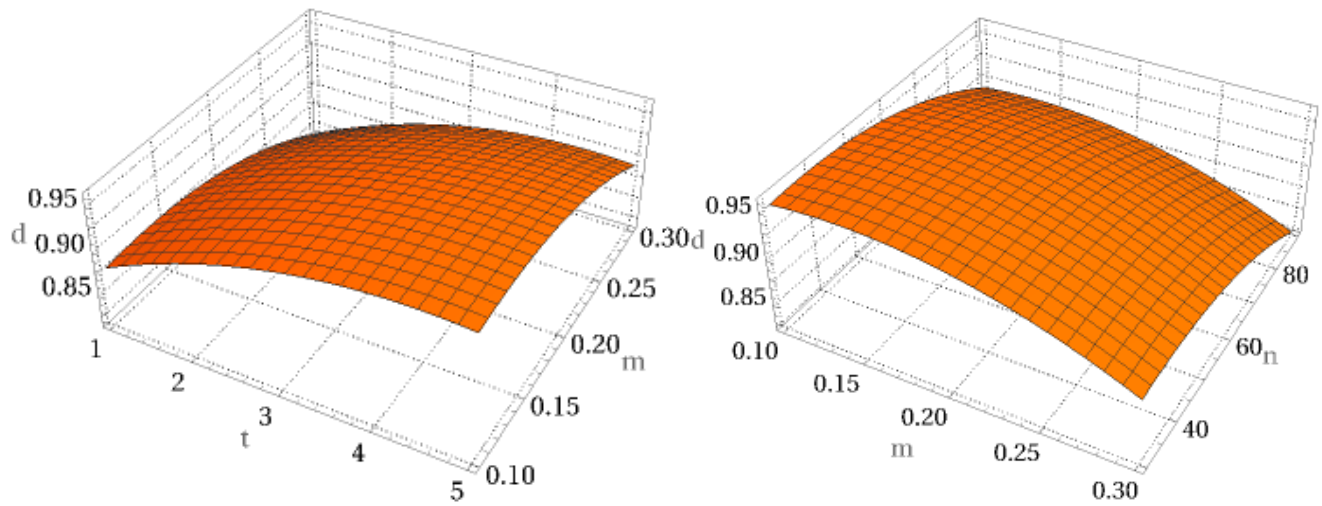


Рисунок 4.3 – Експериментальна залежність однорідності суміші від часу змішування та маси компонентів, маси компонентів та швидкості обертання змішувача для змішувача з похилом лопаток 90°

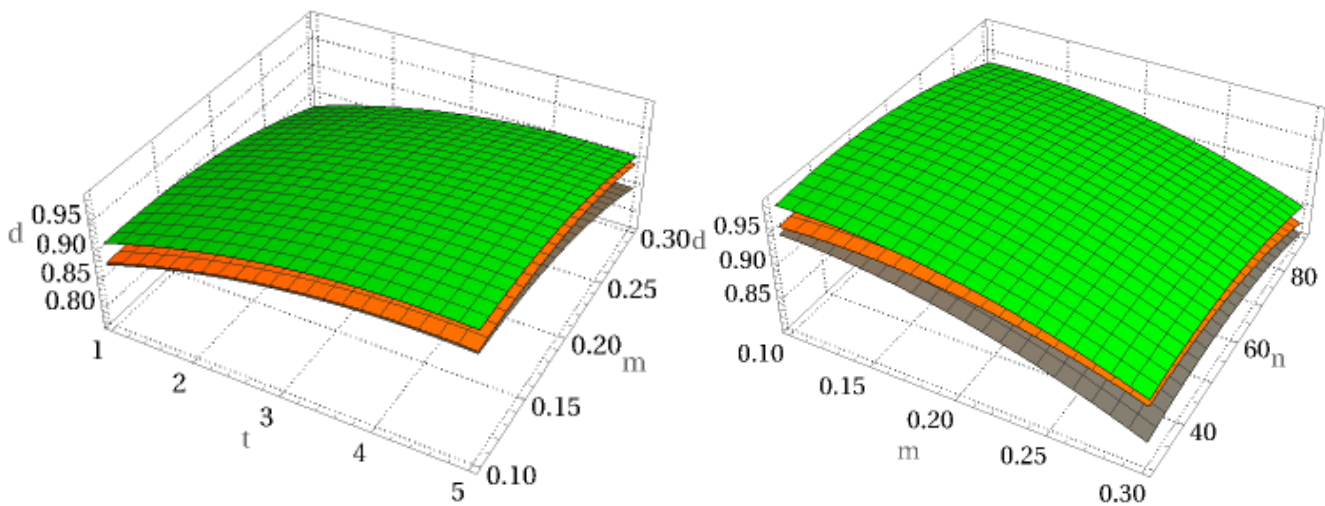


Рисунок 4.4 – Порівняння графіків експериментальної залежності для кожного варіанта виконання змішувача

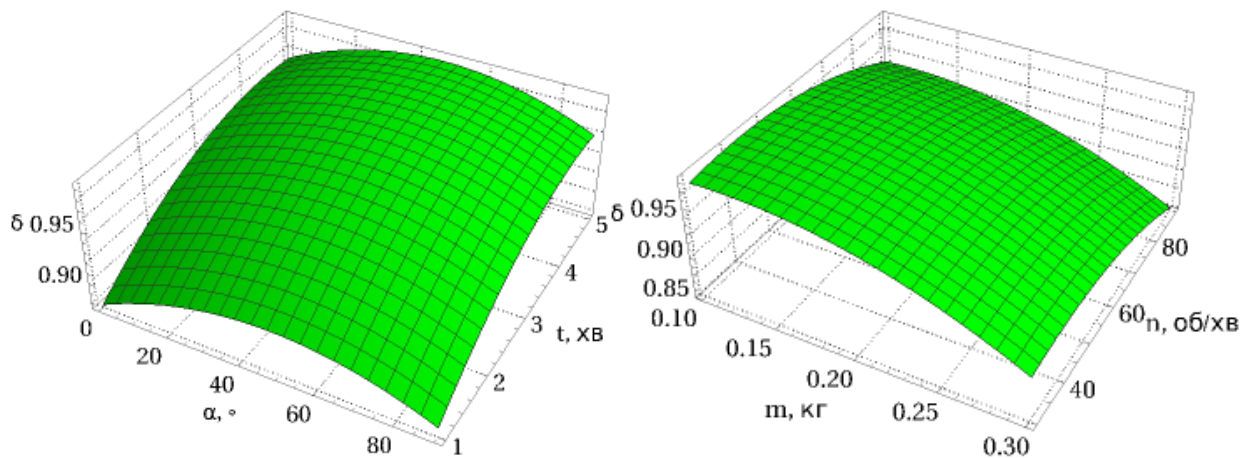
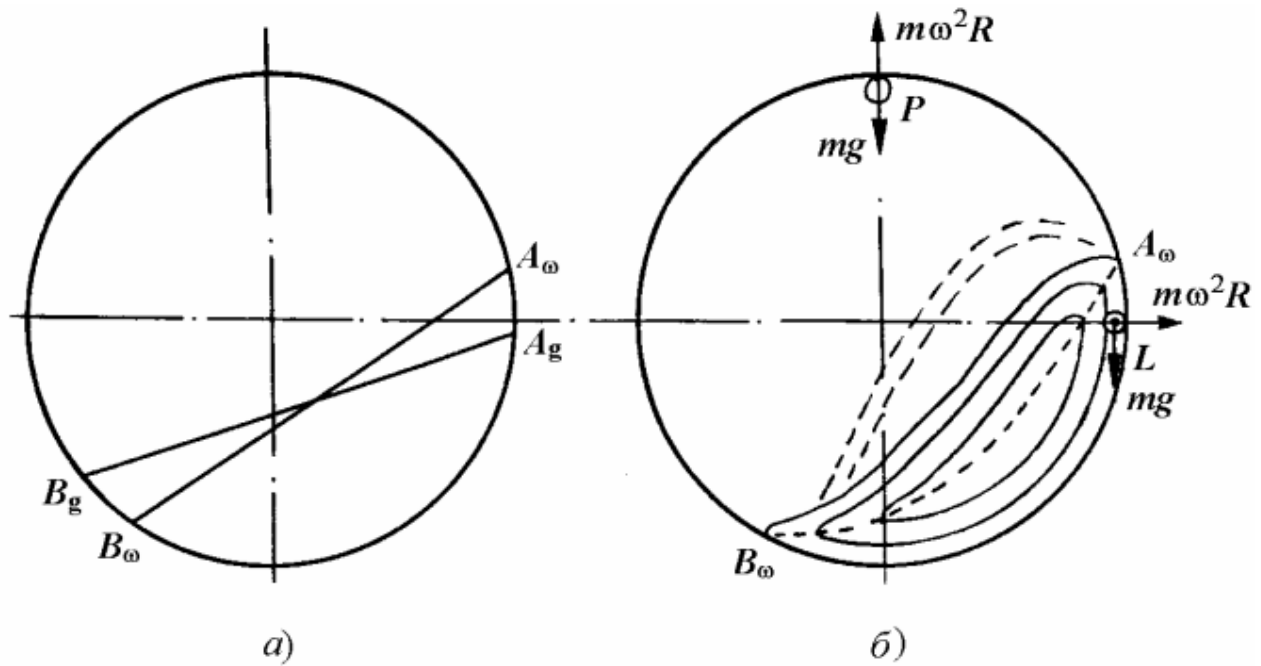


Рисунок 4.5 – Експериментальна залежність зміни коефіцієнта однорідності суміші в змішувачі h від куту нахилу лопаті α , маси матеріалу m , частоти обертання n , тривалості змішування t

При обертанні горизонтального барабана, частково заповненого сипучим матеріалом, у його поперечному перерізі можна спостерігати наступні режими руху матеріалу [35, 36, 37]:

- рух із обваленням, при якому періодично відбувається перерозподіл матеріалу із положення з відкритою поверхнею $A\omega B\omega$ (рис. 4.6 , а) у положення $A_g B_g$;
- циркуляційний рух, при якому матеріал утворює замкнутий циркуляційний контур (рис. 4.6 б), при цьому частина матеріалу рухається або по відкритій поверхні викривленого сегмента, або знаходиться в польоті (на рис. 2.1, б показано пунктиром);
- закритичний режим руху, при якому весь матеріал рухається разом із барабаном.

Також можливий рух із коливаннями, при якому сегмент матеріалу, що разом з барабаном обертається, піднімається на певну висоту з певною періодичністю, а потім опускається вниз, просовуючись вздовж внутрішньої поверхні барабана. Цей режим здійснюється при невеликих швидкостях обертання барабана, невеликому наповненні барабана матеріалом і при тому, що коефіцієнт тертя частинок об матеріал вздовж внутрішньої поверхні барабана, менший, ніж коефіцієнт тертя між частинками матеріалу.



А – з обваленням; Б – циркуляційний

Рисунок 4.6 – Схема руху

При циркуляційному русі в поперечному перерізі барабана (рис. 4.7) весь матеріал можна розділити на шар, що піднімається (зона АСВМ) і скочується (зона АСВН). Лінія АСВ - межа розділу шарів. Точка С – центр циркуляції, навколо якого сипкий матеріал рухається замкнутим контуром. На ділянці АС відбувається перехід частинок з шару, що піднімається в скочується, а на ділянці СВ, навпаки, з скочується в піднімається. У шарі, що піднімається, частинки рухаються по концентричних колах з центром на осі обертання барабана і з кутовими швидкостями, рівними кутовій швидкості обертання барабана.

У барабанному змішувачі змішування має дифузійний характер – окремі частинки шару змінюються позиціями. Змішування відбувається в основному у двох напрямках – у напрямку радіуса змішувача (радіальне змішування) та у напрямку його осі (осьове змішування).

Під час обертання барабана частинки рухаються з ним до досягнення максимального кута укусу, після чого частинки, що знаходяться поблизу від поверхні,

скочуються вниз по склупу, утвореному з інших зерен. Після досягнення нижнього краю цієї похилої площини частинки знову відносяться вгору (нерухомо щодо стінки барабана), утворюючи замкнутий циркуляційний контур (рис. 4.8).

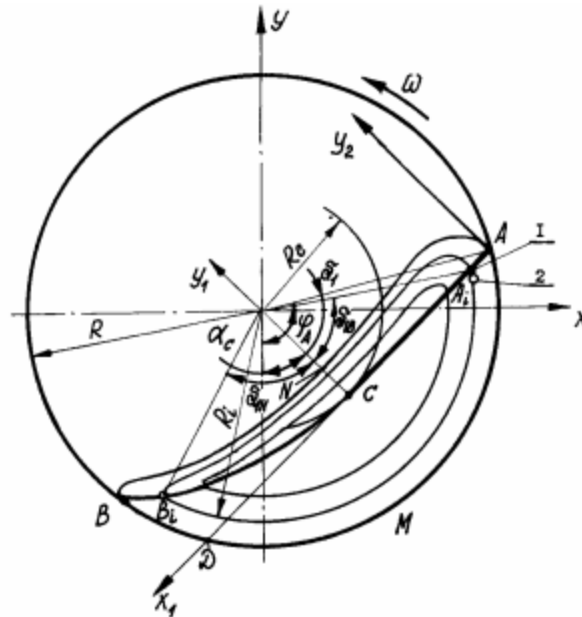
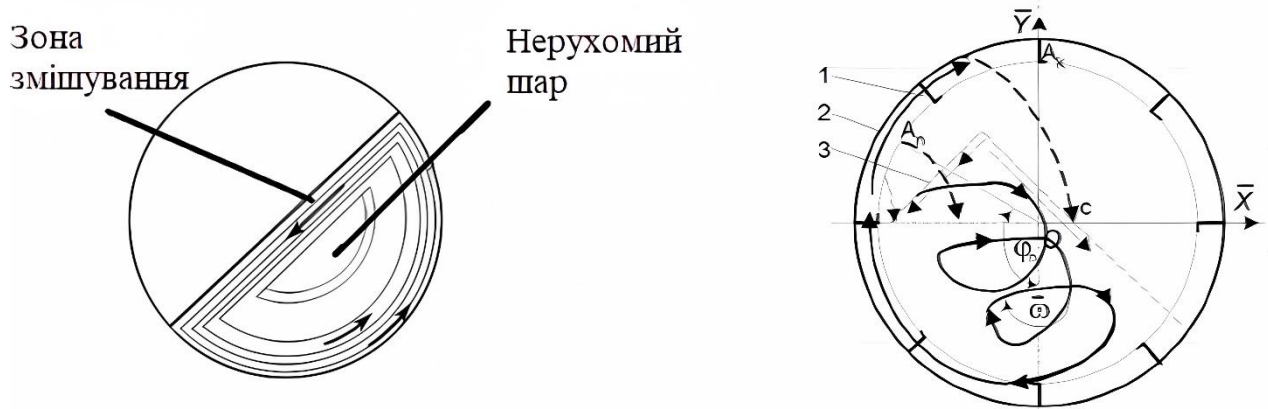


Рисунок 4.7 – Схема визначення параметрів руху сипучого матеріалу

Радіальне змішування настає, якщо частинки змінюють свою траєкторію циркуляції у площині поперечного перерізу. Це можливе тоді, коли між окремими шарами частинок з'являються градієнти швидкості.



1 – Лопатка; 2 – Ємність барабана; 3 – насип матеріалу суміші

Рисунок 4.8 – Схема руху частинок всередині барабана

Градiєнт швидкостi утворюється лише у шарах, близьких до поверхнi, тобто там, де частки вiльно скочуються пiд впливом сили тяжкостi. Така сфера їх руху називається зоною змiшування. Iншi шари нерухомi як щодо один одного, так i щодо стiнки барабана. Частинки, що у цих шарах, звуться статичної (нерухомої) маси.

Змiна траєкторiй циркуляцiї частинок заснована на гравiтацiйному осiданнi частинок у вiльнi простори, що знаходяться на їх шляху, мiж зернами безпосередньо прилеглого знизу шару. Цей рух цiлком випадковий, внаслiдок чого утворюється невпорядкована сумiш. Досвiд показує, що через 10 оборотiв цилiндричного корпусу в сегментi можна спостерiгати досить однорiдне розподiл частинок.

Осьове змiшування засноване на тому, що частинки змiнюють свої траєкторiї циркуляцiї в однiй площинi, перпендикулярної осi змiшувача, вiдповiднi траєкторiї циркуляцiї в прилеглих площинах. Таке явище виникає поблизу бiчних стiнок барабана, що знаходиться з ними в контактi, оскiльки рух частинок затримується тертям об стiнки. Внаслiдок цього виникає тенденцiя до перемiщення частинок у сусiднi шари.

Максимальна швидкiсть часток виникає в зонi, яка вiдокремлена вiд бiчної стiнки барабана. У мiру вiддалення вiд стiнки швидкiсть частинок у наступних зонах вирiвнюється; внаслiдок вiдсутностi градiєнта швидкостi мiж частинками в прилеглих шарах осьове змiшування у цiй галузi не вiдбувається. Змiна площин руху частинок, викликана градiєнтом швидкостi сусiднiх шарiв по вiдношенню один до одного, має (як i при радiальному змiшуваннi) випадковий характер (частка може зустрiти пролом у прилеглому шарi), через що осьове змiшування також призводить до утворення невпорядкованої сумiшi, але зi значно меншою iнтенсивнiстю, нiж при радiальному змiшуваннi.

Розглянемо розподiл та рух сипучого матерiалу в поперечному перерiзi барабана з лопатевою насадкою (рис. 4.9). Цикл руху частки можна подiлити на чотири стадiї: 1) рух у завалi; 2) рух разом iз лопатею; 3) рух по лопатi; 4) вiльне падiння з лопатi.

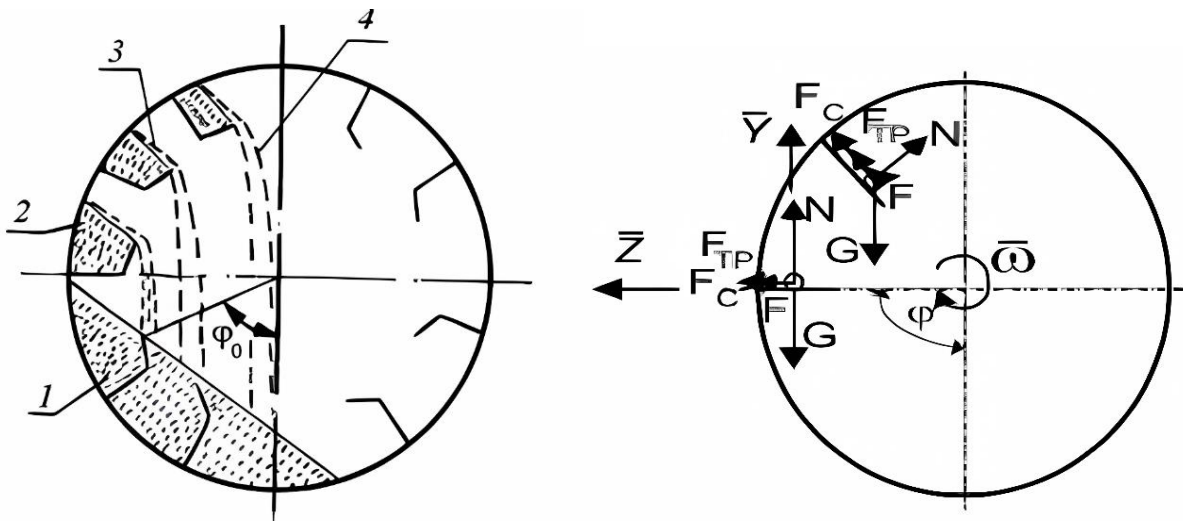


Рисунок 4.9 – Поперечний переріз барабана з лопатевою насадкою

Результати експериментальних досліджень з використанням фото- та кінозйомки [38, 39] дозволяють зробити наступні припущення при описі руху частинок сипучого матеріалу по лопаті: частинки зсипаються з лопаті потоком, який складається з ряду паралельних підшарів; у момент відриву від лопаті частинки, що знаходяться в одному підшарі, мають однакові швидкості. Як наслідок із зроблених припущень випливає припущення, що після відриву від лопаті частинки не стикаються один з одним, тому при описі руху сипучого матеріалу в поперечному перерізі барабана з лопатевою насадкою може бути використаний одночастковий підхід.

Зазвичай барабани з лопатевою насадкою мають малі кутові швидкості обертання, і тому кут нахилу до горизонту межі розділу матеріалу, що рухається і нерухомого щодо лопаті матеріалу практично не залежить від положення лопаті. Виходячи з цього, можна вважати, що на частинку, що рухається щодо лопаті, діє лише сила гравітації, тоді як на частинку, нерухому щодо лопаті, діє ще й відцентрова сила.

1.2 Визначення енерговитрат змішувача

Енергоємність сумішоутворення визначається для змішувача періодичної дії Y (Дж/кг) з урахуванням витраченої енергії (роботи) A (Дж), часу циклу змішування T (с) та маси приготовленої суміші M (кг) :

$$Y = \frac{A}{M} = \frac{N_{\text{БС}} \cdot T_{\text{Ц}}}{M} = \frac{N_{\text{БС}} \cdot (T_{\text{Ц}} + T_{\text{С}} + T_{\text{В}} + T_{\text{ХХ}})}{M}, \quad (4.2)$$

де A – робота, витрачена на привід змішувача за цикл сумішоутворення, Дж;

$M = (V \cdot \psi \cdot \rho)$ – маса порції приготовленої суміші, кг;

V – об'єм барабана, м^3 ;

ψ – ступінь заповнення барабана матеріалом;

ρ – щільність вороху суміші, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$N_{\text{БС}}$ – потужність, що споживається на привід змішувача при змішуванні, Вт;

$T_{\text{Ц}}$ – тривалість циклу змішування, с ;

$T_{\text{З}}$ – тривалість завантаження компонентів суміші, с;

$T_{\text{В}}$ – тривалість вивантаження компонентів суміші, с;

$T_{\text{С}}$ – тривалість перемішування (змішування) компонентів суміші, с;

$T_{\text{ХХ}}$ -тривалість холостого ходу, с.

Тривалість завантаження складає 10-15 с [53], тривалість вивантаження – 15–25 с, повернення барабана у вихідне положення – 10–20 с.

За аналогією з процесом дифузії, рівномірність приготовленої суміші описується [54, 55]:

$$\Theta = 1 - e^{-k \cdot T_{\text{С}}}, \quad (4.3)$$

де k – емпіричний коефіцієнт інтенсивності перемішування;

$T_{\text{С}}$ – тривалість перемішування [56]:

$$T_{\text{С}} = \frac{1}{k} \ln \frac{1 - \Theta}{1 - \Theta_{\text{н}}}, \quad (4.4)$$

де Θ_n, Θ – рівномірність змішування компонентів початку змішування і в кінці перемішування, 0,01 %.

Враховуючи, що співвідношення маси та часу є продуктивністю, отримаємо вираз енергоємності:

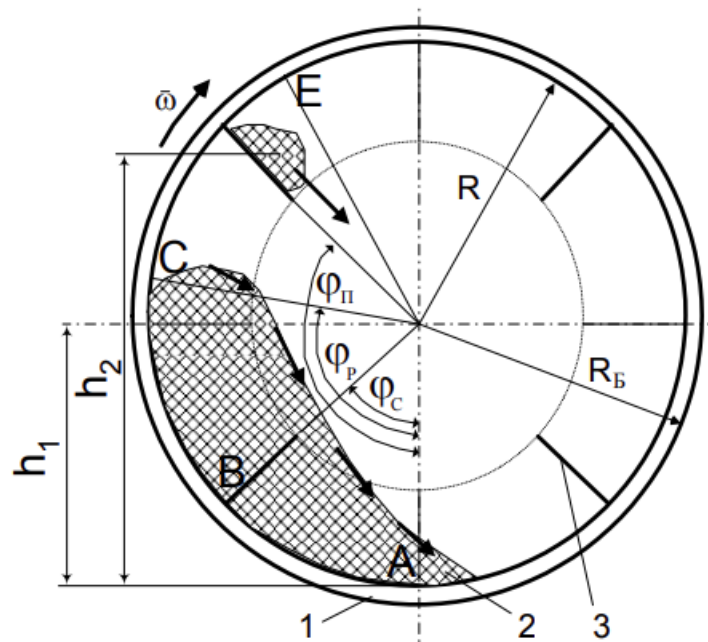
$$Y = \frac{N_{\text{БС}}}{Q_{\text{Ц}}} = \frac{N_{\text{БС}}}{(Q_3 + Q_C + Q_B + \frac{M}{T_{\text{XX}}})}, \quad (4.5)$$

де $Q_{\text{Ц}}$ – продуктивність змішування циклова, кг/с;

Q_3 – продуктивність завантаження компонентів суміші, кг/с;

Q_B – продуктивність при розвантаженні компонентів суміші, кг/с;

Q_C – продуктивність перемішування (змішування) компонентів суміші, кг/с



1 – барабан; 2 – суміш; 3 – лопать

Рисунок 4.10 – Схема для розрахунку потужності барабанних змішувачів з гравітаційним перемішуванням:

Відомо вираз роботи, що витрачається на підйом суміші всередині барабана, Дж:

$$A = G_1 \cdot h_1 \cdot z_1 + G_2 \cdot h_2 \cdot z_3 \quad (4.6)$$

де G_1 – сила тяжіння суміші, що піднімається під дією сил тертя стінки барабана, Н;

G_2 – сила тяжіння суміші, що піднімається лопатями барабана, Н;

h_1, h_2 – висота підйому суміші стінками барабана та лопатями відповідно, м;

z_1, z_2 – кратність циркуляції суміші за один оберт барабана, що піднімається під дією сил тертя та лопатями відповідно.

Однак дана формула не враховує конструктивних параметрів лопаті і кут нахилу барабана.

Відповідно до схеми (рис. 4.10) висота підйому суміші лопатями, м [57]:

$$h_2 = R - R \cdot \cos \varphi_n = R (1 - \cos \varphi_n) \cos \alpha \approx 1.7R \cos \alpha \quad (4.7)$$

де φ_n – кут підйому лопаті, у якому суміш сходиться із неї, град. $\varphi_n \approx 135^\circ$

Рух суміші під дією сил тертя складніше, ніж при дії лопатей. Приймаючи кут переміщення суміші з точки А в точку В $\varphi_n = 90^\circ$, висота підйому суміші під дією сил тертя h_1 визначиться, м:

$$h_1 = R \cdot \cos \alpha \quad (4.8)$$

де α – кут нахилу осі обертання барабана, рад

Кратність циркуляції суміші z_1 за один оберт барабана, що піднімається під дією сил тертя відома [57]:

$$z_1 = \frac{2\pi}{2\varphi_p} \approx \frac{2\pi}{\pi} \approx 2, \quad (4.9)$$

де φ_p – дійсний кут підйому, рад.

Кратність циркуляції суміші z_2 , що піднімається лопатями за один оберт барабана:

$$z_2 = \frac{T_{об}}{T_{п} + T_{оп}}, \quad (4.10)$$

де $T_{об}$ – час одного обороту барабана, $T_{об} = 1/n$, с;

n – частота обертання барабана, c^{-1} ;

$T_{п}$ – час підйому суміші лопатою, с.

$$T_{\Pi} = \frac{\varphi_{\Pi}}{2\pi \cdot n} = \frac{0,374}{n} \quad (4.11)$$

де $T_{\text{оп}}$ – час падіння суміші з висоти h_2 , с

$$T_{\text{оп}} = \frac{\sqrt{2 \cdot h_2}}{g} \approx 0,6 \bar{R} \quad (4.12)$$

Таким чином, кратність циркуляції суміші, що піднімається лопатями

$$z_2 = \frac{1/n}{\frac{0,374}{n} + 0,6 \bar{R}} \quad (4.13)$$

Об'єм суміші між лопатями барабана можна визначити

$$V_L = L \cdot \cos \beta \cdot \frac{\pi \cdot R^2 - (R-S)^2 \cdot \varphi_p}{2\pi} \quad (4.14)$$

де R – радіус (внутрішній) барабана, м;

L – Довжина лопаті, м;

S – ширина лопаті, м;

φ_p – кут підйому лопаті, при якому починається сходження матеріалу з лопаті, радий.

Враховуючи, що довжина лопаті L і ширина лопаті S відповідають певній пропорції внутрішньому діаметру барабана $D=2R$, вище зазначені параметри можемо записати [56]:

$$L = D \cdot k_l; \quad S = D \cdot k_s \quad (4.15)$$

де k_l – Коефіцієнт довжини лопаті, 0,8–1,2;

k_s – коефіцієнт довжини лопаті, 0,25

Масу суміші між лопатями барабана можна визначити

$$\begin{aligned} M_2 &= V_L \cdot \rho = L \cdot \rho \cdot \cos \beta \cdot \frac{\pi \cdot R^2 - (R-S)^2 \cdot \varphi_p}{2\pi} = L \cdot \rho \cdot \cos \beta \cdot \frac{0,25 D^2 - (0,5D-S)^2 \cdot \varphi_p}{\pi} = \\ &= D \cdot k_l \cdot \rho \cdot \cos \beta \cdot \frac{0,25 D^2 - (0,5D-k_s)^2 \cdot \varphi_p}{\pi} \end{aligned} \quad (4.16)$$

де D – внутрішній діаметр барабана, м

Маса суміші, що піднімається під дією сил тертя об стінки барабана, визначиться:

$$M_1 = M - M_2 \quad (4.17)$$

Підставивши отримані значення формулу (5), отримаємо вираз для розрахунку роботи на підйом суміші, Дж:

$$A = M_1 \cdot g \cdot 2R \cdot \cos \alpha + M_2 \cdot g \cdot 1.7R \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\frac{1}{n}}{\frac{0.374}{n} + 0.6 \bar{R}} \quad (4.18)$$

Зазначена робота складається з двох доданків:

$$A = A_1 + A_2 \quad (4.19)$$

де A_1 – робота, що витрачається на підйом матеріалу стінками барабана, Дж;

A_2 – робота, що витрачається на підйом матеріалу лопатями барабана, Дж.

Оскільки дані вирази не враховують внутрішнє тертя матеріалу, а також турбулізацію матеріалу під впливом лопат, слід ввести поправочні коефіцієнти, що враховують конструктивні параметри змішувача.

В такому випадку:

$$A_1 = k_{wb} \cdot g \cdot D \cdot \cos \alpha \cdot M - M_2, \quad (4.20)$$

$$A_2 = k_{wl} \cdot g \cdot D \cdot \cos \alpha \cdot \left[0.85 \cdot M_2 \cdot \frac{\frac{1}{n}}{\frac{0.374}{n} + 0.6 \frac{D}{2}} \right], \quad (4.21)$$

де k_{wb} , k_{wl} – поправочні коефіцієнти доданків потужності, відповідно підйому та перемішування матеріалу обертним барабаном і підйому та перемішування матеріалу лопатями барабана.

Потужність, що витрачається на підйом суміші, кВт:

$$N_1 = A \cdot n / 1000. \quad (4.22)$$

Двигун витрачає також енергію на подолання сил тертя в опорному вузлі барабана, що визначається за виразом

$$N_2 = \frac{M + M_6 \cdot g \cdot r_o \cdot \mu \cdot \omega}{1000}, \quad (4.23)$$

де M_6 – маса барабана, кг;

r_o – радіус осі, м;

μ – коефіцієнт тертя у підшипнику;

ω – кутова швидкість обертання барабана, рад/с.

Потужність двигуна приводу обертання барабана визначиться [56], кВт:

$$N_d = K_3 \cdot N_1 + N_2 + N_{xx} \quad (4.24)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу потужності на запуск змішувача у разі непередбаченого зупинки;

N_{xx} – витрати потужності на холостий перебіг змішувача.

Під час експерименту потужність фіксувалися значення напруги і сили струму які подавалися на привід змішувача. Та за допомогою них порахували потужність (рис 4.11 А) яка необхідна змішувачі, за формулою:

$$N = U \cdot I, \quad (4.24)$$

Енергоємність сумішоутворення визначалося за формулою 4.2 і вона розраховувалося для повного циклу змішування $T_{ц} = 5$ хв . Графічне зображення результатів приведено на рисунку 4.11 Б.

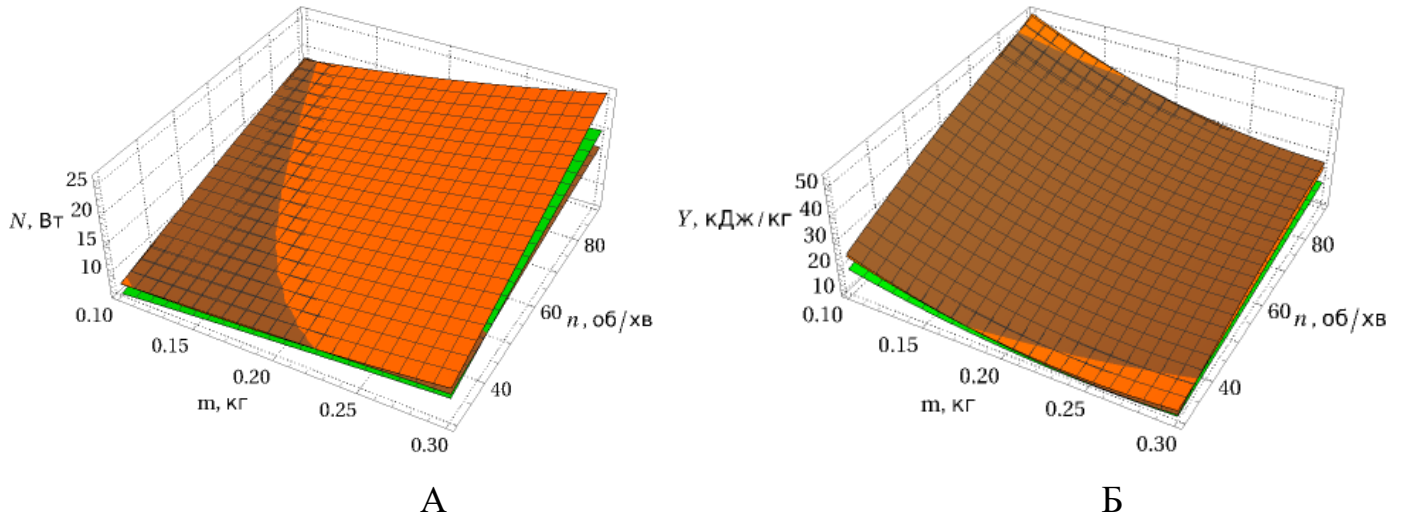


Рисунок 4.11 А) Потужність яка споживається при змішуванні, Вт;
 Б) Енерговитрати на процес змішування (коричневий – змішувач без лопаток,
 зелений – лопатки під кутом 45, оранжевий – лопатки під кутом 90)

4.3 Порівняння результатів експериментальних і теоретичних досліджень

З урахуванням умови максимального значення однорідності суміші знайдені раціональні параметри змішувача. Для результатів чисельного моделювання: $\alpha = 53,9^\circ$, $t = 4,45$ хв., $m = 0,10$ кг, $n = 44,2$ об/хв. Для результатів експериментальних досліджень: $\alpha = 47,1^\circ$, $t = 4,38$ хв., $m = 0,12$ кг, $n = 43,6$ об/хв. Як видно, раціональні значення отримані в результаті моделювання і експерименту дуже близькі. Тому будемо вважати, що їх середнє значення є істинним: $\alpha = 50,5^\circ$, $t = 4,415$ хв., $m = 0,11$ кг, $n = 43,9$ об/хв. Для порівняння і візуалізації отриманих залежностей (2.3) і (4.2) побудуємо відповідні поверхні відгуку (рис. 4.10).

З рис. 4.12 видно достатньо близьке розташування графіків для теоретичних (2.3) і експериментальних (4.2) залежностей. Статистичне порівняння за коефіцієнтом кореляції Пірсона залежностей (2.3) і (4.2) в межах варіювання факторами далі також достатньо високий результат – 0,97.

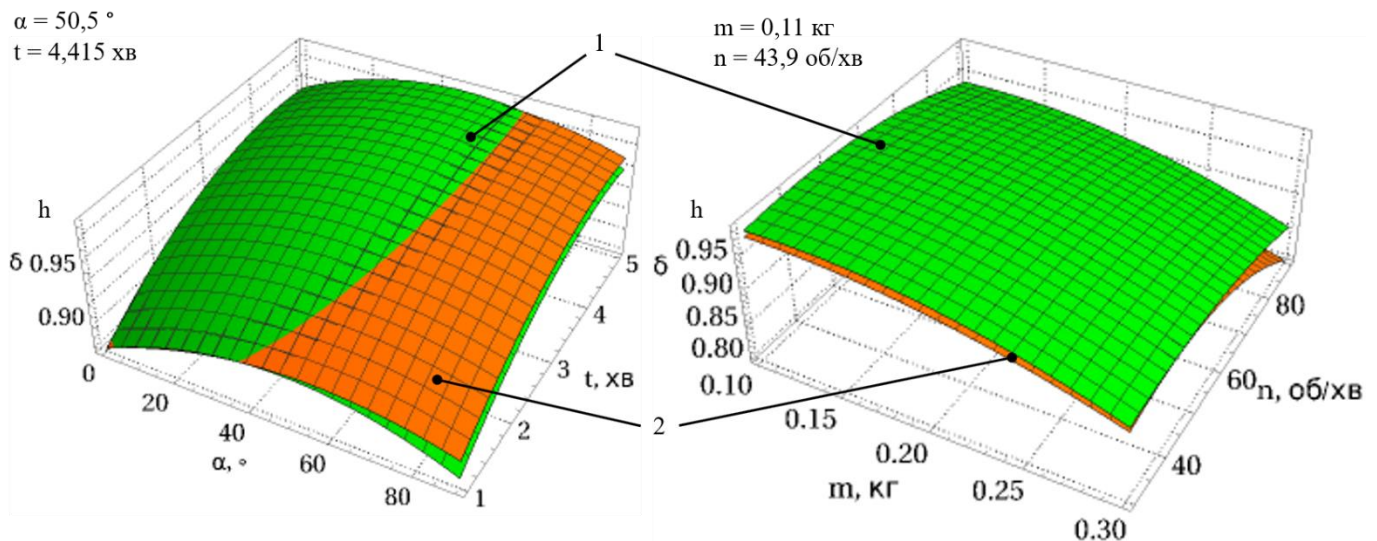


Рисунок 4.12 – Теоретичні (2) і експериментальні (1) залежності зміни коефіцієнта однорідності суміші в змішувачі h від куту нахилу лопаті α , маси матеріалу m , частоти обертання n , тривалості змішування t

4.4 Висновки з розділу

1. Зі збільшенням маси матеріалу m , який необхідно змішати однорідність h зменшується. Це перш за все пов'язано із масою відібраної проби. Так як маса проби для всіх досолів є однаковою (4 г), то для маси матеріалу 0,1 кг вона складає 4 %, а для маси 0,3 кг – 1,3 %.

2. Зі збільшенням частоти обертання циліндра n змішувача спостерігається оптимуму для однорідності h . Це можна пояснити наступним чином. Мала частота обертання практично не перевертає шари суміші. А при високій частоті обертання діє відцентрова сила, яка фіксує матеріал вздовж стінок циліндра, що також призводить до зменшення ефективності перерозподілу шарів суміші в змішувачі.

3. При збільшенні часу змішування t спостерігається фіксація значення однорідності h і навіть не велике її спадання. Це свідчить про початок процесу сегрегації суміші.

4. Для кута нахилу лопаті α існує оптимум при якому однорідність суміші h є максимальною. Це перш за все пов'язано із можливістю лопаті переміщувати матеріал в верхня положення циліндра, де від вивільнюється і падає на матеріал, який знаходиться в нижній частині циліндра. У змішувачі без лопатей (або $\alpha = 0^\circ$) зазначеного процесу не відбувається. З прямими лопатями ($\alpha = 90^\circ$) матеріал вивільняється у самій верхній точці змішувача, а з похилими далі по напрямку обертання. Окрім цього, зрозуміло, що чим менше кут нахилу, тим менша маса матеріалу потрапляє на лопать, а відповідно до цього якість змішування покращується. Тому таке протиставлення процесів призводить до виникнення оптимуму.

5. Якісний аналіз процесу руху сипучого матеріалу в поперечному перерізі гладкого барабана, що обертається дозволяє зробити наступні висновки:

– після припинення обертання барабана сипкий матеріал набуває форми сегмента, причому відкрита поверхня нахилена до горизонту під кутом тертя руху;

- перехід сипучого матеріалу від спокою до руху та навпаки визначається рівновагою окремих частинок на відкритій поверхні сегмента матеріалу;
- матеріал утворює замкнений потік навколо центру циркуляції і складається з шару, що піднімається, що викочується;
- межа розділу шарів несиметрична щодо центру циркуляції, причому зі збільшенням кутової швидкості обертання барабана верхня ділянка кордону коротшає, а нижня – подовжується, помітно викривляючись при цьому;
- зі збільшенням кутової швидкості обертання об'єм матеріалу, що знаходиться в шарі, що піднімається, зменшується, а висота підйому його центру тяжіння збільшується.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Терміни та поняття загального характеру

Охорона праці вивчає ризики та заходи для захисту працівників від небезпеки. Це система, яка забезпечує безпеку життя та здоров'я під час трудової діяльності через реалізацію соціально-економічних, правових, соціально-гігієнічних, організаційно-технічних, реабілітаційних, лікувально-профілактичних та інших заходів. Зокрема, охорона праці також включає в себе аспекти пожежної безпеки, оскільки під час пожеж можуть виникати загрози для життя та здоров'я людей.

Безпека праці – це система заходів та технічних засобів, спрямованих на уникнення небезпечних виробничих чинників для працівників.

Виробнича санітарія – це система заходів та технічних засобів, спрямованих для уникнення згубних виробничих факторів для працівників.

Умови праці охоплюють різноманітні фактори робочого середовища, які впливають на працездатність та здоров'я людини під час виконання трудових обов'язків. Вимоги щодо безпеки праці закріплені у нормативно-правових документах, законодавчих актах, а також в інструкціях та правилах.

Фактор виробничого середовища вважається небезпечним, якщо його вплив на працівника в конкретних умовах може призвести до травм або іншого раптового та серйозного погіршення здоров'я.

Фактор виробничого середовища вважається шкідливим, якщо його вплив на працівника в конкретних умовах може призвести до захворювання чи зниження працездатності. Залежно від інтенсивності та тривалості дії впливу, він може стати небезпечним.

Безпека виробничого обладнання — визначається його здатністю обладнання зберігати безпечний стан за заданих нормативно-технічних умов під час виконання конкретних функцій.

Безпека виробничого процесу визначається його здатністю підтримувати відповідність вимогам безпеки праці в установлених нормативно-технічних умовах. Засіб захисту працюючого – це засіб, який застосовується для запобігання або зменшення впливу небезпечних або шкідливих виробничих факторів на працівників.

Виробнича травма – це травма, яку отримав працівник під час виробництва. Виробничий травматизм – це явище, що включає в себе сукупність виробничих травм.

Професійне захворювання – це хронічне або гостре захворювання, що виникає внаслідок впливу шкідливого виробничого фактора (або факторів) і може спричинити тимчасове або стійке зниження професійної працездатності працівника.

Професійна захворюваність – це явище, яке включає в себе сукупність професійних захворювань. Основні засади забезпечення безпеки праці ґрунтуються на тому, що трудова діяльність людини має потенційні ризики; небезпеки, які можуть виникнути в робочому просторі та в різні періоди часу, можуть викликати різноманітні проблеми, такі як нервові розлади, захворювання, травми, інвалідність та навіть смерть; захист від цих ризиків є суттєвою соціально-економічним та гуманним викликом національного масштабу.

5.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів у робочому середовищі

Безпека праці в галузі комбікормового виробництва представляє собою складну та багатоаспектну систему, яка має власні унікальні цілі, завдання та методи їх досягнення. Один із основних принципів організації виробництва полягає в створенні безпечних умов праці на кожному етапі виробництва. Сучасний виробничий процес у вигляді виробництва комбікормів представляє собою складний комплекс різних технологічних процесів.

Це відкриває можливість для різноманітної дії негативних факторів виробництва на організм працюючих, що в свою чергу створює труднощі в оцінці їх

як потенційно ризикових факторів у розширені професійних неспецифічних захворювань.

Під час використання устаткування, яке призначено для виготовлення комбікормів, існує безліч небезпек, які негативно впливають на працездатність та здоров'я персоналу. Ці небезпеки включають рухомі частини обладнання, запиленість, високий рівень шуму та вібрації, підвищену температуру повітря в робочій зоні та на поверхнях обладнання, а також загрозу вибуху та пожежі, а також можливість ураження електричним струмом. Отже, виробництво комбікормів стикається з впливом різноманітних факторів на працюючих, серед яких основні – це шум та вібрація, пил, непридатний мікроклімат.

Робочі умови при виробництві комбікорму відрізняються тим, що пил може впливати на здоров'я працівників. Склад пилу складний і різноманітний, оскільки комбікорми включають велику кількість складових: зернові культури (жито, пшениця, овес, ячмінь і інші), макухи, борошно з кісток та м'яса, різні види шротів, трав'яне борошно, борошно вапнякове, борошно з риби, кухонна сіль, фосфати, дріжджі гідролізні, премікси, антибіотики, комплекси мінералів та вітамінів, ферменти. У процесі виробництва використовуються машини та агрегати з механізмами ударної дії, такі як дробарки та млини, а також установки, що працюють з потужними повітряними потоками, такі як пневмосистеми та сепаратори тощо.

Під час виробництва комбікормів виникає значна кількість органічного пилу, який за певних умов може стати причиною утворення вибухо- та пожежонебезпечного середовища у сполучі з повітрям. Цей пил негативно впливає на працівників, призводить до передчасного зношування технічного обладнання і забруднює навколишнє середовище. Комбікормовий пил може утворювати вибухонебезпечні суміші у технологічному устаткуванні, системах вентиляції, бункерах і силосах, пневмотранспорті. Дефект у розробці та використанні комбікормових підприємств, які спеціалізуються на переробці рослинної сировини, можуть призвести до виникнення аварій. Можливість появи вибухів залежить від кількості

дрібнодисперсного продукту, його пожежо небезпечності, технологічних особливостей та обладнання виробництва, а також від ефективності заходів з вибухозахисту.

5.3 Методи захисту працівників від впливу небезпечних і шкідливих факторів на робочому місці

Для захисту робітника змішувача від впливу небезпечних та шкідливих факторів будуть використані технічні та організаційні заходи.

Одним із організаційних заходів є своєчасне проведення інструктажів з охорони праці. Існує "Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці", яке регламентує типи та порядок проведення інструктажів з охорони праці. Цей документ був схвалений наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці № 15 від 26 січня 2005 року. Згідно з даною нормативною документацією, вступний інструктаж з охорони праці проводить фахівець служби охорони праці або інший кваліфікований спеціаліст відповідно до розпорядження або наказу підприємства. Цей вид інструктажу організовується для всіх новоприбулих робітників. Після цього, відповідно до існуючих інструкцій з охорони праці на підприємстві, проводиться первинний інструктаж який необхідно проводити на робочому місці. Після пів року роботи оператора змішувача проводиться повторний інструктаж. У разі необхідності можуть бути проведені позаплановий та цільовий інструктажі..

Для забезпечення безпеки оператора змішувача в разі поломки мішалки встановлено сітчасту огорожу, яка розташована між машиною і робочим місцем працівника. Ця огорожа має захищати працівника від можливого травмування предметами під час аварійних ситуацій. Також передбачено захисний вимикач для уникнення ураження працівника електричним струмом у випадку несправності ізоляції або аварійного замикання на землю. Всього за дві десятих (0.2) секунди через

виникнення замикання цей вимикач вмикається та автоматично заземлює електродвигун.

Для захисту від надмірного шуму оператори користуються навушниками спеціальними засобами захисту слуху .

Для зменшення шуму, що виникає під час роботи дробарок, необхідно встановлювати їх на ізольованих фундаментах і використовувати спеціальні амортизатори, які поглинають звук. Повітропроводи та самопливні труби слід з'єднувати за допомогою м'яких манжет або прокладок для зниження переносу звуку. Робочі місця дробарок повинні бути в ізольованих кабінах, які зменшують вплив шуму на операторів. Крім того, виробниче обладнання, машини, агрегати, вентилятори, які викликають загальну вібрацію, мають бути спроектовані та встановлені з урахуванням вимог щодо максимально допустимих рівнів вібрації. Це можна забезпечити застосуванням організаційно-технічних заходів, спрямованих на віброізоляцію та вібропоглинання.

5.4 Правила безпечного виконання робіт при виробництві комбікормів

На машинах які готують сухі сипкі корми можуть працювати лише ті особи, які не мають жодних медичних протипоказань, успішно пройшли виробниче навчання, склали відповідні іспити перед кваліфікаційною комісією та отримали спеціальне посвідчення за своєю спеціальністю та I кваліфікаційною групою з електробезпеки. Крім того, вони повинні успішно пройти вступний і первинний інструктажі. Усі ці працівники повинні бути забезпеченні особливим захисним взуттям, одягом та іншими засобами особистого захисту які відповідають вимогам, визначених в Типових нормах.

Під час роботи на змішувачі існують потенційно небезпечні та шкідливі виробничі умови, які вимагають особливої уваги та обережності. Серед них рухомі механізми, можливість відлітаючих часток продукту та інших предметів, які можуть

потрапити в змішувач, запиленість, статичне електричне поле, пожежна небезпека і є також можливість формування вибухонебезпечних сумішей.

Перед тим як почати роботу робітник має виконати низку заходів для забезпечення безпеки. Це включає перевірку та правильне надягання засобів індивідуального захисту, коректне встановлення вентиляції та освітлення на робочій площадці. Також необхідно перевірити, щоб шляхи доступу до рубильників і вимикачів були вільні від будь-яких перешкод. Важливо переконатися у надійності кріплення машин і обладнання, а також у відсутності сторонніх предметів у подачі та бункерах.

Також слід перевірити наявність і повноту комплекта засобів пожежогасіння та медичної аптечки, а також перевірити справність сигналізаційних пристроїв. Після цього слід включити змішувач для роботи при холостому ході, переконатися, що немає незнайомих вібрації або шумів, перевірити як працюють сигнальні та контрольні пристрої. Прилади і інструменти слід розташувати так, щоб їх застосування не виникало труднощів, забезпечуючи безпеку та ефективність робіт.

Під час роботи змішувача обов'язково слід дотримуватися певних правил та процедур для забезпечення безпеки та ефективності робіт. Перш за все, перед переборкою кормів необхідно їх очистити від металевих та інших чужорідних домішок. Перед запуском змішувача, переконавшись, що в небезпечних зонах немає працюючих осіб, слід подати звуковий сигнал та розпочати роботу.

Після набирання оборотів двигуна до номінальних значень слід увімкнути подаючий транспортер, щоб забезпечити рівномірне подавання продукту для подальшої переборки. Якщо в бункері затрималися сипкі матеріали або застрягли несипучі продукти у прийомній горловині, їх слід вивільнити за допомогою дерев'яного проштовхувача завдовжки не менше 1 метра.

Важливо пам'ятати, що під час технічного обслуговування чи ремонту устаткування заборонено демонтувати захисні елементи, відчиняти люки шлюзових запірних пристроїв, підтягування різьбових з'єднань чи виконувати мащення. Коли

устаткування зупиненні для ремонту на вимикачі слід чіпляти вивіску "Не вмикати - працюють люди!" та використовувати завжди справний інструмент. Після кожної зупинки устаткування необхідно ретельно прибрати пил борошняний. Також рекомендується прибрати приміщення с певною періодичністю, зволожувати повітря та перевіряти герметичність системи вентиляції. Перед тим як зупинити устаткування слід спочатку припинити подачу матеріалу і, після того як матеріал перестає надходити, вимкнути мотор.

Після того як робота завершена, важливо покроково виконати наступні дії: завершити подачу продукту в устаткування, установити змішувач для роботи на холостому ході та вимкнути мотор. Потім від зупинки машини варто очистити її та місце роботи від останок матеріалу, обстежити на наявність можливих несправностей та усувати їх. У випадку виявлення серйозних проблем слід негайно повідомити керівника виробничої дільниці.

Інструменти, пристрої та інвентар, такі як проштовхувачі, чистики тощо, слід прибрати в спеціальну шафу, здати на зберігання або передати на обслуговування. Не забувайте зняти спецодяг та засоби індивідуального захисту, очистити їх і, за потреби, передати на обслуговування чи зберігання.

Роботу на дефектному устаткуванні з без заземлення та відсутніми захисними елементами - заборонено. Для запобігання вибухам і пожежам потрібно підтримувати чистоту в обладнанні та приміщеннях, регулярно перевіряти роботу вентиляційних систем, стан запобіжних елементів рухомих вузлів машини та заземлення. Важливо вивчити, де розташовані та як користуватися засобами пожежогасіння та сигналізації. Заборонено застосовувати інвентар який призначено для гасіння пожеж для інших потреб. У разі виявлення несправностей обладнання, пристроїв чи інструментів, а також у випадку виникнення пожежі, порушення правил безпеки, травмування робітників чи аварії необхідно негайно інформувати начальника дільниці виробництва та директора підприємства.

5.5 Дій під час надзвичайних ситуаціях

Як зазначалося раніше, одним з потенційних небезпек на виробництві комбікорму є можливість вибуху із-за надмірного запилення в робочій зоні повітря. Вибух представляє собою явище горіння, який відбувається зі виділенням великої кількості енергії в обмеженому просторі протягом короткого періоду часу. Внаслідок вибуху утворюється та поширюється ударна хвиля, яка має надлишковий тиск і викликає механічний вплив на навколишні об'єкти. Основні фактори враження від вибуху включають повітряну ударну хвилю та поля осколків, формовані уламками зруйнованих об'єктів, що розлітаються, технологічного обладнання.

У разі загрози вибуху важливо лягти на живіт, закриваючи голову руками, розміститися подалі від зашкленених дверей, вікон, сходів і проходів. Коли вже відбувся вибух, слід не панікувати та прийняти заходи для запобігання пожежі, а якщо є потерпілі то надати їм першу допомогу до приїзду швидкої. Працівник які виявили ознаки пожежі (запах гару, підвищення температури, задимлення тощо) або вогнище загоряння, повинен негайно повідомити за номером "101". Необхідно надати назву підприємства його адресу, місце пожежі або вибуху, а також вказати прізвище хто повідомляє. Крім того, необхідно провести дії для припинення пожежі, евакуації людей і збереження матеріальних цінностей.

Первинних засобів пожежогасіння включають в себе використання вуглекислотні вогнегасники різних типу ВУ. Вони спеціально розроблені для тушіння вогню на різних видів горючих матеріалів, за винятком тих, що горять без доступу повітря. Також їх можна використовувати для гасіння електроустановок, які мають напругу до 1000 Вольт. В основі дії цих вогнегасників лежить використання вогнегасної речовини – двоокису-вуглецю.

Щоб привести в дію вуглекислотний вогнегасник потрібно спрямувати розтруб на місце загорання, відірвати захисну пломбу, витягнути чеку, натиснути на ричаг (або повернути крутничку вентиля проти годинникової стрілки), спрямувати потік на

вогонь. Важливо вогнегасник утримувати прямовисно, не обертаючи його. Для того щоб не було обмороження, утримуйтеся від дотику до металевої частини розтрубу відкритою шкірою. При гасінні електроустановок, які перебувають під напругою, важливо уникати наближення розтруба до них на відстань менше 1 метра.

Внутрішні пожежні крани (ПК) використовуються для надання води під час тушіння пожеж, які можуть виникнути внаслідок загоряння твердих матеріалів та горючих рідин. Для активації внутрішнього ПК необхідно двох працівників: один з них встановлює пожежний шланг та готує пожежний гідрант для подавання води до місця загоряння, в той час як інший контролює підключення пожежний шланг до внутрішнього ПК та відчиняє маховик для подачі води.

Повсть (кошма) і Полотно азбестове застосовуються для тушіння невеликих загорянь продуктів та речовин, які горять лише при наявності повітря. Щоб припинити доступ повітря до осередку загоряння, його накривають азбестовим або повстяним полотном. Пісок використовується для механічного приглушення полум'я та ізоляції горючого або тліючого матеріалу від повітря. Його можна подати у вогнище пожежі за допомогою лопати чи совка.

5.6 Висновки з розділу

Проведено огляд розробленого змішувача сипких кормів з урахуванням нормативної документації та вимог охорони праці. Під час обстеження визначили небезпечні та шкідливі фактори для оператора і запропонували відповідні заходи щодо їх уникнення. Також розробили правила безпечного виконання робіт для цього змішувача сипких кормів.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОТОРНОГО ЗМІШУВАЧА

6.1 Вихідні данні

Розроблений змішувач, завдяки своєму компактному дизайну, ідеально підходить для використання в ролі машини для приготування преміксів під час багатоступінчастого процесу виготовлення сипких кормів. У зв'язку з цим, порівнюючи розроблений змішувач, ми зосередимося на його функціональності порівняно з найближчим аналогом за призначенням, а саме з барабанним змішувачем ЗБ-200.

Порівняльний аналіз економічних показників розробленого та зазначеного змішувачів будемо проводити на основі питомих експлуатаційних витрат, обчислених в гривнях за тону, крім прив'язки до певних обсягів змішування. Обчислення будуть виконані для роботи в одну зміну. Початкові відомості для обчислення представлені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Початкові відомості до Обчислення техніко-економічних показників

Показник	Устаткування	
	ЗБ-200	розроблений змішувач
Потужність, кВт	2,2	2,2
Продуктивність, т/год	1,125	1,8
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Строк служби, років	10	10
Тривалість зміни, год.	8	8
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт	0,14	0,14
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,1	0,11
Капітальні вкладення, грн.	-	40 500
Балансова вартість, грн.	50 000	-

6.2 Розрахунок економічних показників

Розрахуємо витрати експлуатації на одиницю продукції за виразом.

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

де Π_3 – витрати на виплату заробітної плати робітникам на одиницю продукції, грн./т;

Π_a – питомі амортизаційні відрахування, грн./т;

Π_t – питомі витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання, грн/т.

Π_e – питомі витрати на електроенергію, грн./т;

Витрати на виплату заробітної плати робітникам на одиницю продукції

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

де n – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.

Q – продуктивність змішувача, т/год

f –тарифна ставка одного робітника за годину, грн./год. На даний момент мінімальна заробітна плата, 2023 року, за місяць складає – 6700 грн., за годину виходить – 40,46 гривень, отже беремо $f = 40,46$ грн./год.;

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

За формулою (6.2) за варіантами маємо

Стандартний

$$\Pi_{36} = \frac{1 \cdot 40,46 \cdot 1,22}{1.125} = 43.88 \text{ грн/т}$$

розроблений

$$\Pi_{36} = \frac{1 \cdot 40,46 \cdot 1,22}{1.8} = 27.42 \text{ грн/т}$$

Розрахунок питомих витрат на енергоресурси проведемо відповідно до наступної формули.

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

де $c_e = 2,64$ грн/кВт·год. – сьогоднішня вартість електроенергії.

N – потужність двигуна змішувача, кВт.

Стандартний

$$P_e = \frac{2.2 \cdot 2.64}{1.125} = 5.16 \text{ грн/т}$$

Розроблений

$$P_e = \frac{2.2 \cdot 2.64}{1.8} = 3.23 \text{ грн/т}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань на одиницю продукції виконаємо відповідно до наступної формули

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

де α – нормований коефіцієнт відрахувань, %.

B – балансова вартість змішувача, грн.

K – Коефіцієнт застосування засобів механізації розраховують за допомогою наступної формули.:

$$K_B = \frac{t_{\text{фак}}}{t_{\text{пл}} \cdot 365} \quad (6.5)$$

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

Розраховуємо коефіцієнт застосування засобів механізації до однієї години при однозмінній роботі протягом року можна провести за допомогою наступної процедури.

$$K_B = \frac{1}{8 \cdot 365} = 0.00034$$

Отже за формулою (6.4) отримуємо

Стандартний

$$P_a = \frac{0.1 \cdot 50\,000 \cdot 0.00034}{1.125} = 1.51, \text{ грн/т}$$

Розроблений

$$P_a = \frac{0.1 \cdot 40\,500 \cdot 0.00034}{1.8} = 0.77, \text{ грн/т}$$

Розрахунок питомих відрахувань на технічне обслуговування і ремонт устаткування можна виконати за допомогою такого виразу:

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

де β – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт змішувача, %.

Отже за формулою (6.6) отримуємо

стандартний

$$P_a = \frac{0.14 \cdot 50\,000 \cdot 0.00034}{1} = 2.12, \text{ грн/т}$$

Розроблений

$$P_a = \frac{0.14 \cdot 40\,000 \cdot 0.00034}{1.8} = 1.07, \text{ грн/т}$$

Загальні витрати експлуатації на одиницю продукції (6.1) становлять:

стандартний

$$P_b = 43.88 + 5.16 + 1.51 + 2.12 = 52.67 \text{ грн/т}$$

Розроблений

$$P_n = 27.42 + 3.23 + 0.77 + 1.07 = 32.49 \text{ грн/т}$$

Впровадженого розробленого експериментального змішувача дає зменшення питомих експлуатаційних витрат при використанні на :

$$E_e = P_b - P_n = 52.67 - 32.49 = 20.18 \text{ грн/т} \quad (6.7)$$

Термін відновлення витрат на впровадження експериментального змішувача можна розрахувати за наступною методикою:

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

де P – об'єм робіт за рік, т.

Розрахуємо обсяг робіт, проведених експериментальним змішувачем, при варіюванні ступеня його завантаження:

$$P = \frac{Q \cdot k_{вз} \cdot t_{зм} \cdot D \cdot i_{зав}}{100}, \text{ т} \quad (6.10)$$

де $i_{зав}$ – відсоток завантаження змішувача, %.

$k_{вз}$ – коефіцієнт використання часу зміни, $k_{вз} = 0.9$.

Отже, при завантаженні на 70 відсотків, можна визначити річний об'єм робіт, проведених експериментальним змішувачем, використовуючи відповідні методи та формули.

$$P = \frac{1.8 \cdot 0.9 \cdot 8 \cdot 365 \cdot 70}{100} = 3311, \text{ т}$$

$$T = \frac{40500}{3311 \cdot 20.18} = 0.606 \text{ років}$$

Питомі приведені витрати розраховують за таким виразом, враховуючи співвідношення витрат до певного показника чи ресурсу, зазвичай вираженого у відсотках чи одиницях.

$$ПП = П + \frac{B}{P} E, \text{ грн/т} \quad (6.11)$$

де $E = 0,15$ – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень який є нормативним.

Щоб розрахувати питомі витрати за базовим та проектним варіантом при завантаженні на 70 відсотків, скористайтеся формулою (6.11), яка враховує співвідношення витрат до показника завантаження.

стандартний

$$\text{ПП}_6 = 52.67 + \frac{50000}{2069} \cdot 0.15 = 56.3 \text{ , грн/т}$$

Розроблений

$$\text{ПП}_p = 32.49 + \frac{40500}{3311} \cdot 0.15 = 34.33 \text{ , грн/т}$$

Визначимо річний фінансовий вигрaш внаслідок впровадження виробничого варіанту, який ми пропонуємо, при роботі на 70% завантаженні.

$$E = (\text{ПП}_6 - \text{ПП}_p) \cdot P, \text{ грн.} \quad (6.12)$$

$$E = (56.3 - 34.33) \cdot 3311 = 72\,742.67 \text{ грн}$$

Усі показники економічної ефективності зведемо в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - Показники економічної ефективності розробленого змішувача

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	ЗБ - 200 (базовий)	розроблений змішувач	
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1.	100
Продуктивність , т/год.	1.125	1.8	160
Капітальні вкладення, грн	-	40 500	-
Балансова вартість, грн.	50 000	-	-
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	52.67	32.49	61.69
витрати на електроенергію	5.16	3.23	62.6
заробітна платня	43.88	27.42	62.49
витрати на ТО та ремонт	2.12	1.07	50.47
амортизаційні відрахування	1.51	0.77	50.99
Економія експлуатаційних витрат, грн./т	-	20.18	
Річне навантаження, т	2069	3311	160
Строк окупності капітальних вкладень, років		0,606	
Економія експлуатаційних витрат, грн.		72 742.67	

6.3 Висновки з розділу

Аналіз техніко-економічних показників експериментального змішувача підтверджує, що у порівнянні з базовим ЗБ-200 він виявляє переваги з точки зору експлуатаційних витрат, основним чином через вищу продуктивність. При цьому термін окупності при впровадженні при завантаженні на 70% складає 0,60 року.

ВИСНОВКИ

1. В даний час при створенні нового покоління змішувачів сухих кормових сумішей віддається перевага змішувачам, що обертаються. Перевагами змішувачів даного типу порівняно зі стаціонарними змішувачами періодичної дії будь-якого типу є: скорочення часу при вивантаженні корму, повністю автоматизований цикл очищення камери, відсутність застійних зон і деталей, що труться. Є можливість комбінувати деякі типові процеси, такі як застосування пари для теплової обробки, змішування будь-яких кормових матеріалів, незалежно від їхньої форми, змішування їх у малих дозах. Найголовніша перевага – простота конструкції змішувальної ємності.

2. Створено модель процесу змішування сипких компонентів комбікормів в роторному змішувачі періодичної дії в програмному пакеті Simcenter Star-CCM+. Обґрунтовано конструктивно-технологічна схема роторного змішувача періодичної, з різними варіантами виконання лопатей, для приготування сухих розсипних кормосумішей. У результаті чисельного моделювання процесу змішування в роторному змішувачі комбікормів періодичної дії встановлені залежності зміни коефіцієнта однорідності суміші в змішувачі h від куту нахилу лопаті α , маси матеріалу m , частоти обертання n , тривалості змішування t . Встановлено максимальне значення однорідності суміші за допомогою створеного рівняння регресії. Також з урахуванням умови максимального значення однорідності суміші знайдені раціональні параметри змішувача. Для результатів чисельного моделювання: $\alpha = 53,9^\circ$, $t = 4,45$ хв., $m = 0,10$ кг, $n = 44,2$ об/хв.

3. Виготовлено лабораторний зразок роторного змішувача періодичної дії і розроблено методику експериментальних досліджень. В результаті експериментальних досліджень встановлено що збільшенням частоти обертання циліндра змішувача спостерігається оптимуму для однорідності. При збільшенні часу змішування t спостерігається фіксація значення однорідності і навіть не велике її спадання. Для кута нахилу лопаті α існує оптимум при якому однорідність суміші є

максимальною. З урахуванням умови максимального значення однорідності суміші знайдені раціональні параметри змішувача. Для результатів експериментальних досліджень: $\alpha = 47,1^\circ$, $t = 4,38$ хв., $m = 0,12$ кг, $n = 43,6$ об/хв. Як видно, раціональні значення отримані в результаті моделювання і експерименту дуже близькі. Тому будемо вважати, що їх середнє значення є істинним: $\alpha = 50,5^\circ$, $t = 4,415$ хв., $m = 0,11$ кг, $n = 43,9$ об/хв.

4. На підставі нормативної документації та відповідно до вимог з охорони праці, проведено огляд розробленого змішувача сипких кормів та визначили вплив небезпечних і згубних факторів на оператора. Задля запобігання цьому визначено належні дії. До спроектованого змішувача розроблені і представлені правила безпечного проведення робіт.

5. Відповідно до економічної оцінки, розроблений змішувач сипких кормів, демонструє нижчі експлуатаційні витрати порівняно із стандартним змішувачем ЗБ-200. Це досягнуто завдяки вищій продуктивності та меншим експлуатаційним витратам. Річна економія на експлуатаційних витратах оцінюється в 72 742.67 грн., а термін окупності нового змішувача становить 0,60 року.

Бібліографія

1. Лобановський Г.А. Технологія виробництва комбікормів. – К.: Урожай.1973 - 136 с.
2. Максаков В.Я. Виробництво і використання комбікормів. –К.: Урожай.1978. -151 с.
3. Макаров Ю.И. Проблемы смешивания сыпучих материалов. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. Т. XXXIII, 1988. – С.384-389.
4. Сорокін В.М. Аналіз функціональних схем приготування комбікормів в умовах господарств і перспективні напрями їх вдосконалення. Вісник Львівського національного аграрного університету. /Агроінженерні дослідження, №12, том. 1, -С. 228-234.
5. Сорокін В.М., Ачкевич О.М. Вибір параметричних ознак змішувачів комбікормових добавок в умовах тваринницьких ферм / В.М. Сорокін, О.М.
6. Ачкевич. //Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К.: - Вип.144. ч. 2. – С. 181-188
7. Черняев Н.П. Технология комбикормового производства. –М.: Агропромиздат. 1983. -256 с
8. Паньків Ю. Характеристика процесів змішування. ІV Міжнародна студентська науково - технічна конференція "Природничі та гуманітарні науки. актуальні питання" с -112
9. Ясенецкий В.А. Индустриальная технология кормопроизводства / В.А.Ясенецкий, В.Я. Осьмак. –К.: Урожай. 1984. -216 с.
10. Закотенко В. Автоматизированная система дозирования и смешивания на птицефабрике / В. Закотенко, И. Панин, В. Щеблыкин // Комбикорма. – 2001. – №2. – С. 32 – 33.

11. Закотенко В. Автоматизированная система дозирования и смешивания на птицефабрике / В. Закотенко, И. Панин, В. Щеблыкин // Комбикорма. – 2001. – №2. – С. 32 – 33.
12. Перельман В.Э. Исследование процесса смешивания ингредиентов в комбикормовом производстве : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / В.Э. Перельман. – М., 1954. – 20 с.
13. Свиридов М.М. Исследование движения сыпучего материала на внутренних устройствах машин с вращающимися барабанами: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / М.М. Свиридов. – М., 1976. – 17 с.
14. Эшдавлатов Э.У. Обоснование параметров и режимов работы смесителя непрерывного действия с тепловой обработкой кормов : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / Э.У. Эшдавлатов. – Балашиха, 1990. – 17 с.
15. Евсеенков С.В. Повышение эффективности процесса смешивания компонентов сыпучих кормов : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук / С.В. Евсеенков. – Челябинск, 1994. – 40 с.
16. Пахомов В.И. Обоснование и технологическое проектирование блочно-модульных внутрихозяйственных комбикормовых предприятий: дис. ... доктора техн. наук / В.И. Пахомов. – зерноград, 2000. – 440 с.
17. Методика определения экономической эффективности исследования в сельском хозяйстве результатов научно-технических работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: Колос, 1980. – 112 с.
18. Метод отбора проб: ГОСТ 13586.3-83. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 14 с.
19. Вишневский А.А. Разработка и исследование скоростного смесителя-пластикатора непрерывного действия для приготовления ПВХ композиций : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / А.А. Вишневский. – М., 1983. – 18 с.

20. Фомичев А.Г. Исследование и разработка аппарата для приготовления сыпучих смесей методом псевдооживления : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / А.Г. Фомичев. – Калинин, 1975. – 18 с.
21. Фурса И.И. Определение показателя однородности неравновесных смесей / И.И. Фурса // Сборник научных трудов. Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К. : Урожай, 1970. – Вып. 14. – С. 103 – 102.
22. Комаров Б.А. Исследование работы процесса образования сыпучих смесей в кормоприготовлении и его механизация : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / Б.А. Комаров. – М., 1956. – 17 с
23. Механизированные поточные линии приготовления кормосмесей (рекомендации). – М. : Россельхозиздат, 1972. – 54 с
24. Смирнов Е.Н. Некоторые вопросы смешения шихты, усреднения сырья и гомогенизация стекломассы в ванной печи : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / Е.Н. Смирнов. – М., 1962. – 17 с.
25. Кукта Г.М. Технологические и технические основы механизированных процессов приготовления кормов в условиях интенсификации животноводства : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук / Г.М. Кукта. – К., 1980. – 40 с.
26. Евсеенков С.В. Повышение эффективности процесса смешивания компонентов сыпучих кормов : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук / С.В. Евсеенков. – Челябинск, 1994. – 40 с.
27. Орлов Е.Л. Технический уровень оборудования для комбикормовой промышленности и перспективы его совершенствования. Обзорная информация ЦНИИТЭИ / Е.Л. Орлов, Ю.А. Саликов. – М., 1991. – 38 с.
28. Куцин Л.М. Механико-технологические основы создания транспортирующих, дозирующих и смешивающих устройств для приготовления кормов на животноводческих фермах : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук / Л.М. Куцин. – К., 1981. – 42 с.

29. Хлыстунов В.Ф. Механико-технологическое обоснование технического оснащения системы жизнеобеспечения свиноводства: дис. ... доктора техн. наук / В.Ф. Хлыстунов. – зерноград, 2000. – 480 с
30. Семенов В.И. Сокращение энергозатрат при приготовлении комбикормов для птицы с прогнозируемой точностью дозирования компонентов : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / В.И. Семенов. – Оренбург, 1998. – 20 с.
31. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / Соколов А.Я. – М. : Колос, 1975. – 496 с.
32. Бегма, Н. А. (2018). Використання кормів: навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ. 168 с.
33. Дмитрів Д.В. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів малогабаритних кормозмішувачів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Д.В. Дмитрів. – Тернопіль, 2001. – 20 с.
34. Уланов И.А. Исследование технологического процесса приготовления смесей из грубых и сочных кормов : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / И.А. Уланов. – Саратов, 1965. – 17 с.
35. Макевнин, М.П. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах : дис. канд. техн. наук / М.П. Макевнин. – М., 1963.
36. Трофимов, А.В. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах без внутренних устройств : дис. ... канд. техн. наук / А.В. Трофимов. – М., 1973.
37. Коротич, В.И. Движение сыпучего материала во вращающемся барабане / В.И. Коротич // Сталь. – 1962. – № 8. – С. 680 – 686.
38. Свиридов, М.М. Исследование движения сыпучего материала на внутренних устройствах машин с вращающимися барабанами : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.М. Свиридов. – М., 1976

39. Першин, В.Ф. Исследование, разработка и методика расчета режимных и геометрических параметров машин барабанного типа : дис. ... канд. техн. наук / В.Ф. Першин. – М., 1979.
40. Алієв, Е. Б., Миколенко, С. Ю., Сова, Н. А. та ін. (2022). Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛІРА. 192 с.
41. Кісільов, Р. В., Матвєєв, К. Д., Лузан, П. Г. (2013). Дослідження технологічної ефективності змішування кормів двоступеневим одновальним комбінованим змішувачем періодичної дії. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 43 (II): 108–112.
42. Shevchenko I. Aliiev E. Improving the efficiency of the process of continuous flow mixing of bulk components. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. 6/1 (108). P. 6-13. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409
43. Mesnier, A., Peczalski, R., Mollon, G., Vessot-Crastes, S. (2020). Mixing of Bi-Dispersed Milli-Beads in a Rotary Drum. Mechanical Segregation Analyzed by Lab-Scale Experiments and DEM Simulation. Processes. 8 (9): 1166. DOI: 10.3390/pr8091166
44. Liao, C. C., Hsiaub, S. S., Nien, H. C. (2015). Effects of density ratio, rotation speed, and fill level on density-induced granular streak segregation in a rotating drum. Powder Technol, 284, 514–520. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.07.030
45. Vargas, W. L., Hajra, S. K., Shi, D., McCarthy, J. J. (2008). Suppressing the Segregation of Granular Mixtures in Rotating Tumblers. AIChE J., 54, 3124–3132. DOI: 10.1002/aic.11640
46. Maione, R., De Richter, S.K., Mauviel, G., Wild, G. (2015). DEM investigation of granular flow and binary mixture segregation in a rotating tumbler: Influence of particle shape and internal baffles. Powder Technol, 286, 732–739. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.09.011
47. Вислоух С. П. Волошко О. В. Тимчик Г. С. Філіпова М. В. (2021).

Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи: підручник. Київ: КЛІ ім. Ігоря Сікорського, Видавництво «Політехніка». 228 с.

48. Задачин В. М., Конюшенко І. Г. (2014). Чисельні методи: навчальний посібник. Х.: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 180 с.

49. Кисельов, О. В., Комарова, І. Б., Мілько, Д. О., Бакарджиев Р. О. (2017). Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт): Навчальний посібник. Запоріжжя: СТАТУС. 1181 с.

50. Алієв Е. Б. (2023) Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Чисельне моделювання процесів сільськогосподарського виробництва» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ. 2023.

51. Алієв Е. Б. (2023). Методичні рекомендації до практичних занять з навчальної дисципліни «Чисельне моделювання процесів сільськогосподарського виробництва» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ..

52. Алієв Е. Б. (2023). Методичні рекомендації для самостійного опрацювання тем програми дисципліни «Чисельне моделювання процесів сільськогосподарського виробництва», які не викладаються на аудиторних заняттях для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ.

53. Коновалов, В. В. Обоснование угла установки емкости и длительности перемешивания сухих смесей барабанным смесителем / В. В. Коновалов, Н. В. Димитриев, С. А. Кшникаткин, А. В. Чупшев // Нива Поволжья. – 2013. – №1 (26). – С. 46-50.

54. Чупшев, А. В. Аналитическое определение параметров лопастных смесителей для турбулентного перемешивания сухих смесей / А. В. Чупшев, В. В.

Коновалов, В. П. Терюшков, Г. В. Шабурова // Вестник Алтайского ГАУ. – 2012. – №3 (89). – С. 88-91.

55. Коновалов, В. В. Оптимизация параметров барабанного смесителя / В. В. Коновалов, Н. В. Димитриев, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков // Нива Поволжья. – 2013. – №4 (29). – С. 41-47.

56. Коновалов, В. В. Моделирование изменения равномерности смеси при ступенчатом смешивании / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, М. В. Фомина, А. С. Калиганов // Нива Поволжья. – 2013. – №3 (28). – С. 77-83.

57. Першин, В. Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа / В. Ф. Першин, В. Г. Однолько, С. В. Першина. – М. : Машиностроение, 2009. – 220 с

58. Ачкевич О. М. Становлення і розвиток в Україні науково-виробничої бази по створенню технологічного обладнання для приготування кормосумішок на свинофермах / О. М. Ачкевич // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: «Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва». – 2009. Вип. 79. – С. 90

59. Хмельовський В. С. Класифікація багатофункціональних роздавачівзмішувачів / В. С. Хмельовський, О. М. Пилипенко, О. М. Ачкевич // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: «Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва». – 2009. Вип. 79. – С. 286–294.

60. Ревенко І. І. До обґрунтування математичної моделі процесу приготування сумішок білково-вітамінно-мінеральних комбікормових добавок / І. І. Ревенко, О. М. Ачкевич // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2010. – Вип. 144, Ч. 3. С