

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструкційно-технологічних  
параметрів гравітаційного змішувача  
комбікорму**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-2-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Коротков Олександр Олегович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Дудін Володимир Юрійович

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

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)

«09» листопада 2023 р.

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

Короткову Олександрю Олеговичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів гравітаційного змішувача комбікорму».

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
«09» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Літературні джерела та наукові видання.

2. Наукова, науково-технічна документація, що стосується питань з виробництва комбікормів. 3. Патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1. Стан питання. 2. Теоретичні дослідження змішувача. 3. Дослідна частина. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна оцінка розробленого змішувача. Загальні висновки. Список джерел посилання. Додатки.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, 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
1-5	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 09.11.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 17.11.2023 р.	
2	Теоретичний	до 17.11.2023 р.	
3	Експериментальний	до 17.11.2023 р.	
4	Охорона праці	до 17.11.2023 р.	
5	Економічний	до 25.11.2023 р.	
6	Демонстраційна частина	до 04.12.2023 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Коротков О.О.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Дудін В.Ю.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Коротков О.О. «Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів гравітаційного змішувача комбікорму» /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

Метою даної дипломної роботи є дослідження процесу змішування комбікормів та обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів гравітаційного змішувача для комбікормів.

Розглядаючи різні аспекти цього процесу, треба вирішити наступні завдання:

1) Проаналізувати наукові дослідження та літературні джерела, що стосуються змішування комбікормів. А саме треба дослідити різні методики, технології та підходи, що використовуються в цій галузі, з метою зрозуміти їх переваги та обмеження.

2) Розглянути основні властивості компонентів комбікормів та їх вплив на якість кінцевого продукту. В основному треба розглянути типи сировини, їх хімічний склад, фізичні властивості та вплив на харчовий процес у тварин.

3) Розроблення оптимальної технології змішування комбікормів на основі наукових принципів. В даному випадку буде створюватись модель процесу змішування, враховуючи фактори, що впливають на якість корму, такі як розмір частинок, рівномірність розподілу компонентів та інші.

Очікується, що результати даної дипломної роботи сприятимуть розумінню та вдосконаленню процесу змішування комбікормів, що забезпечить підвищення якості кормів, здоров'я тварин і продуктивності в тваринництві.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** КОМБІКОРМ, ЗМІШУВАЧ, МАК, ПШОНО, ОБЛАДНАННЯ, ЗМІШУВАННЯ.



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 СТАН ПИТАННЯ.....	9
1.1 Комбікорми. Визначення, типи, фізико-механічні характеристики.....	9
1.2 Обладнання для приготування комбікормів. Типи комбікормових заводів, агрегатів, установок. Особливості використання, технічні характеристики.....	13
1.3 Змішувачі для комбікормів. Типи, схеми, технологічні характеристики, особливості використання.....	16
1.4 Теорія змішування комбікормів. Методи оцінки якості, енергоємності.....	19
1.5 Висновки до розділу.....	25
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАЧА.....	27
2.1 Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів змішування.....	27
2.2 Методика проведення чисельного моделювання змішувача.....	30
2.3 Аналіз результатів чисельного моделювання змішувача.....	42
2.4 Висновки до розділу.....	47
3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	48
3.1 Опис методики проведення.....	48
3.2 Результати досліджень.....	54
3.3 Висновки до розділу.....	60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
4.1 Охорона праці в науково-виробничій лабораторії ДДАЕУ.....	63
4.2 Основні заходи щодо захисту студентів від небезпечних факторів ..	65
4.3 Безпекові рекомендації під час роботи зі гравітаційним змішувачем та розрахунок механічної вентиляції у лабораторії ..	66
4.4 Основні дії у разі виникнення надзвичайних ситуацій ..	69
4.5 Висновки до розділу.....	70

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО ЗМІШУВАЧА.....	72
5.1 Методика розрахунку експлуатаційних витрат.....	72
5.2 Висновки до розділу.....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	79
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

Сучасна тваринницька галузь стикається з викликами, пов'язаними з ефективним харчуванням тварин, що має прямий вплив на їх здоров'я, продуктивність і якість отримуваних продуктів. Одним із ключових факторів успіху в цій сфері є належне змішування комбікормів, яке забезпечує створення оптимальних раціонів, враховуючи потреби тварин у поживних речовинах. Технологія змішування комбікормів є складним процесом, що вимагає наукового обґрунтування та особливої уваги до деталей. Вона базується на використанні різноманітних компонентів, таких як зернові, бобові культури, олійні культури та добавки, з метою забезпечення балансу поживних речовин у кормі.

Метою даної дипломної роботи є дослідження процесу змішування комбікормів та обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів гравітаційного змішувача для комбікормів.

Розглядаючи всі аспекти процесу, необхідно вирішити наступні завдання:

1) Проаналізувати наукові дослідження та літературу, що стосуються змішування комбікормів. Тобто слід вивчити різноманітні прийоми та методи, які використовуються в цій галузі, щоб зрозуміти їхні сильні та обмежені сторони.

2) Розглянути особливості інгредієнтів комбікорму та їх вплив на якість кінцевої продукції. В основному необхідно враховувати тип сировини, хімічний склад, фізичні властивості та вплив на переробку їжі для тварин.

3) Розроблення оптимальної технології змішування комбікормів на основі наукових принципів. В даному випадку буде створюватись модель процесу змішування, враховуючи фактори, що впливають на якість корму, такі як розмір частинок, рівномірність розподілу компонентів та інші.



4) Експериментальне підтвердження ефективності розробленої технології. Тут буде проводитися серія лабораторних експериментів та випробувань на реальних зразках комбікормів, щоб оцінити якість отриманого продукту.

Очікується, що результати даної дипломної роботи сприятимуть розумінню та вдосконаленню процесу змішування комбікормів, що забезпечить підвищення якості кормів, здоров'я тварин і продуктивності в тваринництві.

## 1 СТАН ПИТАННЯ

### 1.1 Комбікорми. Визначення, типи, фізико-механічні характеристики

Історія комбікормів має свої коріння в середньовіччі, коли фермери спостерігали за тим, як певні комбінації кормів покращували ріст і виробництво тварин. Протягом століть методи годівлі та склад комбінацій змінювалися. Однак справжній прорив у галузі комбікормів став можливим завдяки науковим дослідженням у 20-му столітті та розвитку технологій у виробництві кормів. Однак сучасна аграрна сфера стикається з низкою викликів, таких як зростання світової популяції, зміна кліматичних умов, обмежені ресурси та екологічні проблеми. Один із способів вирішення цих проблем - оптимізація годівлі та ведення тваринництва. У цьому контексті важливе значення має використання комбікормів, які дозволяють підвищити продуктивність і якість продукції, зменшити поганий вплив на навколишнє середовище [1].

Сільське господарство є однією з найважливіших галузей господарства, і вирощування тварин в ньому вимагає вдосконалення методів годівлі та живлення. Однією з ключових інноваційних технологій, яка вплинула на ефективність та продуктивність годівлі тварин, є комбікорми.

Комбікорми - це збалансовані суміші кормів, розроблені для задоволення специфічних потреб різних видів тварин у поживних речовинах. Вони стали важливою складовою виробництва продуктів тваринного походження та забезпечують підвищену продуктивність у сільському господарстві. На рисунку 1.1 можна побачити різні компоненти для виробництва комбікорму.



Рисунок 1.1 – Компоненти для виробництва комбікорму

До основних інгредієнтів комбікорму відносяться наступні інгредієнти:

1) Зернові культури є одним з основних інгредієнтів комбікормів і можуть включати кукурудзу, пшеницю, ячмінь, овес та інші. Зерно забезпечує тварин енергією у вигляді калорій і є джерелом вуглеводів.

2) Протеїн є важливою складовою комбікормів і може бути тваринного і рослинного походження. У складі комбікормів як джерело протеїну часто використовують рослинні білки, наприклад соєвий або ріпаковий. Білки важливі для росту, розвитку та відновлення тканин тварин [2,3,4].

3) Жири або жирні кислоти є важливим джерелом енергії для тварин. Вони також сприяють засвоєнню розчинних вітамінів і забезпечують жирні кислоти, необхідні для здоров'я шкіри та шерсті тварин.

4) Вітаміни та мінерали застосовуються для забезпечення правильного функціонування організму тварин, комбікорми містять вітаміни та мінерали. Це можуть бути вітаміни А, D, Е, К, групи В, а також мінерали, такі як кальцій, фосфор, залізо та інші.

До комбікормів можуть додаватися різні добавки для підвищення якості та продуктивності годівлі. До таких добавок можуть входити амінокислоти, антибіотики, пробіотики, антиоксиданти та інші речовини.

Співвідношення цих компонентів в комбікормі залежить від виду тварини, віку, фізіологічних потреб та цілей годівлі. Наприклад, комбікорм для бройлерів, які вирощуються для м'яса, може містити більше білка для підтримки швидкого росту, тоді як комбікорм для молочних корів може бути багатим на енергетичні складники для підтримки високої молочної продуктивності.

Комбікорми розробляються з врахуванням наукових досліджень і забезпечують оптимальне харчування тварин для досягнення найкращих результатів у вирощуванні та утриманні їхнього здоров'я. Цей аспект годівлі є важливим для сільського господарства, оскільки він напряду впливає на продуктивність та якість продуктів тваринного походження.

Типи комбікормів можуть варіюватися залежно від видів тварин та їх потреб у харчуванні [5,6].

Основні типи комбікормів включають:

- 1) комбікорми для птиці використовуються для годування курей, індиків, качок, гусей та інших птахів.
- 2) комбікорми для свиней призначені для годування свиней різних вікових груп, включаючи поросят, вирощених свиней та свиней на утриманні.
- 3) комбікорми для крупної рогатої худоби використовуються для годування корів, биків та інших рогатих тварин.

Фізико-механічні характеристики комбікормів включають такі параметри:

Зерновий склад: комбікорми можуть містити різні типи зерен, такі як кукурудза, пшениця, ячмінь, соя тощо. Цей склад впливає на енергетичну цінність комбікорму та його харчову цінність для тварин.

Розмір частинок: можуть мати різні розміри частинок, від дрібних до більших гранул. Розмір частинок впливає на споживання та перетравлюваність комбікорму [7].

Вологість комбікормів може варіюватися. Висока вологість може спричинити псування комбікорму та зменшити його тривалість зберігання.

Китайські дослідники проводили дослідження впливу порядку подачі частинок на ступінь змішування в промисловому стрічковому змішувачі. Метод дискретних елементів (DEM) був прийнятий для імітації процесу подачі частинок у стрічковий змішувач промислової суміші з бункера та процесу змішування. Чисельні результати показали, що подача великих частинок після дрібних частинок може покращити змішування, де можна отримати вищий ступінь змішування [8].

Науковець А.Г.Роха провів порівняння різних внутрішніх та зовнішніх показників ефективності змішування кормів. При проведенні дослідження було виявлено, що тести на ефективність змішування які були проведені в ході роботи дали суперечливі результати, як тільки було отримано фракцію нижче 5%, що демонструє необхідність точного регулювання часу змішування. За результатами роботи час перемішування має становити від 65 до 80 с. Враховуючи присутність Mn, Cu, Zn та Cl в інгредієнтах корму, використання MnS, CuCl, ZnS та NaCl для оцінки ефективності змішування корму може викликати помилки в інтерпретації результатів і не повинно використовуватися як індикатори [9].

Науковець В.В. Морозов провів дослідження де встановив, що при зміні кута нахилу розпилювання сапропеля траєкторія руху перетину частинок буде зміщуватися до центру змішувача або виходити за кордони його корпусу. Завдяки цьому вже на етапі проектування можна досягти найкращих показників однорідності корму при найменшу часу змішування [10].

Dr. Robert Goodband є професором у відділі зоотехніки та харчування тварин у університеті штату Канзас, і його дослідження включають в себе змішування комбікормів для свиней та інших порісних тварин [11].

Dr. Mark A. McCann спеціалізується на харчуванні птиці та займається розробкою комбікормів для курей, індиків та інших птиць [12].

Dr. Keith C. Behnke займалася методикою змішування комбікормів для великої рогатої худоби та молочної худоби [13].

Dr. Wendy Powers є експертом у галузі зоотехніки та досліджує питання

змішування комбікормів для тварин у виробничих умовах [14].

Англійський науковець Juan J. Loog спеціалізується на харчуванні великої рогатої худоби та досліджує раціони та комбікорми для доїльної худоби [15].

Ці науковці і багато інших працюють над розвитком оптимальних рецептів комбікормів та досліджують їх вплив на різні види тварин з метою покращення продуктивності та здоров'я тварин, а також зменшення витрат господарств.

## **1.2 Обладнання для приготування комбікормів. Типи комбікормових заводів, агрегатів, установок. Особливості використання, технічні характеристики**

Обладнання для приготування комбікормів може варіюватися залежно від масштабу виробництва та потреб користувача. Тут наведено загальну інформацію про типи комбікормових заводів, агрегатів та установок, їх особливості використання та технічні характеристики.

Комбікормові заводи:

Малий комбікормовий завод призначений для виробництва комбікормів у невеликому масштабі. Він зазвичай має потужність від 500 до 2000 кг/год. Основні компоненти такого заводу включають дробильно-змішувальний апарат, дозувальні пристрої, конвеєрну систему і систему управління.

Середній комбікормовий завод має більшу продуктивність і зазвичай призначений для середніх фермерських господарств або виробництва комбікормів на промисловому рівні. Він може мати потужність від 2 до 20 тонн/год. Окрім основних компонентів, таких як дробильно-змішувальні апарати, дозувальні системи і конвеєрні системи, він часто оснащений додатковими пристроями, такими як сушарки або гранулятори [16,17,18].

Великий комбікормовий завод це великомасштабний завод, який зазвичай використовується в промислових умовах. Він має високу

продуктивність, яка може досягати декількох десятків тонн комбікорму на годину. Такий завод включає ряд дробильно-змішувальних апаратів, дозувальні системи, системи сушіння, гранулювання та упаковки, а також автоматизовані системи управління.

Комбікормові агрегати:

Дробарки: використовуються для розмелювання різних видів сировини, такої як зерно, кукурудза, соя тощо, на більш дрібні фракції.

Змішувальні апарати: використовуються для змішування розмеленої сировини разом з вітамінами, мінералами та додатковими інгредієнтами для отримання кінцевого комбікорму.

Гранулятори: використовуються для перетворення змішаної маси в гранули, які зручні для зберігання та подачі тваринам.

Комбікормові установки:

Системи дозування застосовуються для точного дозування інгредієнтів, таких як зерно, вітаміни, мінерали тощо, для отримання оптимального складу комбікорму.

Системи сушіння використовуються для сушіння сировини перед подальшою обробкою. Це особливо важливо для зберігання кормів з високим вмістом вологи.

Системи упаковки використовуються для автоматичного фасування комбікорму у відповідні контейнери або мішки.

Технічні характеристики комбікормового обладнання будуть залежати від його типу та виробництва. Вони можуть включати потужність, продуктивність, розміри, енергоспоживання, рівень автоматизації та інші параметри.

Точні характеристики можна отримати від виробників спеціалізованого обладнання для комбікормів. Технічні характеристики комбікормового обладнання можуть значно варіюватися в залежності від типу обладнання, виробника та моделі. Ось кілька загальних технічних характеристик, які можуть бути важливими при виборі комбікормового обладнання:

**Потужність:** визначається у кіловатах (кВт) або в кінських силах (к.с.) і вказує на електричну або механічну потужність, яку може забезпечити обладнання.

**Продуктивність:** вимірюється в тоннах або кілограмах на годину і показує кількість комбікорму, яку може виробити обладнання за певний період часу.

**Розміри:** включають ширину, висоту та довжину обладнання. Ці розміри можуть бути важливими при плануванні та розміщенні обладнання в приміщенні.

**Енергоспоживання:** вказує на кількість електроенергії, яку витрачає обладнання для своєї роботи. Вимірюється у кіловаттах (кВт) і може бути важливим фактором при виборі обладнання з точки зору енергоефективності.

**Матеріал виготовлення:** вказує на матеріал, з якого виготовлено обладнання. Часто використовуються сталеві конструкції або спеціальні сплави, що забезпечують міцність та довговічність обладнання.

**Автоматизація:** деякі моделі комбікормового обладнання можуть мати різні рівні автоматизації, від базових до повністю автоматичних систем управління та контролю.

Використання обладнання для виробництва комбікормів вимагає дотримання декількох основних особливостей та принципів. Перш за все, цей процес повинен бути відповідно налаштованим для забезпечення якісної та ефективного виробництва комбікорму.

Важливо розташовувати обладнання таким чином, щоб забезпечити зручний та безперешкодний процес виготовлення комбікорму, а також легкий доступ для обслуговуючого персоналу.

Використання сучасних автоматизованих систем контролю і управління допомагає підтримувати стабільну якість комбікорму і знижує ризик помилок. Забезпечення безпеки персоналу це надзвичайно важливий аспект виробництва комбікорму, оскільки багато процесів можуть бути потенційно небезпечними. Необхідно дотримуватися всіх стандартів безпеки та



забезпечувати навчання персоналу. Важливо мати систему контролю якості для перевірки і відстеження всіх компонентів та процесів виробництва. Це гарантує високу якість виробленого комбікорму. Регулярне обслуговування та технічна підтримка обладнання допомагають уникнути виробничих зупинок і забезпечують надійну роботу виробничого процесу. Виробництво комбікормів може вимагати змін у рецептурі або об'ємі виробництва. Обладнання повинно бути гнучким і адаптивним до таких змін.

Загалом, виробництво комбікормів - це складний процес, який вимагає точності, безпеки та високої якості. Дотримання основних принципів та особливостей гарантує успішне функціонування обладнання та виробництва якісних комбікормів [19,20].

### **1.3 Змішувачі для комбікормів. Типи, схеми, технологічні характеристики, особливості використання**

Змішувачі для комбікормів є важливими пристроями у виробництві кормів для тварин. Вони використовуються для змішування різних компонентів комбікорму, таких як зернові, білкові корми, вітаміни, мінерали та додаткові добавки. Це дозволяє забезпечити рівномірну розподіленість складників у кінцевому продукті, що має велике значення для забезпечення збалансованого харчування тварин.

Існує кілька типів змішувачів для комбікормів, а саме:

Вертикальні змішувачі (рис. 1.2) мають вертикальну конструкцію з рухомими лопастями або плечами. Вони зазвичай використовуються для невеликих або середніх обсягів виробництва комбікормів [21].



Рисунок 1.2 – Вертикальний змішувач

Горизонтальні змішувачі (рис 1.3.) мають горизонтальну конструкцію з рухомими лопастями або валами. Вони зазвичай використовуються для великих обсягів виробництва комбікормів.



Рисунок 1.3 – Горизонтальні змішувачі

Ротаційні змішувачі мають циліндричну конструкцію з рухомими лопастями або роликками. Вони зазвичай використовуються для великих обсягів виробництва комбікормів та забезпечують ефективну змішування.

Особливості використання змішувачів для комбікормів включають:

а) забезпечення рівномірного змішування повинне гарантувати однорідну розподіленість складників у кінцевому комбікормі, щоб забезпечити збалансоване харчування тварин [22].

б) контроль якості: змішувачі мають дозволяти контролювати якість кінцевого продукту, зокрема вологість, температуру та консистенцію комбікорму.

в) ефективне використання сировини: змішувачі допомагають економити сировину шляхом ретельного змішування та запобігання втратам.

г) безпека: важливо дотримуватися правил безпеки при використанні змішувачів, зокрема забезпечувати правильне обслуговування та очищення, щоб запобігти аваріям та контамінації кормів.

Технологічні характеристики змішувачів для комбікормів можуть варіюватися в залежності від виробника, моделі та розміру обладнання.

Однак, основні технологічні характеристики, на які слід звернути увагу, включають:

Потужність приводу є важливою характеристикою, яка визначає енергію, необхідну для приведення в рух змішувача. Вона зазвичай вимірюється в кіловатах (кВт) або конях (к.с.) і може варіюватися від кількох кіловатів до десятків кіловатів, залежно від розміру та обсягу змішувача.

Швидкість змішування: це параметр, що визначає швидкість обертання лопатей або валів змішувача. Швидкість змішування повинна бути достатньою для забезпечення рівномірного змішування компонентів комбікорму, але не настільки високою, щоб спричиняти зайве знебарвлення або пошкодження сировини. Зазвичай швидкість змішування вимірюється в обертах на хвилину (об/хв) і може бути налаштована залежно від потреб виробництва [23].

Об'єм бункера для сировини визначає максимальну кількість сировини, яку можна завантажити в змішувач. Він може бути виражений у метрах кубічних (м<sup>3</sup>) або літрах (л) і залежить від розміру та типу змішувача. Більші

об'єми бункера дозволяють обробляти більші партії сировини і зменшують частоту завантаження.

Час змішування є важливим параметром який необхідний для повного змішування сировини. Час змішування залежить від обсягу сировини, швидкості змішування та характеристик змішувача. Деякі моделі змішувачів мають налаштовуваний таймер для точного контролю часу змішування.

Наступним параметром є можливість контролювати вологість і температуру. Деякі сучасні змішувачі мають можливість контролювати вологість і температуру сировини під час змішування. Це особливо важливо для оптимального збереження якості кормових компонентів.

Автоматизація та керування дозволяють налаштовувати параметри змішування, моніторити процес та забезпечувати безпеку роботи[24,25,26].

#### **1.4 Теорія змішування комбікормів. Методи оцінки якості, енергоємності**

Теорія змішування комбікормів є важливою складовою сільськогосподарської та тваринницької галузей і полягає в науковому підході до створення оптимальних раціонів для худоби та птиці з використанням різних видів кормів та добавок. Ця теорія допомагає забезпечити тваринам необхідні живильні речовини для здорового росту, розвитку та продуктивності.

Змішування комбікормів базується на принципах білкового, енергетичного та балансу вітамінів та мінералів. Основні компоненти комбікормів включають зернові, білкові корми (такі як соя, рибна мука, соняшникова шрот і т. д.), а також вітаміни, мінерали та добавки, необхідні для забезпечення здоров'я та продуктивності тварин. Перш за все, необхідно визначити харчові потреби конкретної категорії тварин (наприклад, молочних корів, бройлерів, свиней) на основі їхньої вікової категорії, статі, росту та мети годівлі (приріст ваги, молочність, яйценоскість тощо). Далі визначається склад

комбікорму, який забезпечує необхідні кількості білка, енергії, вітамінів і мінералів. Змішування комбікорму включає в себе розрахунок кількостей кожного компонента на основі їхньої поживної цінності та дозволеної норми включення в раціон тварин. Також враховується вартість компонентів, щоб забезпечити ефективну економію виробництва комбікорму [27].

Важливо також дотримуватися правил санітарної безпеки та якості при виготовленні та зберіганні комбікорму, оскільки неправильне зберігання може призвести до втрати живильних речовин і загрози здоров'ю тварин. Загалом, теорія змішування комбікормів є ключовою для забезпечення оптимального харчування тварин в сільському господарстві, а також дозволяє підтримувати ефективність і прибутковість годівлі та утримання худоби та птиці.

Змішування комбікормів відбувається з метою створення оптимальної раціонної суміші, яка задовольняє потреби тварин у поживних речовинах та сприяє їх здоров'ю та продуктивності. Ось ключові аспекти теорії змішування комбікормів:

Склад сировини. Першим кроком у процесі змішування комбікормів є вибір та підготовка сировини. Це може включати в себе зернові, бобові, олійні культури, вітаміни, мінерали, добавки та інші компоненти.

Важливо враховувати потреби конкретного виду тварин та їхній вік, оскільки раціони для телят відрізняються від раціонів для дорослих корів.

Визначення поживного вмісту. Компоненти сировини мають різний вміст білків, жирів, вуглеводів, вітамінів та мінералів. Тому важливо мати точні дані про склад кожного компонента, щоб розрахувати, які та у яких кількостях включати до комбікорму для досягнення необхідної годівельної цілі.

Баланс поживних речовин. Змішування комбікорму повинно бути спрямовано на забезпечення балансу поживних речовин у раціоні тварин. Наприклад, необхідно забезпечити відповідну кількість амінокислот, вітамінів та мінералів для підтримання здоров'я та росту [28].

Дотримання норм і стандартів. У багатьох країнах існують норми і

стандарти для складу комбікормів, які регулюються місцевими органами влади. Це включає в себе вимоги до якості сировини, вмісту антибіотиків та інших додатків, а також відповідність етикеткам та маркуванню.

Технологія змішування. Процес змішування комбікормів виконується за допомогою спеціальних змішувальних машин. Важливо дотримуватися правильної технології та послідовності додавання компонентів для досягнення однорідності та якості кінцевого продукту.

Якість та контроль. Важливим аспектом змішування комбікормів є контроль якості. Виробники повинні перевіряти якість сировини, проводити аналізи зразків комбікорму, а також вести журнали виробництва та відстежувати партії продукції.

Оптимізація виробництва та витрат. Змішування комбікормів також пов'язане з ефективністю виробництва та витратами. Оптимізація може включати в себе використання комп'ютерних систем управління, які допомагають розрахувати оптимальні рецептури комбікормів та контролювати запаси сировини [29,30].

Оцінка якості комбікорму передбачає аналіз його складу, фізичних характеристик і властивостей, а також оцінку поживної цінності і енергетичної цінності. Деякі методи оцінки якості комбікорму включають:

1) хімічний аналіз використовується для визначення вмісту білків, жирів, вуглеводів, вологи, вітамінів, мінералів і інших хімічних компонентів в комбікормі.

2) фізичний аналіз оцінює фізичні характеристики комбікорму, такі як розмір часток, кольорові показники, густина і текстура.

3) органолептична оцінка включає оцінку зовнішнього вигляду, запаху, смаку і текстури комбікорму шляхом використання органів чуття.

4) визначення поживної цінності комбікорму оцінює його здатність забезпечувати необхідну кількість поживних речовин для тварин.

5) визначення енергетичної цінності комбікорму включає вимірювання кількості енергії, яку тварина може отримати від споживання цього

комбікорму.

Розглянемо детальніше кожен з методів оцінки якості комбікорму:

**Хімічний аналіз:** цей метод використовується для визначення хімічного складу комбікорму. Він включає в себе вимірювання вмісту білків, жирів, вуглеводів, вологи, вітамінів, мінералів та інших хімічних компонентів. Для цього використовуються різні аналітичні методи, такі як спектрофотометрія, газова хроматографія, жирна екстракція, кольориметрія і так далі. Результати хімічного аналізу надають інформацію про точний склад комбікорму і дозволяють оцінити його поживну цінність [31,32].

**Фізичний аналіз:** даний метод оцінює фізичні характеристики комбікорму. Він включає в себе вимірювання розміру часток, густини, текстури, кольорових показників та інших параметрів. Наприклад, розмір часток може бути визначений за допомогою сит, що дозволяють поділити комбікорм на фракції різного розміру. Густина вимірюється за допомогою густинометра, а текстура оцінюється шляхом визначення ступеня крихкості або твердості комбікорму. Фізичний аналіз надає інформацію про консистенцію та якість комбікорму, що може впливати на його споживання і перетравлення тваринами.

**Органолептична оцінка** використовується для оцінки зовнішнього вигляду, запаху, смаку і текстури комбікорму шляхом використання органів чуття. Ветеринарні фахівці або спеціалісти з тваринного харчування можуть оцінювати комбікорм на основі своїх сприйнятів і досвіду. Наприклад, вони можуть оцінювати запах і смак комбікорму, його консистенцію та зовнішній вигляд. Органолептична оцінка доповнює інші методи оцінки якості комбікорму, але не є єдиним і досить суб'єктивним методом. Визначення поживної цінності: цей метод оцінює здатність комбікорму задовольняти поживні потреби тварин. Використовуються спеціальні хімічні і фізіологічні методи для визначення кількості поживних речовин, таких як білки, жири, вуглеводи, вітаміни, мінерали та інші компоненти. Оцінка поживної цінності враховує вимоги до раціонів тварин, їх фізіологічні потреби, продуктивність і

здоров'я.

Визначення енергетичної цінності дає можливість вимірювати кількість енергії, яку тварина може отримати від споживання комбікорму. Для визначення енергетичної цінності використовуються різні методи, такі як калориметрія або розрахунки на основі складу харчових компонентів.

Результати визначення енергетичної цінності допомагають встановити оптимальну кількість комбікорму для задоволення енергетичних потреб тварини [33,34].

Відповідно до аналізу кінетики змішування, процес змішування протікає в три етапи:

а) конвективне перемішування, при якому швидкість процесу практично не залежить від фізико-механічних властивостей змішуваних матеріалів;

б) дифузійне перемішування, процес дещо сповільнюється за рахунок поступового перерозподілу частинок через новоутворені межі розподілу;

в) стан завершеності змішування, коли процес відбувається в межах смуги частот, показник мінливості коливається в певних межах цієї смуги частот. Остання залежить від розміру частинок, що змішуються, параметрів механізму роботи змішувача тощо. Подальше перемішування не покращує якість суміші, оскільки показник мінливості досяг нижньої межі.

Важливо відзначити, що в разі змішування однорідних матеріалів процес змішування відбувається швидше і стабільніше. Навпаки, при змішуванні матеріалів з частинками різного розміру і щільності процес протікає повільніше і менш стабільний. Усе це свідчить про те, що зі зменшенням середнього розміру змішуваних частинок підвищується якість змішування, тобто для отримання більш однорідної суміші



необхідне правильне подрібнення компонентів.

Інші фактори також впливають на якість суміші. Чим ближчими є фізико-механічні властивості компонентів, які змішуються, тим ефективнішим буде процес змішування. Значні відмінності в розмірах і щільності допомагають розділяти частинки. Під час змішування сухих інгредієнтів з вологими інгредієнтами підвищення відносної вологості до 14-15% допомагає покращити однорідність суміші. Подальше підвищення вологості вимагає збільшення часу змішування.

Методика однорідності суміші компонентів комбікормів - це процес оцінки рівня розподілу та однорідності компонентів, які використовуються для виробництва комбікормів. Однорідна суміш компонентів є важливим фактором для забезпечення якісного комбікорму, оскільки нерівномірний розподіл може призводити до неправильної дозування складових або незадовільної якості кінцевого продукту.

Основні кроки методики однорідності суміші компонентів комбікормів можуть включати:

**Збір проб:** починають зі збору проб компонентів комбікорму з різних місць в зберігальних контейнерах. Проби повинні бути представлені у відповідних пропорціях, щоб відображати весь обсяг суміші.

**Підготовка проб:** проби слід підготувати до аналізу шляхом перемішування і розмелювання для забезпечення рівномірного розподілу компонентів у пробі.

**Аналіз проб** здійснюють за допомогою хімічних, фізичних або біологічних методів в залежності від характеристик компонентів комбікорму.

**Оцінка однорідності:** порівнюють вміст окремих компонентів у різних пробах, щоб переконатися, що вони відповідають заданим специфікаціям.

**Корекція:** якщо виявлено нерівномірний розподіл компонентів, необхідно вжити заходів для корекції ситуації. Це може включати додавання або видалення необхідної кількості компонентів для досягнення бажаної

однорідності.

Документація: записують всі результати аналізу та корекцій, зроблених під час процесу оцінки однорідності суміші. Це забезпечить базу і допоможе в майбутньому вдосконалювати процес виробництва комбікормів [35].

### **1.5 Висновки до розділу**

Комбікорми є складними продуктами, що використовуються для годівлі тварин. Вони складаються з різних компонентів, таких як зерно, білкові джерела, жири, вітаміни та мінерали. Фізико-механічні характеристики комбікормів включають такі параметри, як розмір часток, щільність, форма та консистенція.

Для приготування комбікормів використовується спеціальне обладнання, таке як агрегати та установки. Це обладнання має різні типи і технічні характеристики, і може бути пристосоване до виробництва різних типів комбікормів. Особливості використання обладнання полягають у правильному дозуванні компонентів, змішуванні їх у необхідній пропорції та контролі процесу приготування комбікормів.

Змішувачі для комбікормів є ключовим елементом в процесі приготування комбікормів. Вони можуть мати різні типи, такі як вертикальні або горизонтальні змішувачі, а також роторні або лопатеві. Змішувачі мають свої технологічні характеристики, такі як потужність, швидкість змішування, об'єм та ефективність змішування.

Особливості використання змішувачів пов'язані з налаштуванням оптимальних параметрів змішування, контролем якості комбікорму та попередженням утворення грудок або нерівномірного змішування.

Теорія змішування комбікормів включає різні методи оцінки якості та енергоємності комбікормів. Оцінка якості може включати вимірювання фізико-хімічних параметрів, таких як вологість, протеїн, жири, клітковина тощо. Оцінка енергоємності використовується для визначення енергетичної

цінності комбікормів для тварин. Теорія змішування комбікормів сприяє розробці оптимальних рецептур та технологій виробництва комбікормів.

Основна задача кваліфікаційної роботи полягає у дослідженні комбікормів та пов'язаного обладнання, зокрема, агрегатів, установок та змішувачів. Важливо вивчити різні типи комбікормів, їх фізико-механічні характеристики та властивості. Необхідно дослідити різні типи обладнання, що використовуються для приготування комбікормів, та їх технічні характеристики.

Також потрібно розглянути особливості використання змішувачів для комбікормів, включаючи типи, схеми та технологічні параметри. Також однією із основних задач є вивчення теорії змішування комбікормів, включаючи методи оцінки якості та енергоємності комбікормів.

У результаті дослідження можна розробити оптимальні рецептури та технології виробництва комбікормів для поліпшення якості та ефективності годівлі тварин.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАЧА

### 2.1 Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів змішування

Чисельне моделювання створено для прогнозування впливу будь-якої зміни в конструкції (змішувача) на справжні характеристики його продукту. Після ефективного розгортання його можна використовувати для покращення вашого дизайну за допомогою кількох ітерацій, надаючи дані для керування процесом проектування від ранніх етапів до виробництва та далі. Інженерне моделювання забезпечує комплексні прогнози, які є більш точними та менш дорогими, ніж експериментальне тестування. Крім того, моделювання дає інженерам можливість поглянути на «всі можливі перспективи», досліджуючи продуктивність продукту за всіх умов експлуатації, з якими він може зіткнутися протягом свого терміну служби, а не лише кілька ретельно вибраних проектних моментів. Розглядаючи повну продуктивність продукту, а не лише деякі найгірші сценарії, інженери майже завжди можуть виявити та усунути численні неефективності.

Зрештою, все це призводить до постачання більш якісних та більш інноваційних продуктів, які краще відповідають бажаним очікуванням.

У нашому випадку ми використовували гравітаційний змішувач який можна застосовувати в харчовій, фармацевтичній, хімічній, косметичній та багатьох інших галузях промисловості. Різні заводи виробляють ряд змішувачів для змішування сипучих компонентів. Їх застосовують для змішування сипучих компонентів зі збереженням структури сипких, порошкоподібних або рідких компонентів при відносно невеликій витраті енергії і малій годині змішування [36,37]. Мають низку переваг, таких як невисоку собівартість, простоту в управлінні і досить велику продуктивність.

На рис. 2.1 можна побачити саму конструкцію змішувача для змішування комбікормів.

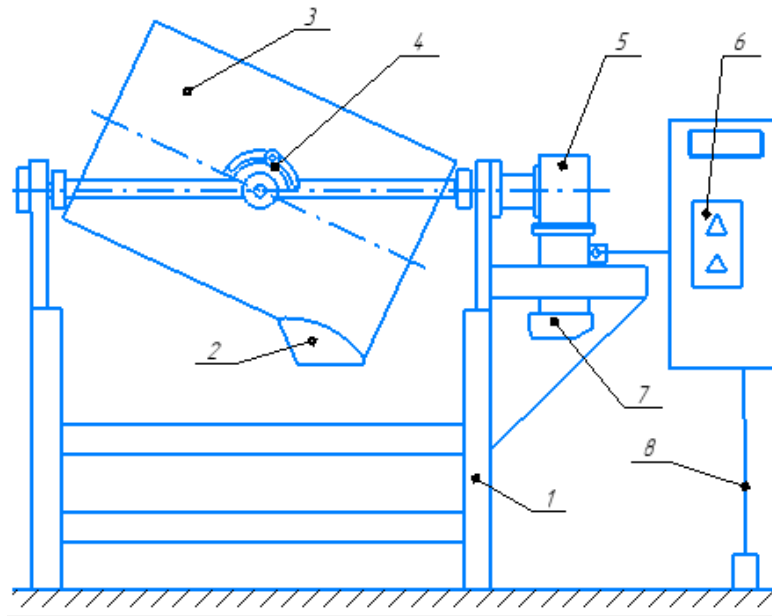


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічна схема змішувача:

1 – рама; 2 – вивантажувальна горловина; 3 – бункер; 4 – регулятор кута нахилу змішувача; 5 – редуктор; 6 – електрокабель; 7 – електродвигун; 8 – заземлення.

Змішувач складається із закріпленої під схилом ємності, що приводиться в рух двигуном-редуктором. Продукт завантажується через люки і вивантажується через люки або розвантажувальні отвори з ковзними засувками або дисковими роздільниками. Змішувач оснащений підставкою з торцевими затискачами для ємностей споживача або змінних ємностей. Закріплена бочка з продуктом обертається, забезпечуючи перемішування продукту.

Змішувач оснащений пультом управління, який має перетворювач частоти обертання (опція для певного об'єму змішувача) і таймером для регулювання часу обертання. Конструкція змішувача частково виконана з PLA пластику, яка була надрукована на 3-д принтері.

У цьому експериментальному дослідженні використовувалися два інгредієнти: пшоно (90%) і мак (10%).

Пшоно (зазвичай ячмінь, вівса, пшениця або кукурудза) - це зернові культури, які включаються в склад комбікорму для надання тваринам необхідних поживних речовин, таких як вуглеводи та білки. Вони можуть бути подрібнені або подрібнені, щоб полегшити споживання тваринами.

Мак це також важливий інгредієнт у виробництві комбікормів, особливо для птиці. Мак містить багато жирів і білків, що забезпечують додаткові енергетичні та поживні складові комбікорму. Він зазвичай подається у формі макової муки або інших макових продуктів. У табл. 2.1 представлено фізико-механічні властивості.

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості пшениці та рибного борошна

Показник	Пшоно	Мак
Коефіцієнт Пуассона	0,4	0,4
Модуль Юнга, МПа	60	90
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	790	560
Діаметр частинок, мм	0,6	0.9

Однак важливо контролювати кількість маку у складі комбікорму, оскільки у великих дозах він може мати негативний вплив на деякі види тварин. Наприклад, у свиней великі дози маку можуть викликати отруєння.

Перед використанням комбікорму, який містить мак, важливо проконсультуватися з ветеринаром або спеціалістом у галузі тваринного годівлі, щоб впевнитися, що це безпечно і відповідає потребам конкретних тварин.

## 2.2 Методика проведення чисельного моделювання змішувача

Для початку процесу моделювання у програмі Star CCM+ було побудовано ескіз змішувача. Ескіз змішувача та його 3д модель представлена на рис. 2.2 та рис. 2.3.

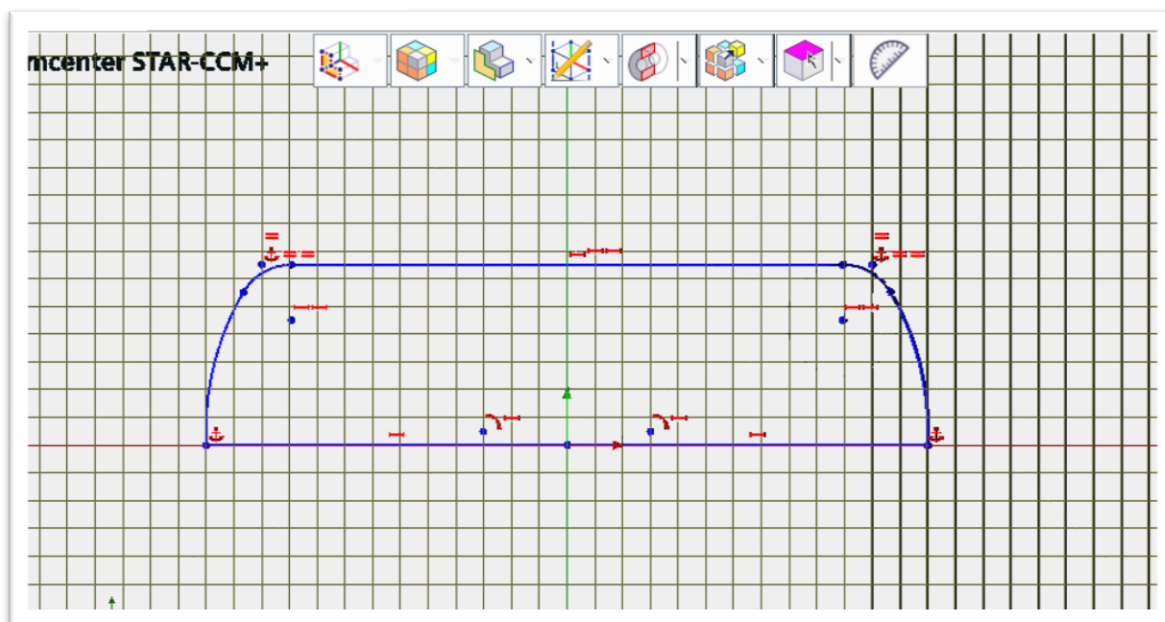


Рисунок 2.2 – Ескіз змішувача

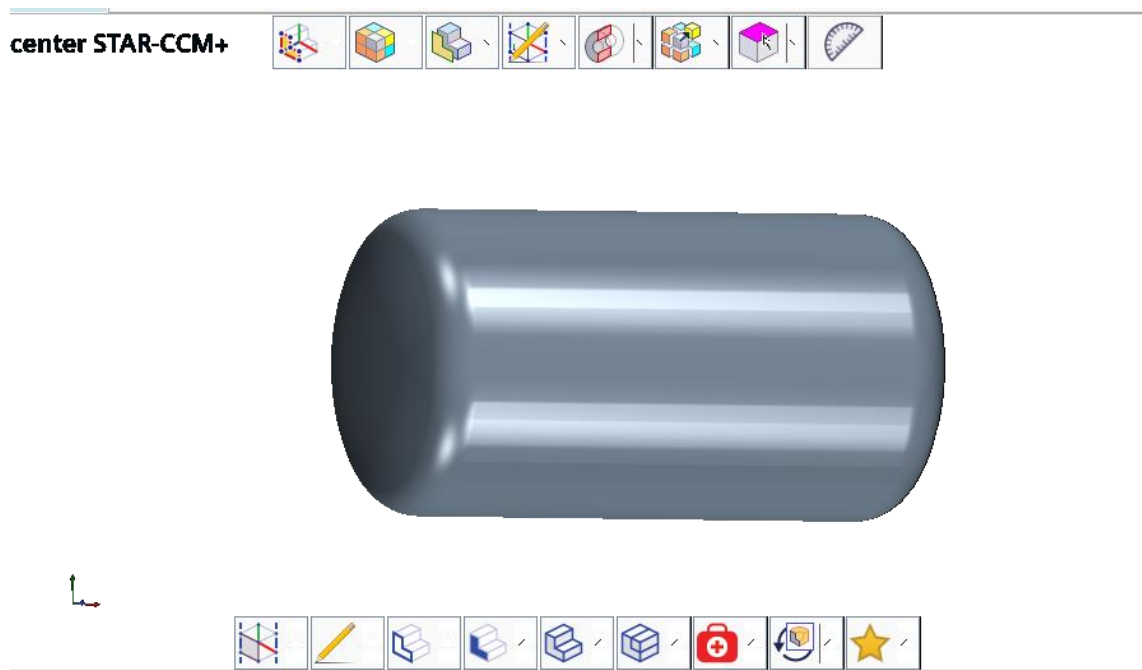


Рисунок 2.3 – 3-д модель змішувача

Наступним етапом роботи буде побудова сітки моделі. Для цього в

якості моделі сітки обираємо: тример та генератор поверхневої сітки. А базовий розмір сітки має складати 0,01 м. Після обрання параметрів для сітки натискаємо кнопку згенерувати об'ємну сітку. Дана кнопка знаходиться в панелі інструментів і має форму як куб. Більш детальну інформацію як зробити ці етапи зображені на рис. 2.4 – 2.5.

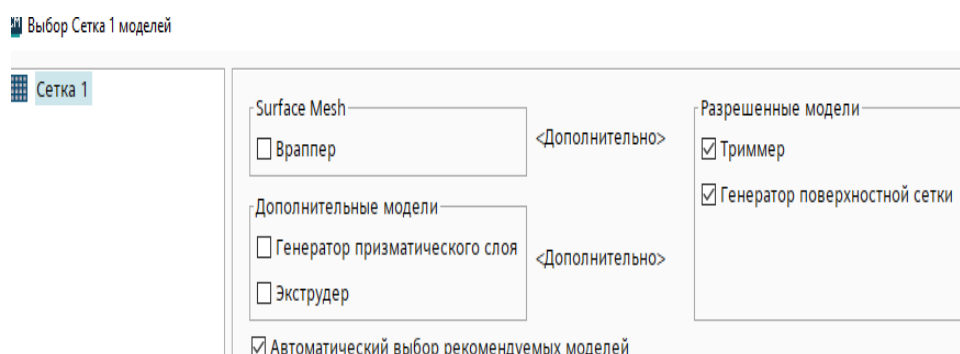


Рисунок 2.4 – Вибір моделей для побудови сітки

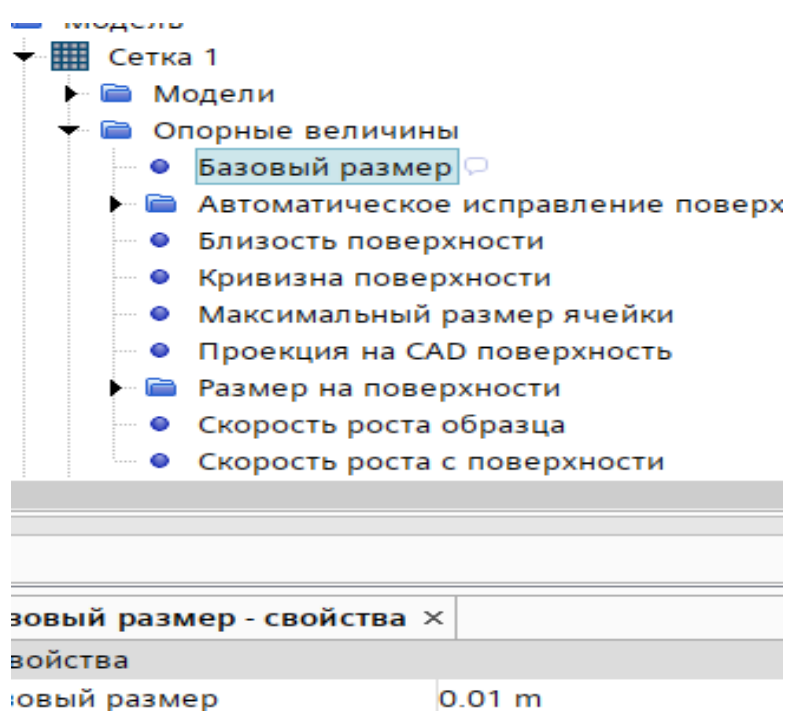


Рисунок 2.5 – Базовий розмір сітки



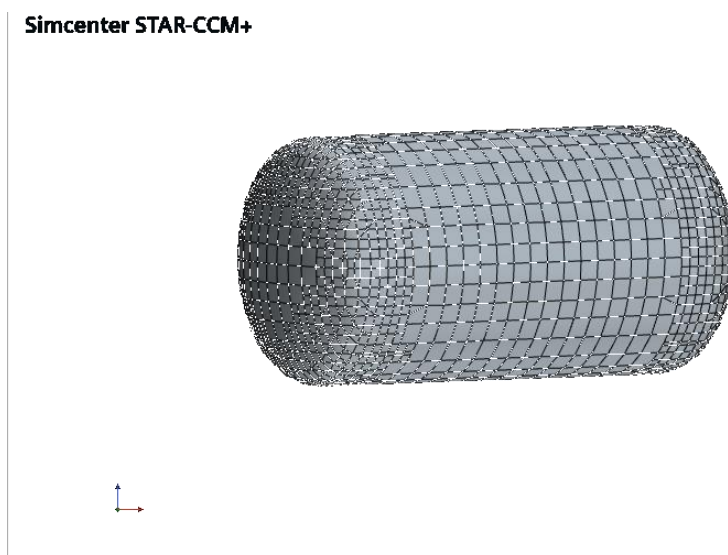


Рисунок 2.6 – Сітка

Для подальшого процесу моделювання треба задати фізичні моделі. В якості цих моделей ми обрали: тривимірна, нестационарний неявний, газ, роздільна течія, градієнти, постійна щільність, ламінарний, Лагранжева багатофазність, модель дискретних елементів DEM, багатофазна взаємодія, сила тяжіння. Де обрати моделі показано на рис. 2.7.

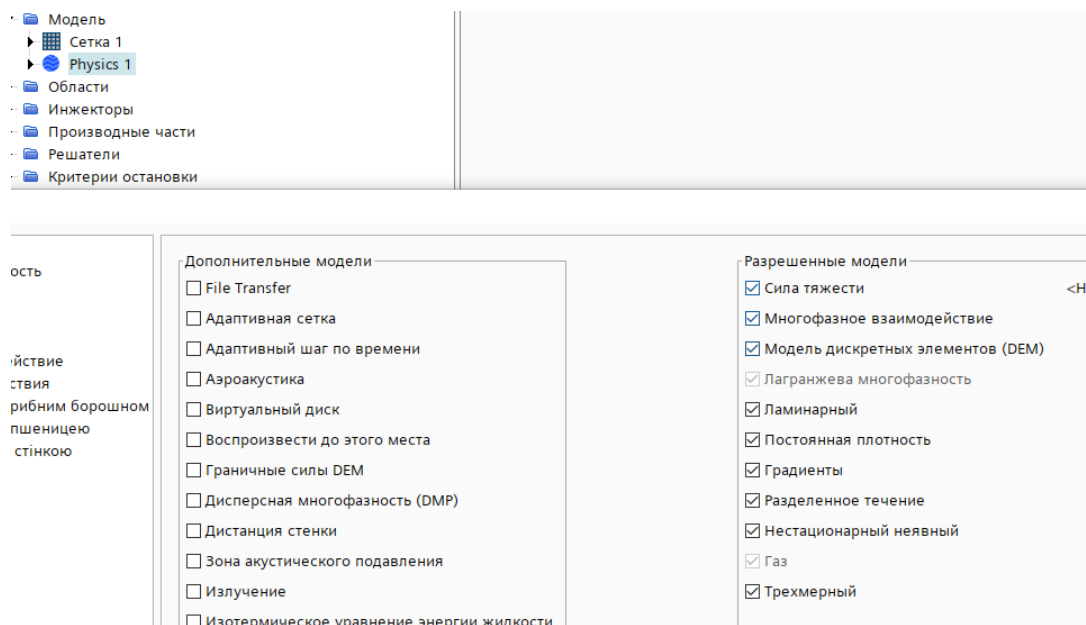


Рисунок 2.7 – Вибір фізичних моделей

Наступним етапом треба задати два компоненти які будемо додавати для моделювання процесу змішування. В якості сировини ми обрали пшеницю та рибне борошно у співвідношені (пшениця 90%, рибне борошно 10%). Для того щоб додати ці компоненти треба зайти у папку моделі – physics 1 – моделі. У моделях знаходимо назву Лагранжеві фази та у ній додаємо ці компоненти з наступними моделями: частинка DEM, сила градієнту тиску, сферичну частинку для рибного борошна та окремо створюємо модель для пшениці як показано на рис. 2.8.

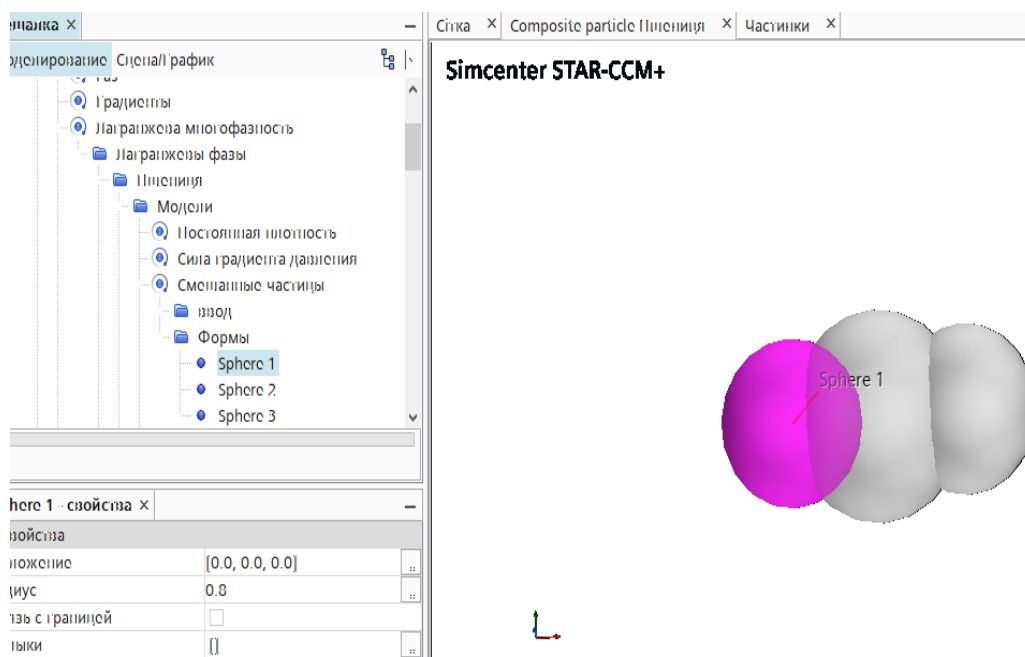


Рисунок 2.8 – Задання Лагранжевої фази

Тепер треба створити всі можливі взаємодії компонентів між собою і стінками області: пшениця-пшениця, пшениця-стінка, пшениця-рибне борошно, рибне борошно-рибне борошно, рибне борошно-стінка. В якості моделей треба обрати: фазова взаємодія DEM, Hertz Mindlin, опір кочення. Як задавати ці характеристики показано на рис, 2.9.

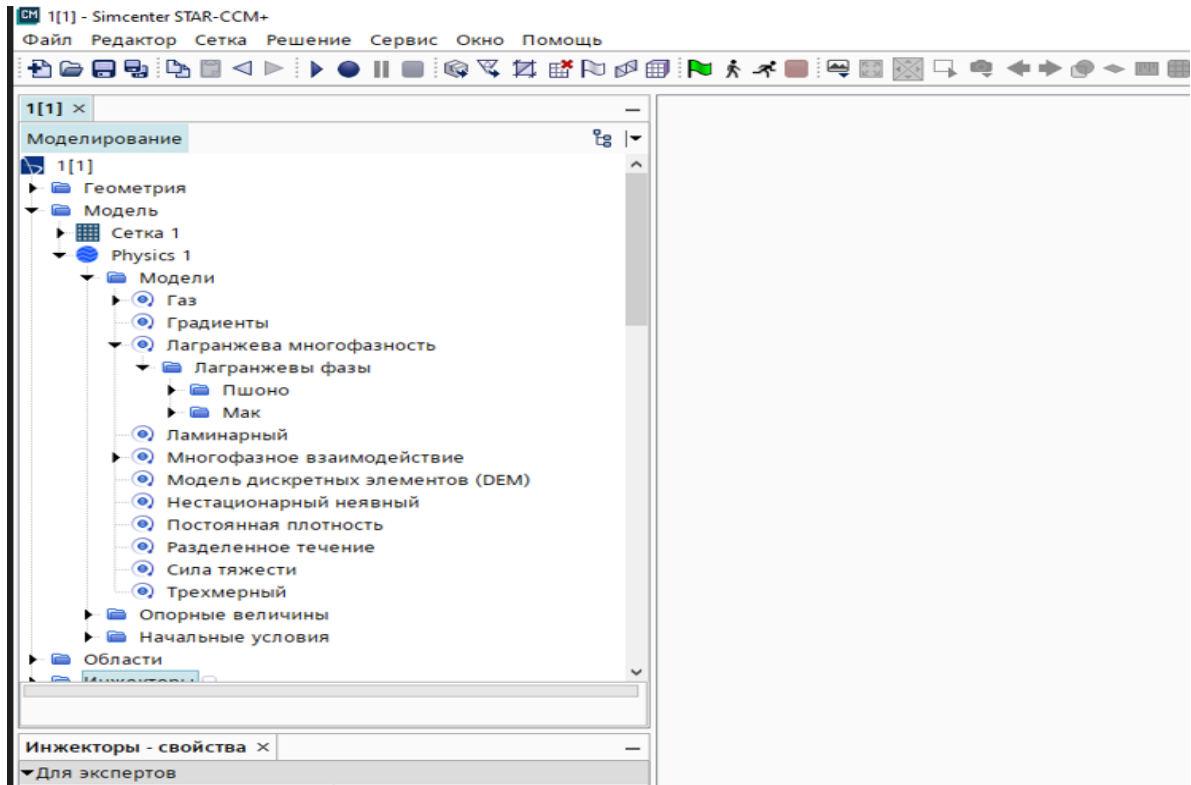


Рисунок 2.9 – Задання взаємодії компонентів

Для області моделювання повинно бути обрано тип рідка область. В опорних величинах задаємо силу тяжіння як  $[0.0, -9.81, 0.0] \text{ m/s}^2$ .

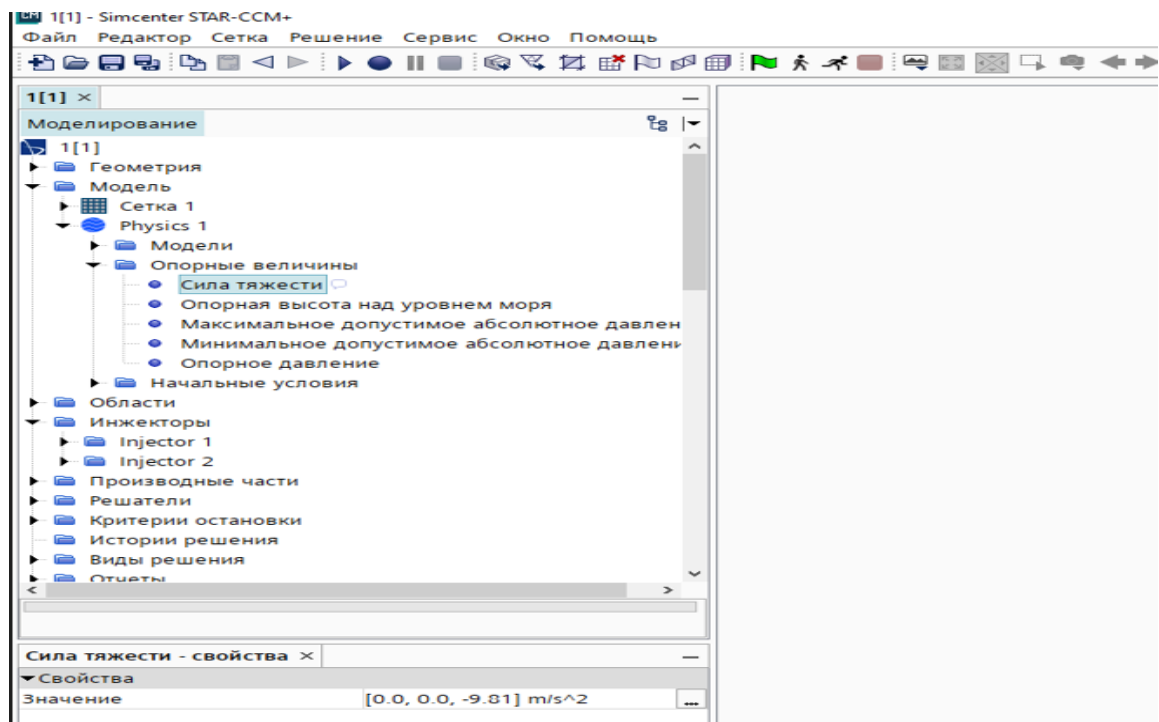


Рисунок 2.10 – Задання параметру сили тяжіння

Для подачі компонентів суміші необхідно створити 2 інжектора (Injector 1, Injector 2) як показано на рис. 2.11. Діаметр частинок для рибного борошна повинен бути 1,5 мм і для пшениці 5 мм. а число затравок 100.

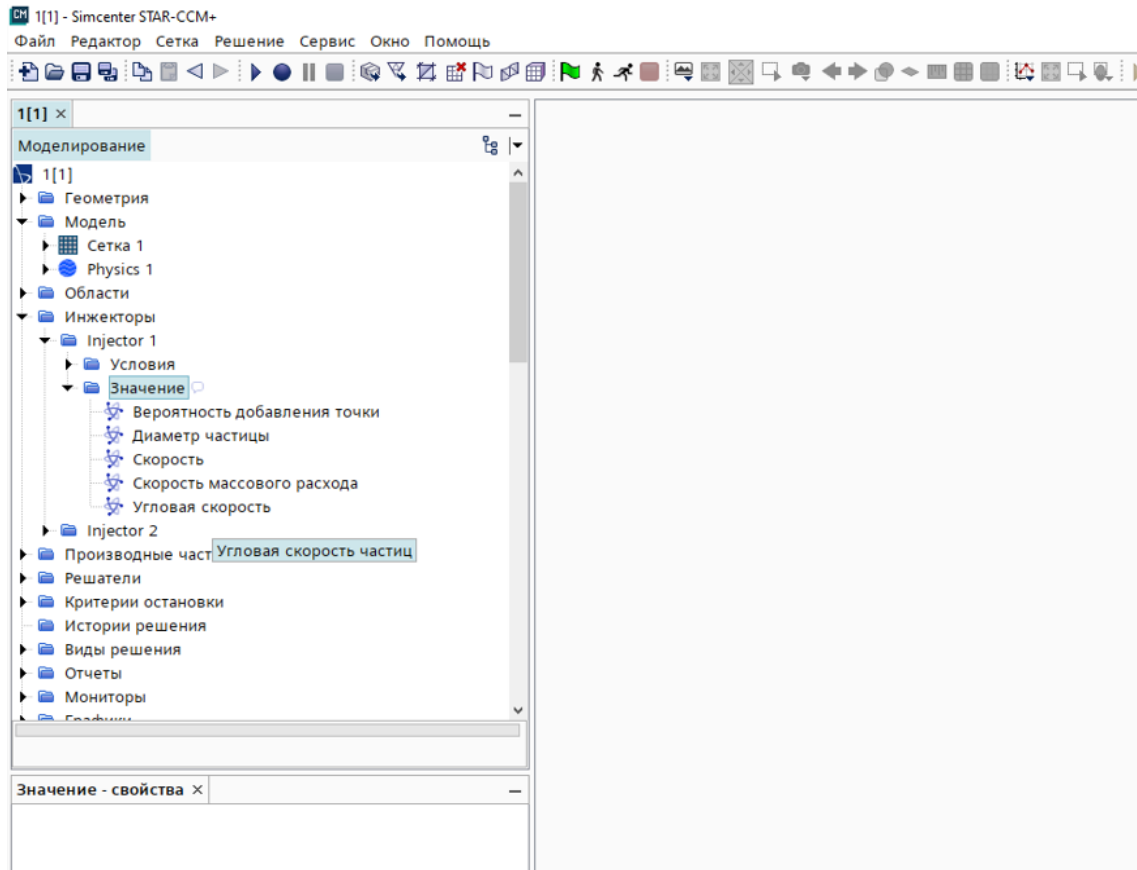
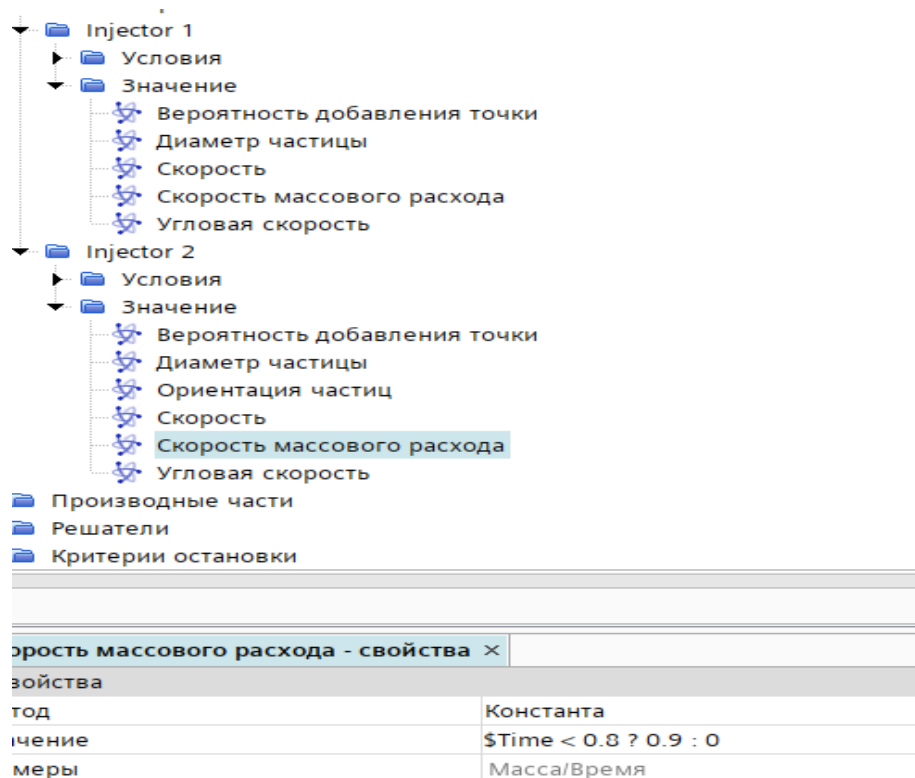


Рисунок 2.11 – створення інжекторів

Наступним кроком будемо задавати параметри обертання змішувача. Швидкість обертання повинно бути задано так: для рибного борошна -  $\$Time < 0.8 ? 0.1 : 0$ ; для пшениці -  $\$Time < 0.8 ? 0.9 : 0$ . На рис 2.12 представлено як задавати параметри обертання змішувача.

Наступним етапом є результати моделювання. В результаті моделювання повинно бути створено дві сцени відображення результатів і графік розподілу компонентів суміші в області і графік динаміки зміни коефіцієнта однорідності суміші. Сцена відображення розподілу швидкості компонентів повинна виглядати, як на рис. 2.13. Сцена – векторна. Функція – Velocity. А на вкладці сцена повинно бути відображено анотацію: Solution

Time.



Скорость массового расхода - свойства	
Свойства	
Значение	Константа
Условие	$\$Time < 0.8 ? 0.9 : 0$
Единицы измерения	Масса/Время

Рисунок 2.12 – Задання швидкості обертання

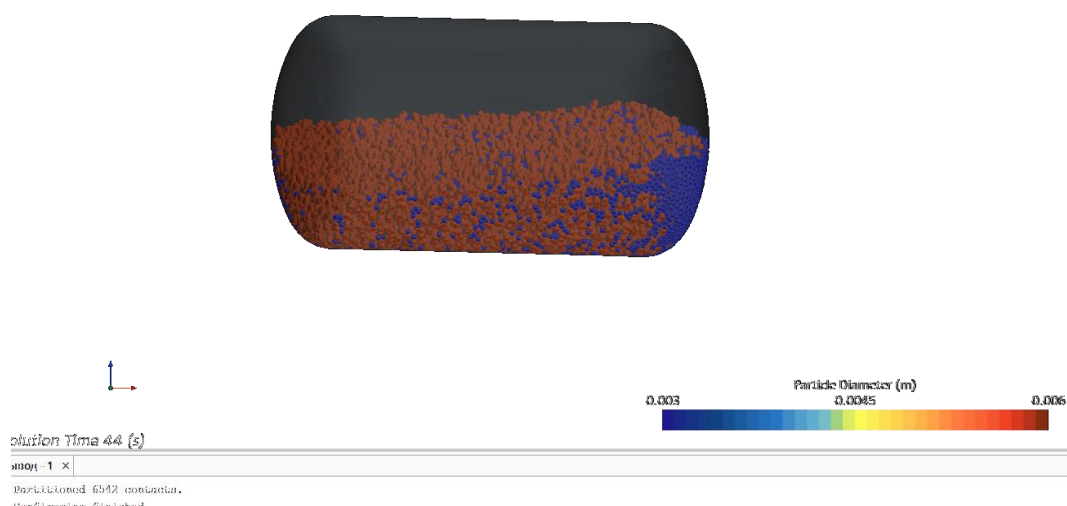


Рисунок 2.13 – Результати процесу моделювання

Наступним кроком будемо створювати звіти (comp 1 та comp 2) як показано на рис. 2.14 – 2.15. З цих звітів створюється анотація. В параметрах тексту вказуємо component 1 - \$comp1 Report pcs. І так само робимо для

другого звіту.

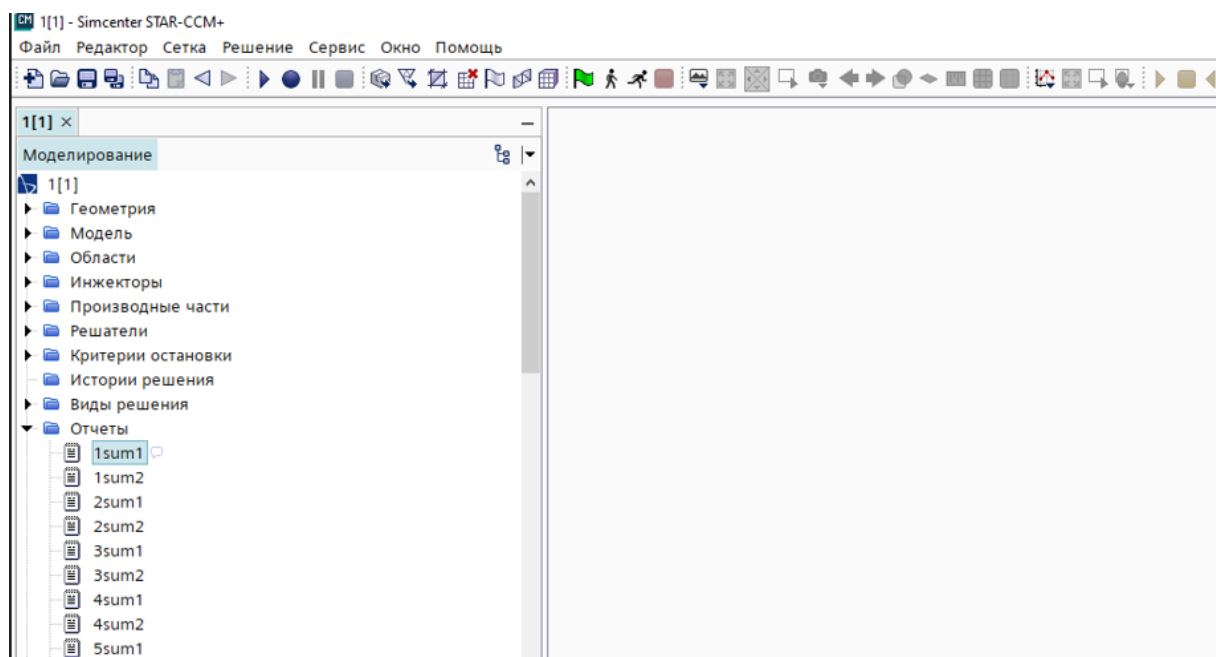


Рисунок 2.14 – Звіти

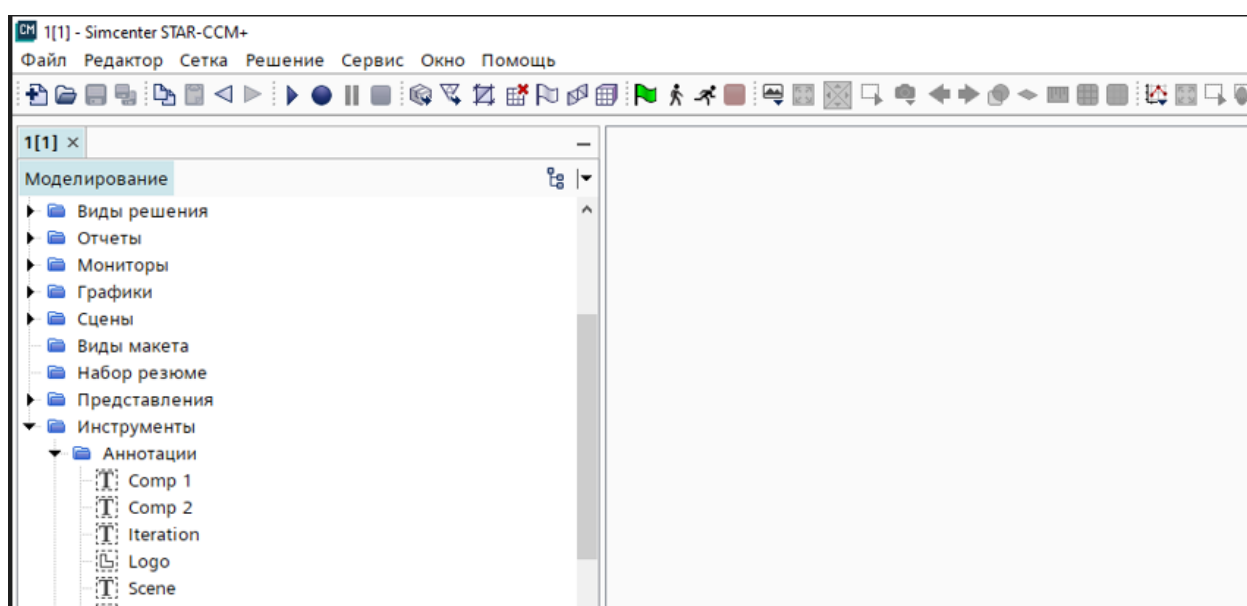


Рисунок 2.15 – Анотації

Для визначення однорідності суміші створимо 5 проріджених проб як показано на рис. 2.16. Проби створюються у папці похідні частини. Розмір кожного з них повинен складати –  $[0.01, 0.01, 0.01]$  m,m,m,.

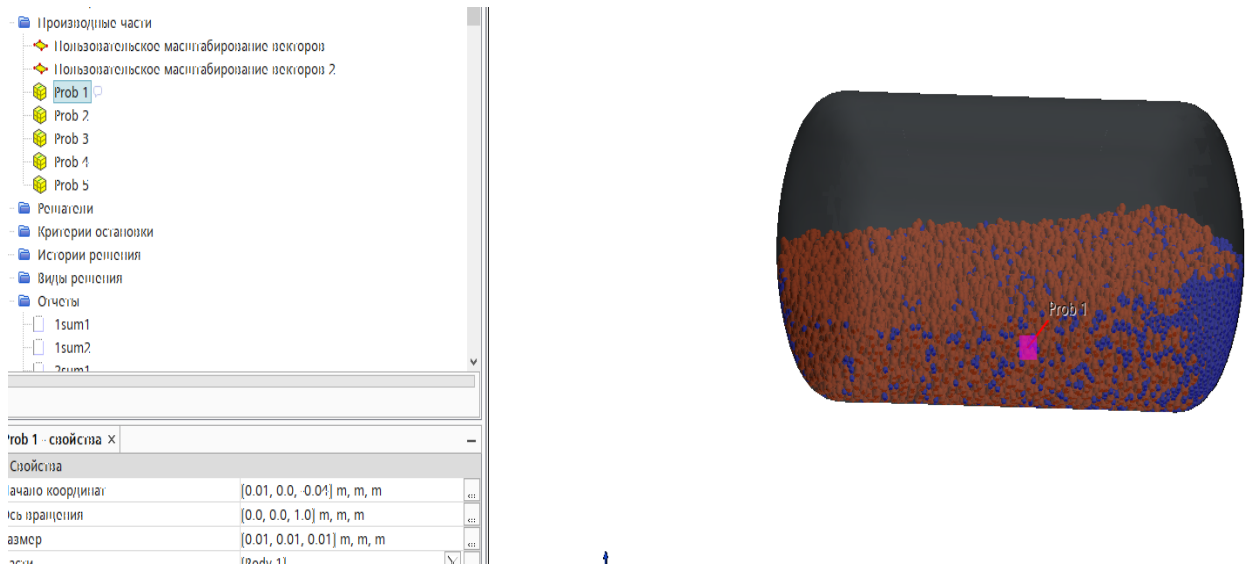


Рисунок 2.16 – Пробы

Наступним етапом створимо десять звітів сум як на рис. 2.17 і дамо їм назви (1sum1, 1sum2, 2sum1, 2sum2, 3sum1, 3sum2, 4sum1, 4sum2, 5sum1, 5sum2). Для звіту 1sum1 обираємо функцію поля – Volume Fraction of Пшениця, а частини – Prob 1. Для звіту 1sum2 обираємо функцію поля – Volume Fraction of Рибне борошно, а частини – Prob 1. Інші звіти створюються аналогічно [38,39].

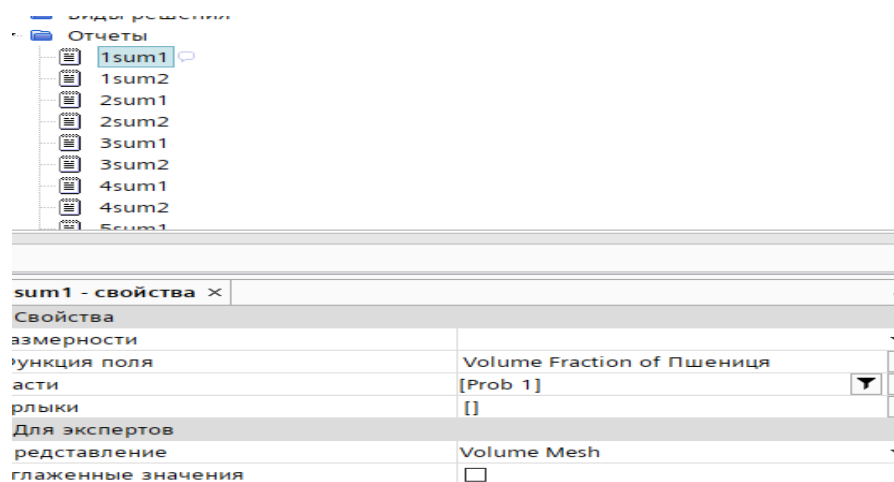


Рисунок 2.17 – Звіти сум

Далі як на рис. 2.18 створюємо звіт homogeneity виразу і у визначенні прописуємо формулу для розрахунку:

$$1 - \frac{(\text{abs}(\{1\text{sum}1\}) - \{1\text{sum}2\}) / (\{1\text{sum}1\} + \{1\text{sum}2\}) + \text{abs}(\{2\text{sum}1\} - \{2\text{sum}2\}) / (\{2\text{sum}1\} + \{2\text{sum}2\}) + \text{abs}(\{3\text{sum}1\} - \{3\text{sum}2\}) / (\{3\text{sum}1\} + \{3\text{sum}2\}) + \text{abs}(\{4\text{sum}1\} - \{4\text{sum}2\}) / (\{4\text{sum}1\} + \{4\text{sum}2\}) + \text{abs}(\{5\text{sum}1\} - \{5\text{sum}2\}) / (\{5\text{sum}1\} + \{5\text{sum}2\})}{5}$$

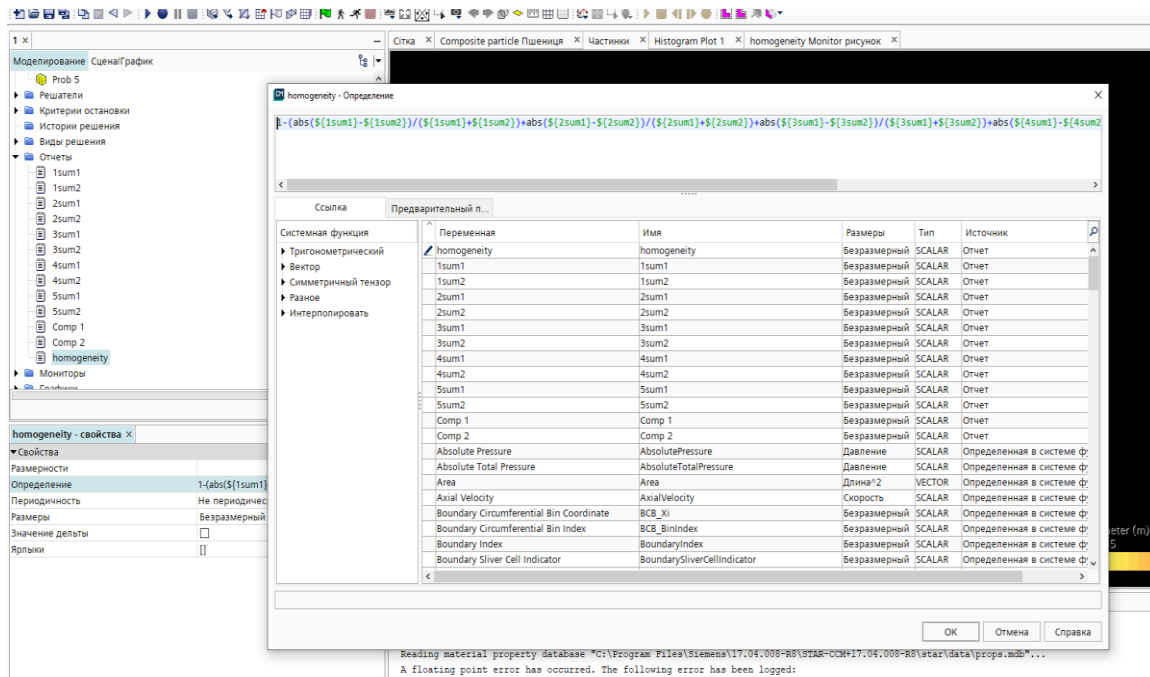


Рисунок 2.18 – Звіт homogeneity

Далі зі звіту homogeneity створюємо монітор і графік. Для відображення розподілу створюємо графік distribution. Тип графіка – малюнок діаграми. В якості частин рисунку обрані Лагранжеві фази компонентів суміші (comp 1 I comp 2). Графіки повинні виглядати як на малюнку 2.19 – 2.20.



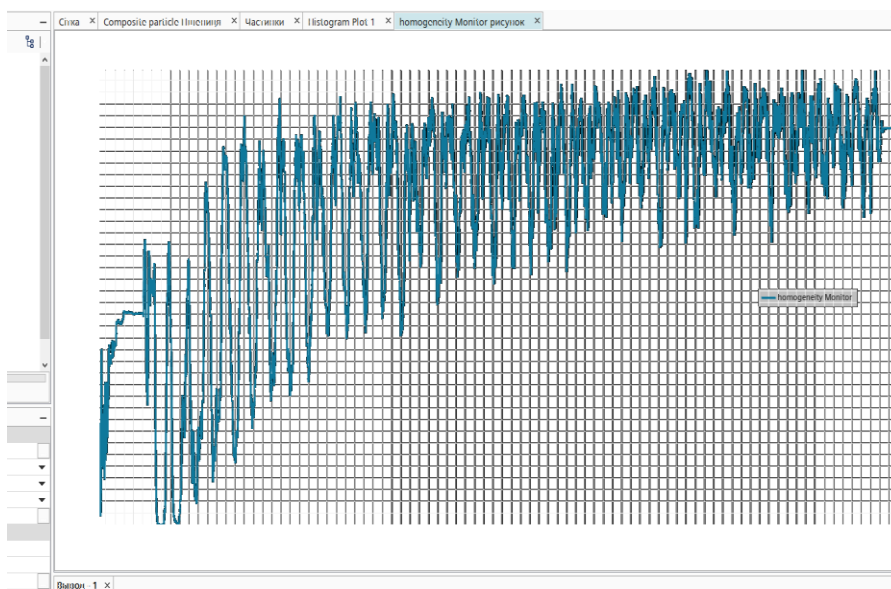


Рисунок 2.19 – Графік homogeneity

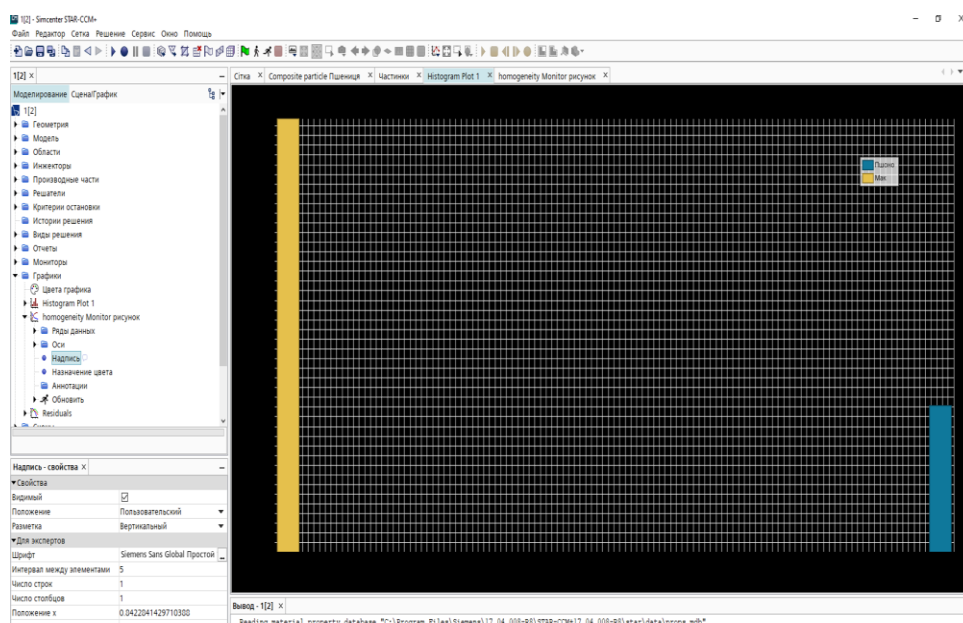


Рисунок 2.20 – Графік Histogram Plot

Наступним етапом вибираємо критерій оцінки процесу. Для цього заходимо у папку критерії зупинки та обираємо максимальний фізичний час як 12 с. Після цього програму запускаємо на розрахунок. Як задати критерій оцінки процесу показано на рис 2.21.

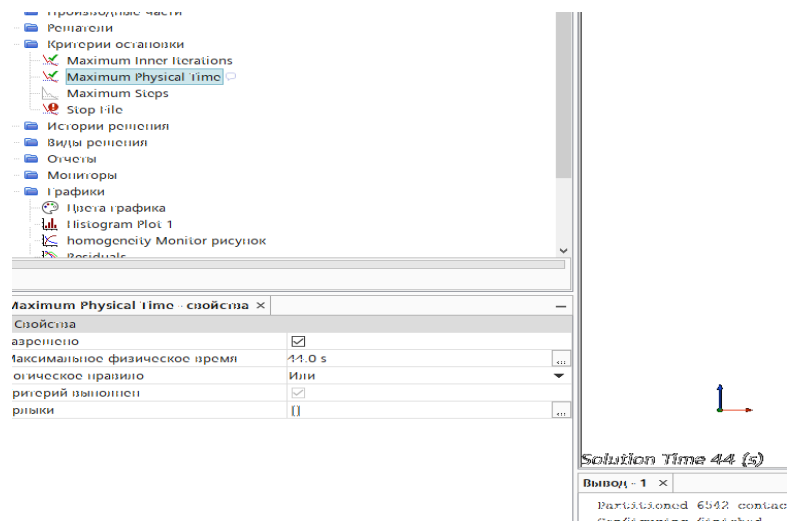


Рисунок 2.21 – Критерій оцінки процесу

Наступним етапом обираємо фактори дослідження. В якості факторів дослідження приймаємо наступні параметри: кут нахилу змішувача ( $\alpha$ ), частоту обертання ( $n$ ) та коефіцієнт однорідності ( $h$ ).

Після розрахунку сформуємо узагальнену (табл. 2.2), в яку додаємо розрахований коефіцієнт однорідності а також сюди додаємо частоту обертання та кут нахилу [40,41].

Таблиця 2.2 – Рівні і межі варіювання факторами досліджень

№	Рівні		$\alpha, ^\circ$	n, об/хв	k, %	h, %
	x1	x2				
1	-1	-1	20	60	40	90,48
2	-1	0	20	60	50	92,06
3	-1	1	20	60	60	91,45
4	0	-1	20	75	40	93,33
5	0	0	20	75	50	94,93
6	0	1	20	75	60	94,27
7	1	-1	20	90	40	86,11
8	1	0	20	90	50	89,5
9	1	1	20	90	60	87,42

Далі згідно з отриманими результатами складаємо рівняння регресії в програмному пакеті Wolfram Cloud.

### 2.3 Аналіз результатів чисельного моделювання змішувача

Під час проведення наукового дослідження акцент був зроблений на систематичному визначенні оптимальних параметрів змішування в умовах, що були чітко задані. Отримані в ході теоретичних випробувань дані були детально проаналізовані шляхом використання методу побудови тривимірних графіків функції. Для цього була використана програма Wolfram Cloud, яка дозволила статично обробляти результати моделювання.

Цей аналітичний підхід виявився надзвичайно корисним у визначенні найефективніших комбінацій параметрів, сприяючи оптимізації процесу змішування. Докладний аналіз даних включав в себе не лише остаточні результати, але і вивчення динаміки змін параметрів в різних точках експерименту. Цей комплексний підхід виявився ключовим для розуміння впливу кожного параметра на загальний результат. Важливо відзначити, що під час аналізу увага приділялася не лише числовим значенням, але й візуалізації даних через тривимірні графіки. Це дозволило краще розуміти геометрію функції та взаємозв'язки між різними параметрами. Такий глибокий аналіз сприяє не лише вдосконаленню конкретного процесу змішування, але і розширює загальне розуміння в області вивчення подібних технологічних вирішень. Також за допомогою цієї програми було отримано рівняння регресії:

$$\mu_1[x_1, x_2, x_3] = 92.6703 - 2.1855 x_1 - 1.1222 x_2 + 0.8908 x_1 x_2 - 3.2811 x_2^2 + 0.5411 x_3 - 1.7544 x_3^2$$

Нижче будуть представлені малюнки в яких наведені результати процесу змішування з різними параметрами.

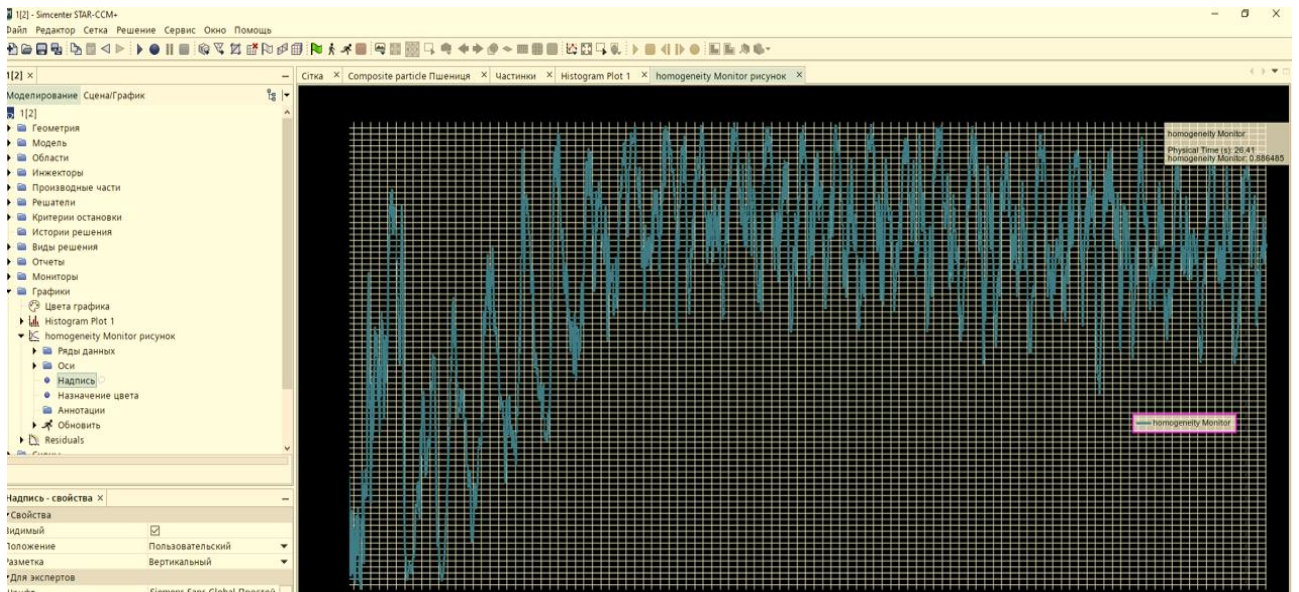
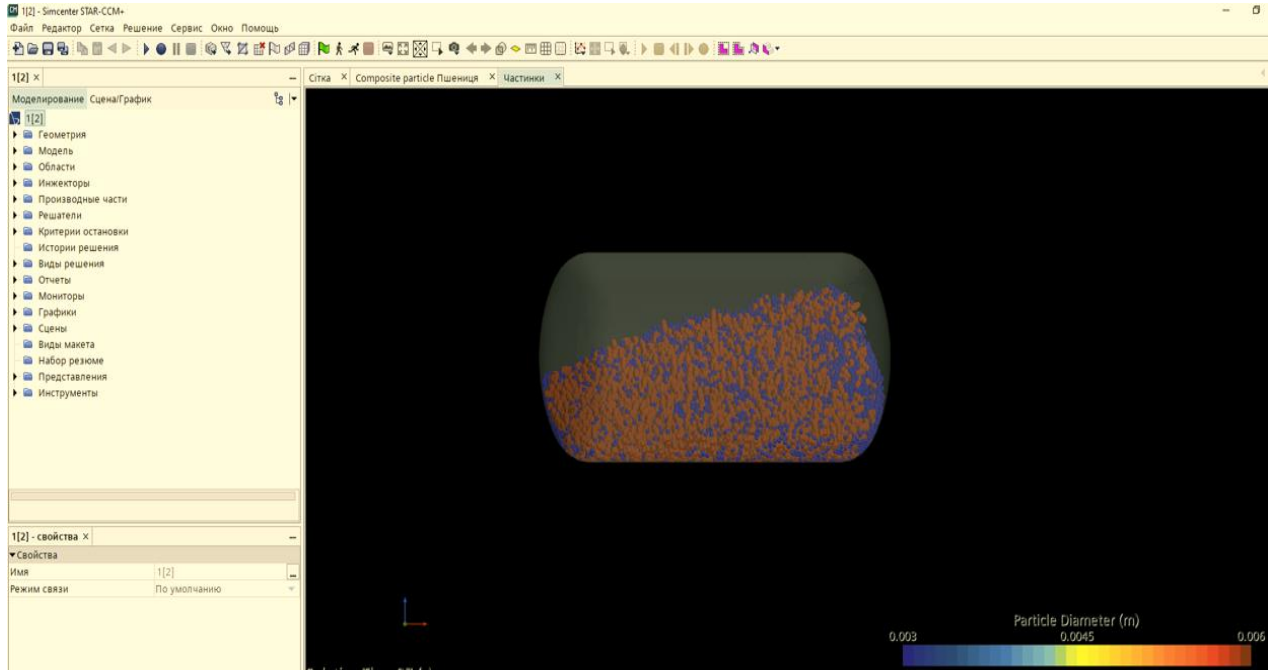


Рисунок 2.22 – Візуалізація параметрів змішування (кут нахилу 20°С, частота обертання 60 об/хв, коефіцієнт заповнення 40 %)

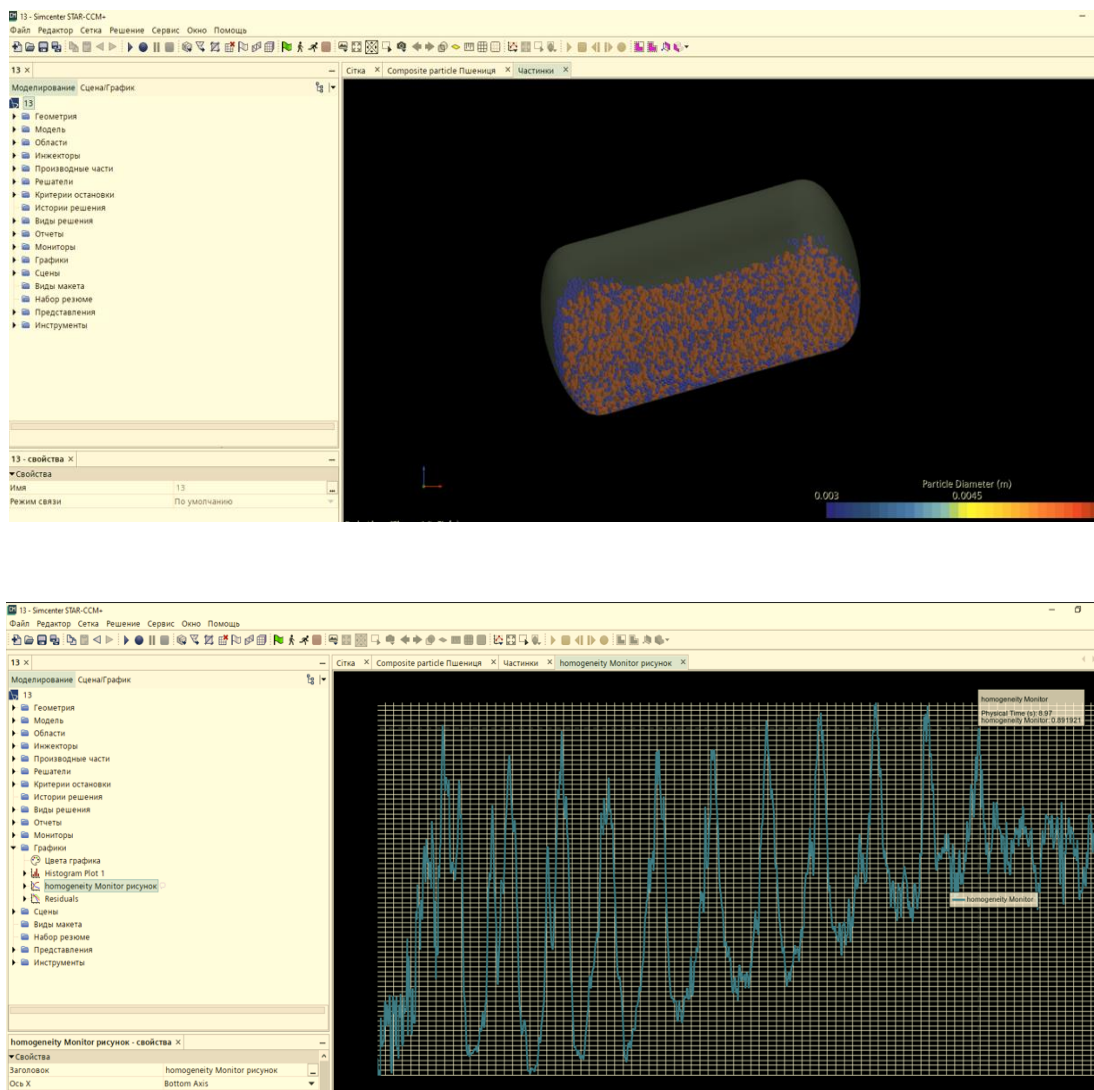
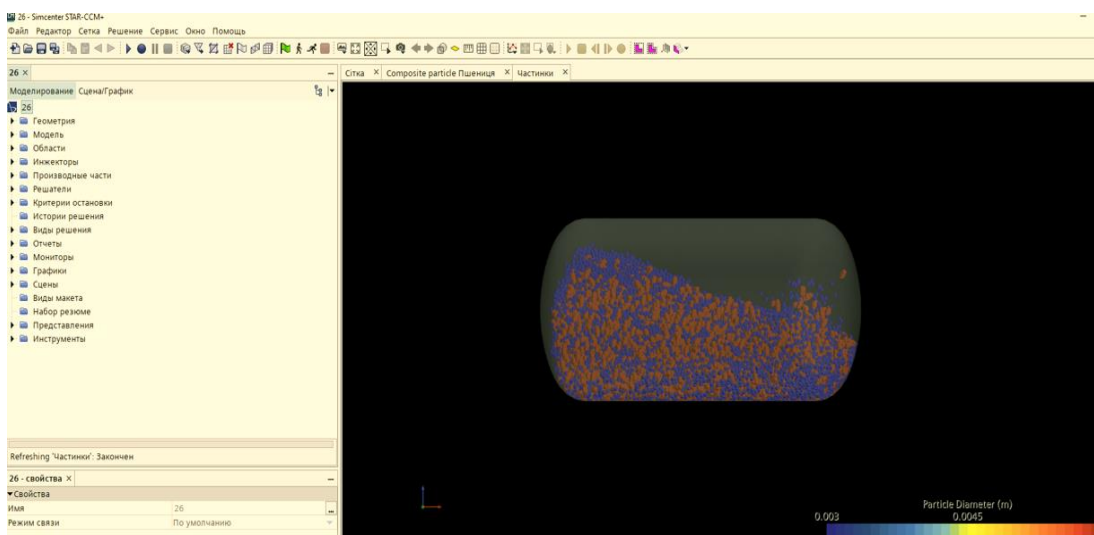


Рисунок 2.23 – Візуалізація параметрів змішування (кут нахилу  $30^{\circ}\text{C}$ , частота обертання 75 об/хв, коефіцієнт заповнення 40 %)



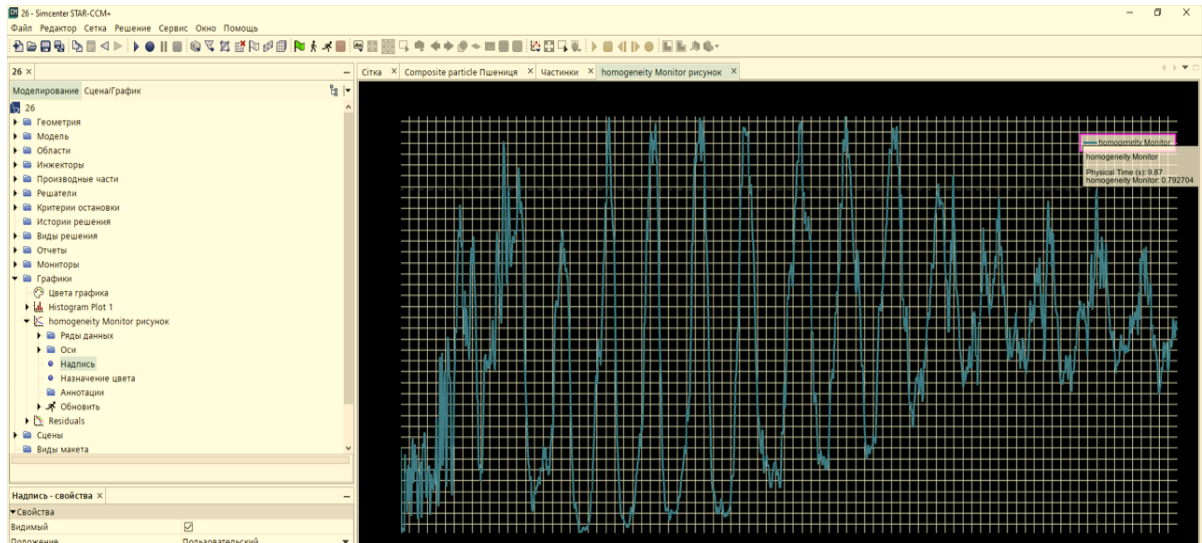


Рисунок 2.24 – Візуалізація параметрів змішування (кут нахилу  $40^{\circ}\text{C}$ , частота обертання 90 об/хв, коефіцієнт заповнення 50 %)

На рисунках 2.22-2.24 наведено як відбувалися процеси змішування за різними технологічними параметрами. У додатку А наведена повна матриця експерименту та отримані результати під час процесу моделювання.

Під час проведення тривимірного моделювання було отримано поверхні відгуку, які наглядно представлені на рис. 2.25. Ці поверхні відображають відносні зміни в параметрах змішування та їх вплив на якість отриманої суміші. Аналізуючи ці графіки, було визначено найбільш оптимальні параметри змішування, сприяючи досягненню найвищої ступені однорідності утвореної суміші.

На підставі встановлених параметрів можна зробити висновок, що оптимальні умови для проведення змішування виглядають наступним чином:

а) Змішування під кутом 20 градусів сприяє ефективному перемішуванню компонентів. Це обрано з метою досягнення максимальної однорідності із забезпеченням, що всі складові рівномірно і повністю змішані.

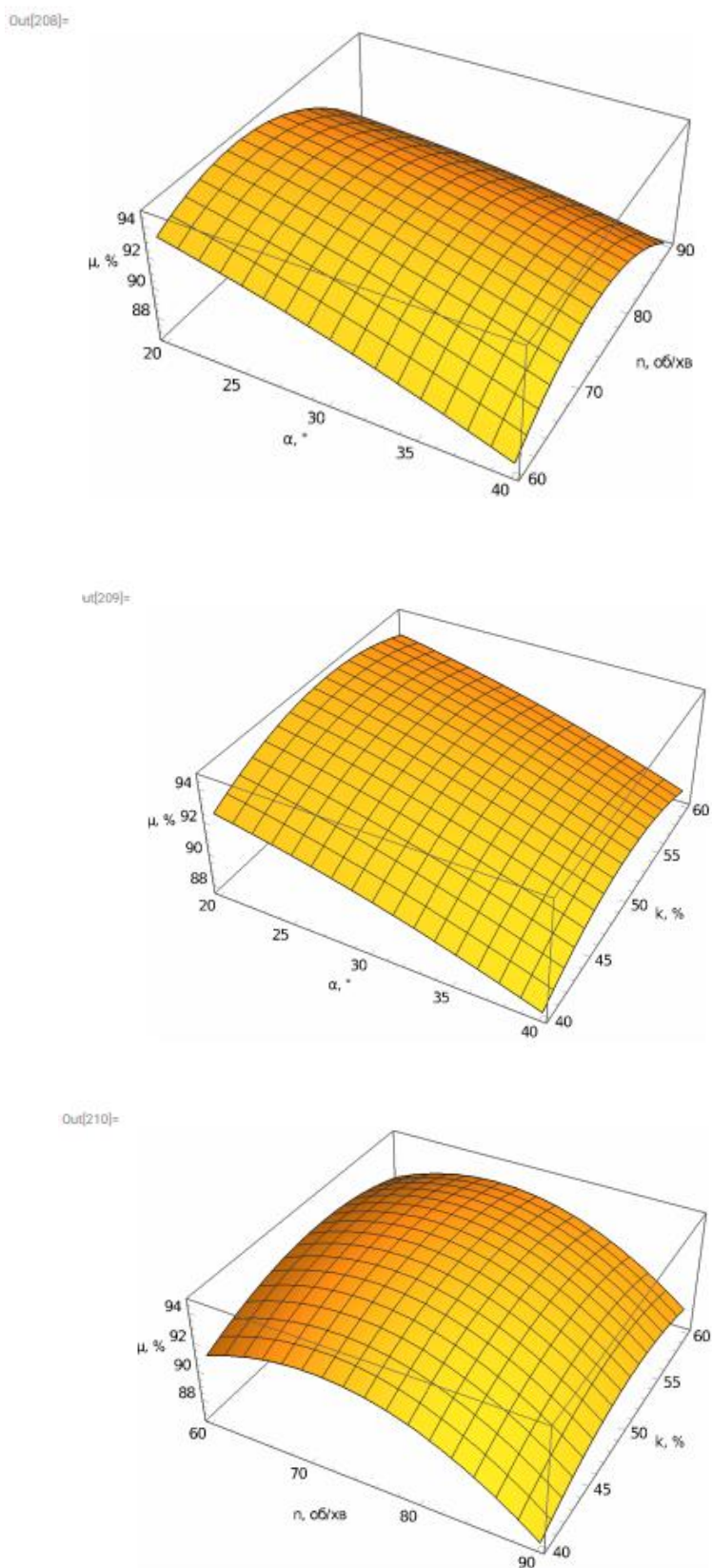


Рисунок 2.25 – Вплив аналізованих факторів (кут нахилу змішувача, ступеню заповнення та частоти обертів змішувача) на однорідність змішування КОМПОНЕНТІВ

б) Частота обертання змішувача на рівні 70,46 обертів за хвилину обрана як оптимальна, оскільки це забезпечує відмінну швидкість змішування, сприяючи ефективному взаємодії різних компонентів.

в) Коефіцієнт заповнення на рівні 51,55% свідчить про те, що об'єм змішувача належним чином насичений матеріалами, що сприяє рівномірному і якісному змішуванню речовин.

Зазначені параметри в сукупності забезпечують високий рівень якості змішування та гомогенізації компонентів, досягаючи ефективності на рівні 94,8%. Це свідчить про успішне проведення процесу змішування з врахуванням важливих факторів для досягнення оптимальних результатів.

## **2.4 Висновки до розділу**

Чисельне моделювання дозволяє систематично досліджувати вплив різних параметрів, таких як кути змішування, частота обертання та коефіцієнт заповнення, на процес змішування. Використання Star CCM+ дозволяє проводити віртуальні експерименти, аналізувати велику кількість варіантів та визначати оптимальні умови для досягнення максимальної ефективності та якості змішування. На основі теоретичних досліджень параметрів процесу змішування можна визначити оптимальні умови для досягнення ефективного перемішування компонентів. Зокрема, виявлено, що змішування під кутом 20 градусів, частота обертання на рівні 70,46 обертів за хвилину та коефіцієнт заповнення 51,55% є ключовими параметрами для забезпечення максимальної однорідності і якості змішування. Ці теоретично визначені оптимальні умови створюють передумови для високої результативності змішування та гомогенізації компонентів, досягаючи ефективності на рівні 94,8%.



## 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 3.1 Опис методики проведення досліджень

Важливість якості змішування комбікорму вирішальна у виробництві кормів для тварин. Це має прямий вплив на їхнє здоров'я, зріст, продуктивність та якість виробленої продукції, такої як м'ясо, молоко, яйця і інше [42,43]. Нижче розглянуто кілька ключових аспектів важливості якості змішування комбікорму:

а) Оптимальне харчування тварин: комбікорм - це змішана суміш різних компонентів, таких як зерно, білки, вітаміни, мінерали та додаткові добавки. Правильне змішування гарантує, що кожна порція корму містить всі необхідні складові для забезпечення здорового харчування тварин [44].

б) Рівномірний розподіл інгредієнтів: якщо комбікорм погано змішаний, це може спричинити нерівномірний розподіл корисних речовин у кормі. Це, у свою чергу, може призвести до нерівномірного харчування тварин і спричинити нездоровий зріст або низьку продуктивність.

в) Економія ресурсів: якість змішування комбікорму має важливий економічний аспект. Правильно змішаний комбікорм допомагає ефективно використовувати інгредієнти, уникати їх втрати і забезпечувати оптимальну продуктивність тварин [45].

г) Забезпечення якості продукції: якість комбікорму впливає на якість кінцевої продукції, отриманої з тваринного виробництва. Правильно збалансований корм може позитивно вплинути на якість м'яса, молока, яєць тощо, що впливає на задоволення споживачів і конкурентоздатність продукції на ринку [46].

Дослідження процесу змішування компонентів комбікорму будуть проводитись за стандартними та розробленими методиками на експериментальному стенді (рис. 3.1).

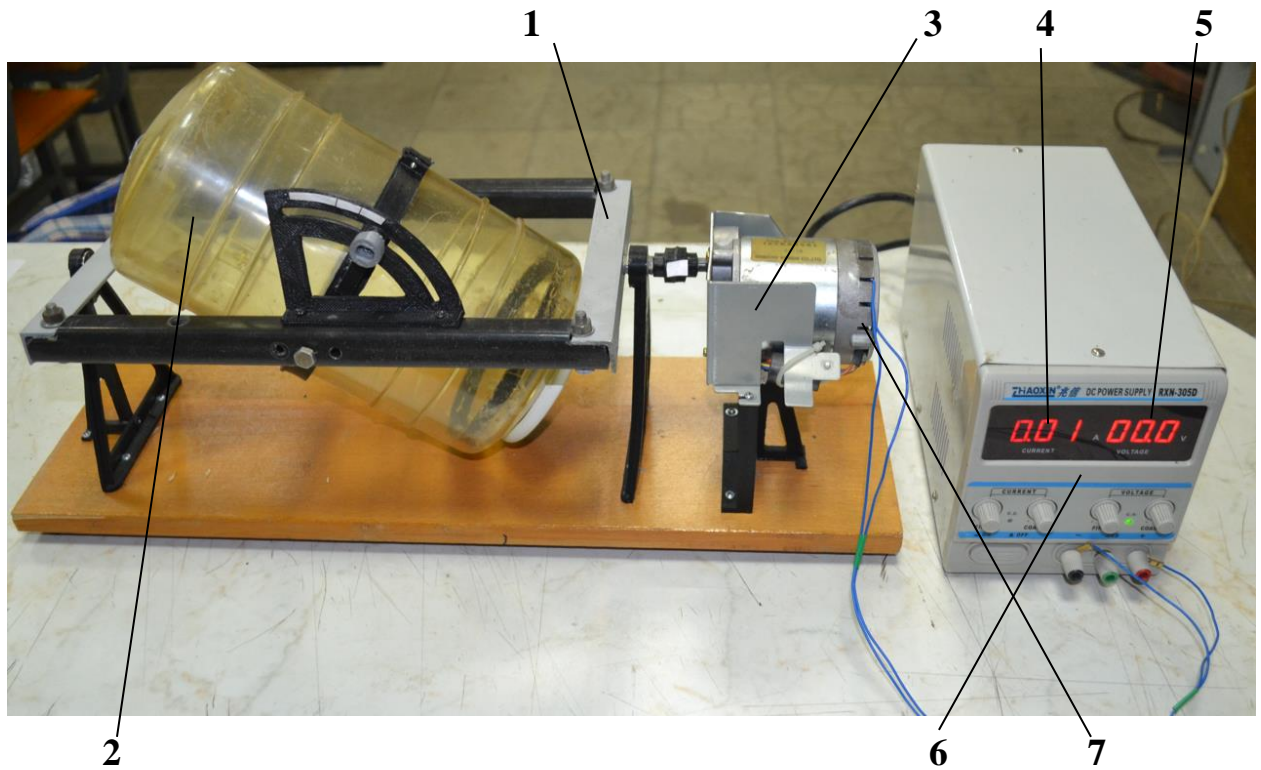


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментальної установки: 1 –рама; 2 – змішувач (бункер); 3 – редуктор; 4 – показники сили струму; 5 – показники напруги живлення електродвигуна приводу ; 6 – регульований блок живлення Zhaoxin RXN-305D; 7 – електродвигун приводу

Рама (1) підтримує всі інші частини пристрою та забезпечує стабільність під час роботи. Змішувач (бункер) (2) є важливою частиною пристрою для змішування різних інгредієнтів комбікорму. Редуктор (3) регулює швидкість змішувача. Це важливо, оскільки різні інгредієнти корму можуть вимагати різної швидкості змішування для досягнення оптимальної однорідності. Індикатор сили струму (4) дозволяє контролювати споживання електроенергії двигуном, який приводить в рух змішувач. Це допомагає забезпечити ефективну та безпечну роботу агрегату.

Індикатор напруги живлення двигуна (5) вимірює напругу, що живить електродвигун (7). Регульований блок живлення Zhaoxin RXN-305D (6) дозволяє змінювати параметри потужності електродвигунів та інших компонентів пристрою. Це дозволяє регулювати режим роботи установки відповідно до ваших потреб у змішуванні комбікорму. Привідний двигун (7) є основним джерелом механічної енергії для змішувача. Він перетворює електричну енергію від блоку живлення в механічний рух, необхідний для змішування інгредієнтів комбікорму.

Для зважування компонентів використовували аналітичні ваги які зображені на рис. 3.2. В якості експериментальних зразків використовували два компонента: пшоно та мак.



Рисунок 3.2 – Аналітичні ваги

Живлення двигуна здійснювали за допомогою регульованого блока живлення Zhaoxin RXN-305D з вихідною напругою 0-30 В.

Частоту обертання бункера змішувача вимірювали за допомогою цифрового оптичного тахометру GM8905 виробництва Venetech який зображено на рис 3.3.



Рисунок 3.3 – Цифровий оптичний тахометр GM8905

Технічні характеристики безконтактного тахометра Venetech GM8905 дозволяють вимірювати обертання механізмів і деталей машин в діапазоні від 2,5 до 99999 оборотів в хвилину. Даний тахометр характеризується високою точністю вимірювань і можливістю зміни роздільної здатності вимірювань від 0,1 до 1 обороту в хвилину. Також варто відзначити, що він дозволяє точно вимірювати частоту обертання на відстані до 500 мм. Однією з особливостей цього лазерного тахометра є підвищена надійність.

У порівнянні з іншими популярними тахометрами зі схожими ціновими характеристиками на українському ринку, модель GM8905 виділяється високою якістю. Корпус тахометра виконаний з високоякісного пластику, і деталі корпуса підігнані ідеально, що дозволяє тахометру без перешкод працювати в запилених приміщеннях робочих цехів та переносити підвищену вологість і вібрацію. Ще однією особливістю цієї моделі є висока точність проведених вимірювань [47].

У принципі роботи тахометра можна виділити кілька кроків:

Підготовка тахометра: встановіть батареї, якщо вони ще не встановлені, і переконайтеся, що пристрій готовий до використання.

Підготовка об'єкта: необхідно визначити рефлекторну поверхню на об'єкті, на якому планується провести вимірювання, і переконатися, що ця поверхня належним чином відображає світло.

Вмикання тахометра: тахометр активується натисканням кнопки включення/вимкнення, після чого можна вибрати режим вимірювання (наприклад, оберти за хвилину або герц) за допомогою відповідних кнопок або переключателя.

Проведення вимірювань: спрямовуючи тахометр на рефлекторну поверхню, зберігаючи сталу відстань від об'єкта, проводять вимірювання. Результати відображаються на цифровому дисплеї, і за необхідності їх можна зафіксувати.

Вимкнення тахометра: після завершення роботи тахометр вимикають для збереження заряду батареї та подальшого використання.

Потужність приводу змішувача може бути визначена зміною сили струму на двигуні за допомогою амперметра, який вбудований у блок живлення.

Для визначення концентрації контрольного компоненту використовується сито з отворами діаметром 1,5 мм. Після цього створюється матриця експерименту для подальшого проведення повнофакторного експерименту яка наведена у табл. 3.1.

Як згадувалося раніше у додатку А наведена повна матриця експерименту. Основні кроки дослідження представлено нижче:

- 1) Зважуємо 0,924 кг пшона і завантажуюмо його до змішувача.
- 2) Зважуємо 0,073 кг маку, що становить 10% від загальної маси суміші, і додаємо його до пшона.
- 3) Встановлюємо потрібну частоту обертання валу змішувача (див. табл.

1) шляхом регулювання напруги, яка живить двигун.

4) Додаємо до змішувача компонент, що має найменшу масу.

5) Вмикаємо змішувач і зафіксуємо час експерименту (див. табл. 3.1).

6) Після закінчення часу змішування, вимикаємо змішувач, відкриваємо його люк і беремо пробу.

7) Зважуємо взятую пробу на вагах і, за допомогою сита, відокремлюємо найменший компонент. Записуємо виміряні дані в (табл. 3.1).

8) Вивантажуємо змішувач і за допомогою ситового класифікатора відокремлюємо найменший компонент.

9) Повертаємось до першого кроку і повторюємо усі дії.

Таблиця 3.1 – Матриця експерименту

№	Рівні			$\alpha, ^\circ$	n, об/хв	k, %	Маса суміші (пшоно +мак), кг	Напруга (U),В	Сила струму на приводі, А	Вага проби mпр,кг	Питома енергосмітність q, Вт*год/кг	Однорідність змішування $\mu, \%$
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>									
1	-1	-1	-1	20	60	40	0,997	4,2	0,180	0,02234	0,180	94,12
2	-1	-1	0	20	60	50	1,229	4,2	0,157	0,02306	0,157	95,56
3	-1	-1	1	20	60	60	1,457	4,2	0,131	0,02675	0,131	94,60
4	-1	0	-1	20	75	40	0,997	4,7	0,206	0,02071	0,206	96,50
5	-1	0	0	20	75	50	1,229	4,7	0,176	0,02439	0,176	98,20
6	-1	0	1	20	75	60	1,457	4,7	0,147	0,02804	0,147	97,50
7	-1	1	-1	20	90	40	0,997	5,2	0,230	0,02478	0,230	89,00
8	-1	1	0	20	90	50	1,229	5,3	0,202	0,02315	0,202	92,50
9	-1	1	1	20	90	60	1,457	5,3	0,167	0,02421	0,167	90,52

Цей експеримент передбачає підготовку та змішування двох компонентів - пшоно і маку. Після завантаження компонентів до змішувача, увімкнення змішувача та контролю часу змішування, ми беремо пробу з отриманої суміші. Проба вимірюється на вагах і піддається подальшій обробці, відокремлюючи найменший компонент за допомогою сита.

Результати заносяться до таблиці 3.1. Після цього змішувач розвантажується, відділяючи найменший компонент за допомогою сита. Процес повторюється для наступних експериментів, починаючи з підготовки компонентів до змішувача [48].

### 3.2 Результати досліджень

В ході дослідження проводилося визначення найкращих параметрів змішування при заданих умовах. Результати дослідження аналізувалися методом побудови тривимірних графіків функції за допомогою програми для статичної обробки результатів моделювання Wolfram Cloud.

Wolfram Cloud – це інноваційна обчислювальна платформа, розроблена компанією Wolfram Research, яка надає доступ до потужних обчислювальних ресурсів та величезного обсягу даних, включаючи високошвидкісний веб-інтерфейс і набір інструментів для аналізу та обробки даних, розробки програм, візуалізації і досліджень у широкому спектрі наукових галузей. Основна перевага Wolfram Cloud полягає в його універсальності та доступності з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету. Ця платформа широко використовується у наукових дослідженнях, освіті, стартапах, аналізі даних та інших областях, де потрібна потужна обчислювальна мережа та засоби для творчого аналізу та взаємодії з даними [49].

Однією з ключових особливостей Wolfram Cloud є використання популярної системи символічних обчислень, відомої як Wolfram Language. Це потужна мова програмування, що дозволяє здійснювати символічні обчислення, чисельні обчислення, роботу з графікою, маніпулювання даними та взаємодію зі сторонніми сервісами.

Для визначення параметрів для отримання найкращої однорідності були задані данні які були отримані з експериментальних досліджень для розрахунку (рис. 3.4), критерій Ст'юдента ( $t$ ) (рис. 3.5) та рівняння регресії, отримані за допомогою програми Wolfram Cloud.

```

In[42]:= Danip = {{-1, -1, -1, 94.12},
  {-1, -1, 0, 95.56},
  {-1, -1, 1, 94.60},
  {-1, 0, -1, 96.50},
  {-1, 0, 0, 98.20},
  {-1, 0, 1, 97.50},
  {-1, 1, -1, 89.00},
  {-1, 1, 0, 92.50},
  {-1, 1, 1, 90.52},
  {0, -1, -1, 92.82},
  {0, -1, 0, 93.85},
  {0, -1, 1, 92.95},
  {0, 0, -1, 94.20},
  {0, 0, 0, 96.50},
  {0, 0, 1, 94.80},
  {0, 1, -1, 86.65},
  {0, 1, 0, 90.20},
  {0, 1, 1, 89.60},
  {1, -1, -1, 89.16},
  {1, -1, 0, 92.49},
  {1, -1, 1, 90.20},
  {1, 0, -1, 88.50},
  {1, 0, 0, 91.56},
  {1, 0, 1, 89.65},
  {1, 1, -1, 84.39},
  {1, 1, 0, 87.60},
  {1, 1, 1, 86.50}};
nlm = NonlinearModelFit[Danip,
  a00 + a10 * x1 + a20 * x2 + a30 * x3 + a12 * x1 * x2 + a13 * x1 * x3 +
  a23 * x2 * x3 + a11 * x1^2 + a22 * x2^2 + a33 * x3^2, {a00, a10, a20,
  a30, a12, a13, a23, a11, a22, a33}, {x1, x2, x3}];

```

Рисунок 3.4 – Данні для розрахунку однорідності змішування

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
a00	96.003	0.47769	200.973	$3.83988 \times 10^{-30}$
a10	-2.69167	0.221127	-12.1725	$8.08633 \times 10^{-10}$
a20	-2.155	0.221127	-9.74551	$2.25613 \times 10^{-8}$
a30	0.61	0.221127	2.75859	0.013424
a12	-0.0916667	0.270825	-0.338472	0.739152
a13	0.108333	0.270825	0.400013	0.694129
a23	0.410833	0.270825	1.51697	0.147649
a11	-0.810556	0.383004	-2.11631	0.0493738
a22	-3.45056	0.383004	-9.00919	$6.98415 \times 10^{-8}$
a33	-1.95889	0.383004	-5.11454	0.0000862876

Рисунок 3.5 – Критерій Ст'юдента (t) для розрахунку однорідності



## змішування

Рівняння регресії має вигляд:

$$\mu[x_1, x_2, x_3] = 96,003 - 2,6917 x_1 - 0,81056 x_1^2 - 2,155 x_2 - 3,4506 x_2^2 + 0,61 x_3 - 1,9589 x_3^2$$

В результаті тривимірного моделювання були отримані поверхні відгуку які представлені на (рис.3.6, 3.7, 3.8), за якими було визначено найкращі параметри змішування для отримання найбільш однорідної суміші:

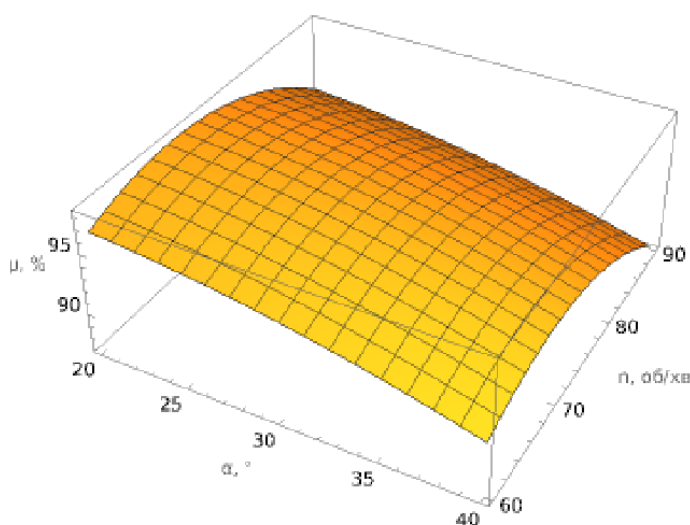


Рисунок 3.6 – Вплив досліджуваних факторів (кут нахилу змішувача та частоти обертів змішування) на однорідність змішування компонентів

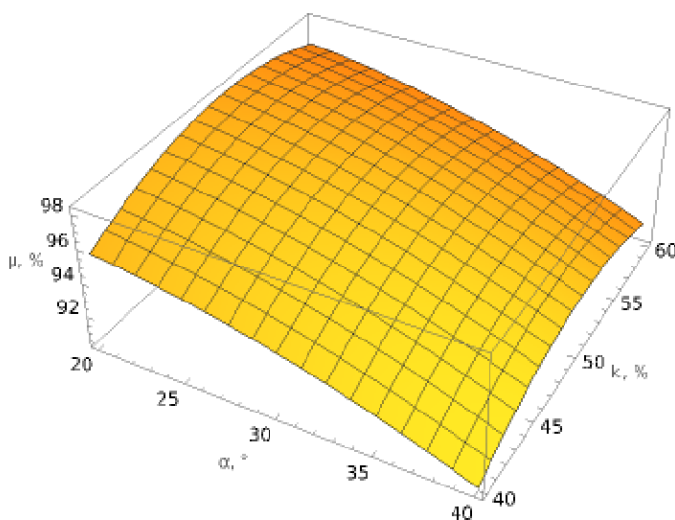


Рисунок 3.7 – Вплив досліджуваних факторів (кут нахилу змішувача та

коефіцієнта заповнення змішувача) на однорідність змішування компонентів

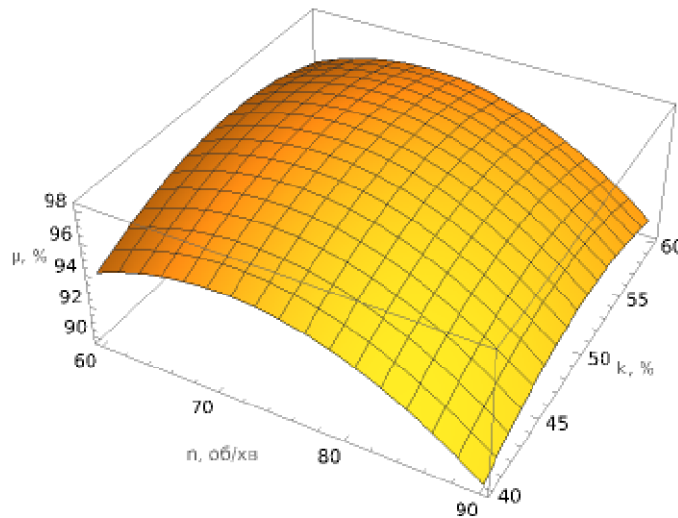


Рисунок 3.8 – Вплив досліджуваних факторів (частоти обертання змішувача та коефіцієнта заповнення змішувача) на однорідність змішування компонентів

За наданих параметрів можна зробити висновок, що найкращі умови для змішування становлять:

а) Змішування під кутом 20 градусів допомагає досягти ефективного перемішування компонентів.

б) Частота обертання змішувача на рівні 72,5 обертів на хвилину забезпечує оптимальну швидкість змішування.

в) Коефіцієнт заповнення 54% означає, що об'єм змішувача рівномірно заповнений матеріалами, сприяючи їхньому якісному змішуванню.

Отже, при таких параметрах змішування досягає якості на рівні 98%, що свідчить про ефективність змішування та гомогенізацію компонентів.

Для визначення параметрів процесу, за яких питома енергоємність процесу буде мінімальна, були задані данні для розрахунку (рис. 3.9), критерій Ст'юдента (рис. 3.10) та рівняння регресії, які були отримані у ході досліджень і були розраховані за допомогою програми Wolfram Cloud.

```

Dانيق = {{-1, -1, -1, 0.180},
{-1, -1, 0, 0.157},
{-1, -1, 1, 0.131},
{-1, 0, -1, 0.206},
{-1, 0, 0, 0.176},
{-1, 0, 1, 0.147},
{-1, 1, -1, 0.230},
{-1, 1, 0, 0.202},
{-1, 1, 1, 0.167},
{0, -1, -1, 0.198},
{0, -1, 0, 0.167},
{0, -1, 1, 0.139},
{0, 0, -1, 0.230},
{0, 0, 0, 0.193},
{0, 0, 1, 0.159},
{0, 1, -1, 0.246},
{0, 1, 0, 0.202},
{0, 1, 1, 0.170},
{1, -1, -1, 0.215},
{1, -1, 0, 0.180},
{1, -1, 1, 0.150},
{1, 0, -1, 0.249},
{1, 0, 0, 0.213},
{1, 0, 1, 0.173},
{1, 1, -1, 0.271},
{1, 1, 0, 0.228},
{1, 1, 1, 0.189}};
nlm = NonlinearModelFit[Dانيق,
a00 + a10 * x1 + a20 * x2 + a30 * x3 + a12 * x1 * x2 + a13 * x1 * x3 +
a23 * x2 * x3 + a11 * x1^2 + a22 * x2^2 + a33 * x3^2, {a00, a10, a20,

```

Рисунок 3.9 – Данні для розрахунку питомої енергоємності

	Estimate	Standard Error	t-Statistic	P-Value
a00	0.191407	0.00178516	107.221	1.65652×10 <sup>-25</sup>
a10	0.0151111	0.000826369	18.2862	1.28712×10 <sup>-12</sup>
a20	0.0215556	0.000826369	26.0847	3.75223×10 <sup>-15</sup>
a30	-0.0333333	0.000826369	-40.3371	2.54575×10 <sup>-18</sup>
a12	0.001	0.00101209	0.988053	0.336982
a13	-0.00433333	0.00101209	-4.28156	0.000504612
a23	-0.004	0.00101209	-3.95221	0.00102839
a11	0.00311111	0.00143131	2.17361	0.0441543
a22	-0.00388889	0.00143131	-2.71701	0.0146453
a33	0.000777778	0.00143131	0.543402	0.593908

Рисунок 3.10 – Критерій Ст'юдента (t) для розрахунку питомої енергоємності

Рівняння регресії має вигляд:

$$q = 0,19141 + 0,0151 x_1 + 0,0311 x_1^2 + 0,0215 x_2 - 0,0039 x_2^2 - 0,0333 x_3 - 0,0043 x_1 x_3 - 0,0040 x_2 x_3$$

В результаті тривимірного моделювання були отримані поверхні відгуку (рис.3.11, 3.12, 3.13), за якими було визначено найкращі параметри, при яких питома енергоємність процесу буде мінімальна:

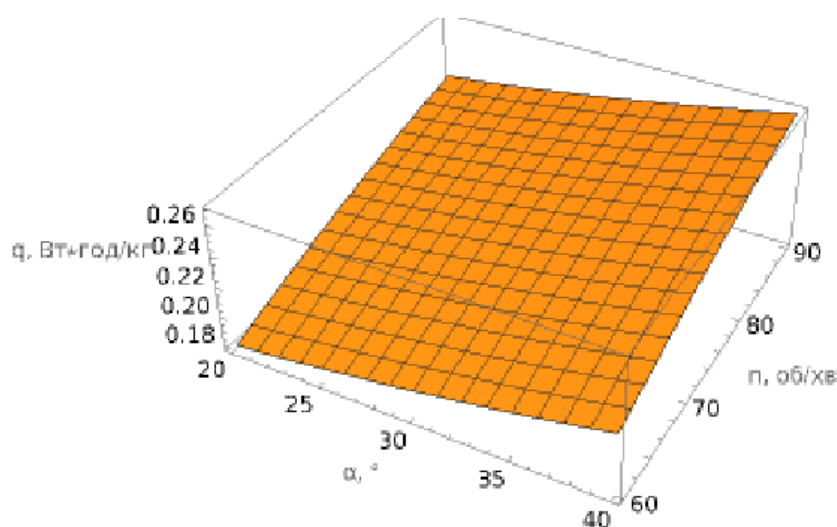


Рисунок 3.11 – Вплив досліджуваних факторів (кут нахилу змішувача та частоти обертів змішування) на питому енергоємність

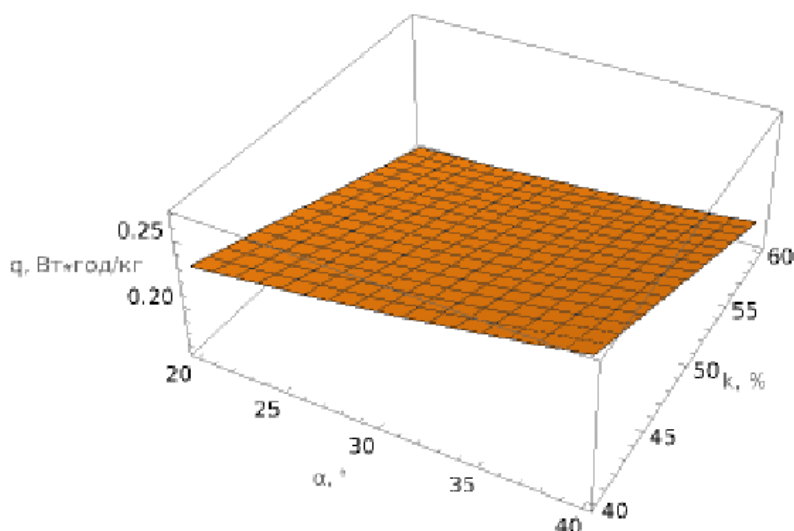


Рисунок 3.12 – Вплив досліджуваних факторів (кут нахилу змішувача та коефіцієнта заповнення змішувача) на питому енергоємність

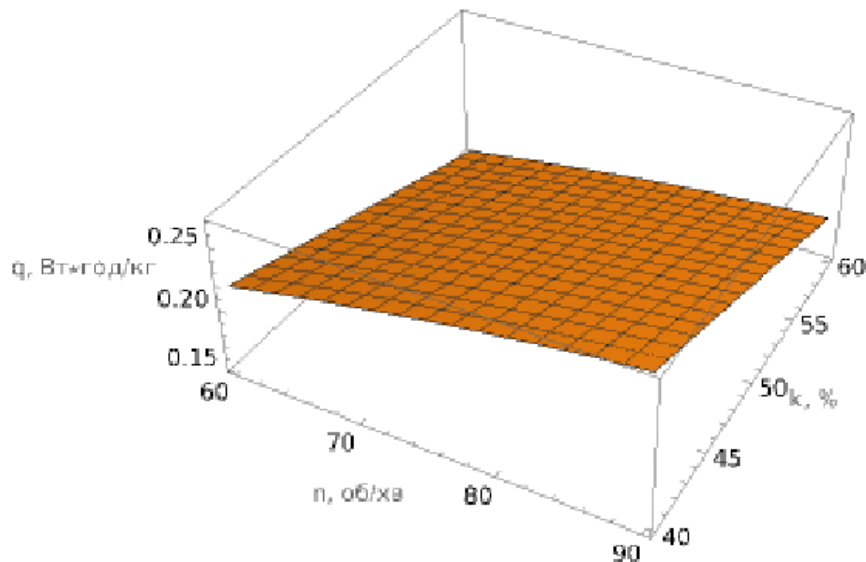


Рисунок 3.13 – Вплив досліджуваних факторів (частоти обертання змішувача та коефіцієнта заповнення змішувача) на питому енергоємність

Отже, за експериментальними дослідженнями отримано математичні рівняння регресії, що адекватно визначають вплив частоти обертів змішувача, кута оберту та коефіцієнту заповнення на обрані параметри оптимізації процесу змішування, однорідність змішування та питома енергоємність процесу. За встановленими критеріями оптимізації визначені раціональні конструктивно-режимні параметри змішувача: кут – 20 градусів, частота обертів – 66,25 об/хв., коефіцієнт заповнення 57%. За такими параметрами можна досягти високих показників змішування при цьому питома енергоємність буде найменшою.

### 3.3 Висновки до розділу

За експериментальними дослідженнями були зібрані дані, які дозволили розрахувати ефективність змішування та питому енергоємність для різних конструктивно-режимних параметрів. Для аналізу та обробки цих даних була використана програма Wolfram Cloud, яка дозволяє проводити математичний аналіз та регресійні обчислення.

В результаті аналізу були отримані математичні рівняння регресії та поверхні відгуку. Рівняння регресії дозволяють знаходити залежність між параметрами змішування та ефективністю процесу. Поверхня відгуку відображає графічно залежність ефективності від зміни параметрів змішування.

За допомогою встановлених критеріїв оптимізації були визначені оптимальні конструктивно-режимні параметри для досягнення максимальної однорідності змішування при мінімальних затратах питомої енергоємності. Згідно з дослідженнями було встановлено, що оптимальний кут нахилу змішувача становить  $20^\circ$ , частота обертів змішувача повинна бути 66,25 об/хв, а ступінь заповнення змішувача 57%. Ці результати досліджень допомагають оптимізувати процес змішування для досягнення бажаних характеристик продукту з мінімальними затратами енергії. Вони можуть бути корисними при проектуванні та оптимізації змішувальних систем в різних галузях промисловості, де змішування речовин є важливим етапом технологічного процесу.

Порівнюючи теоретичну та експериментальну частини дослідження, можна зазначити кілька суттєвих аспектів. Обидві частини підтримують ефективність змішування під кутом 20 градусів і зазначають важливість цього параметра для досягнення однорідності компонентів.

У теоретичній частині вказано, що оптимальна частота обертання змішувача становить 70,46 обертів за хвилину, тоді як у експериментальній частині це значення становить 72,5 обертів за хвилину. Незважаючи на цю невелику розбіжність, теоретичне і експериментальне дослідження підтверджують важливість оптимальної швидкості змішування. Щодо коефіцієнта заповнення, теорія та експеримент погоджуються, що він повинен лежати в діапазоні 51,55-54%, вказуючи на належне насичення об'єму змішувача матеріалами для якісного змішування.

Наслідком встановлених параметрів є висока результативність змішування, яку теорія оцінює на рівні 94,8%, а експериментальні дані

демонструють ще вищий рівень - 98%. Розходження у числових значеннях може пояснюватися різними умовами експерименту чи невеликими погрішностями в вимірюваннях. Важливо враховувати, що реальні умови експлуатації обладнання також можуть впливати на отримані результати.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Охорона праці в науково-виробничій лабораторії ДДАЕУ**

Охорона праці є однією із найважливіших складових безпеки та здоров'я працівників у науково-виробничих лабораторіях. Забезпечення безпеки праці є необхідністю для здорового функціонування лабораторій та досягнення їх наукових та виробничих цілей. У цьому тексті ми розглянемо сучасні підходи до охорони праці в таких лабораторіях, включаючи оцінку ризиків, стандарти безпеки, навчання та інструктажі, моніторинг та системи евакуації, а також персональний захист [50].

Оцінка ризиків є першим та найважливішим кроком у забезпеченні безпеки працівників у лабораторіях. Це включає в себе ідентифікацію потенційних небезпек, які можуть виникнути під час виконання різних експериментів та досліджень. Після ідентифікації ризиків необхідно розробити та впровадити заходи для їх усунення або мінімізації впливу на працівників.

Розробка та впровадження стандартів та протоколів безпеки є важливим етапом у забезпеченні безпеки працівників у лабораторіях. Ці стандарти включають в себе правила користування обладнанням, вимоги щодо хімічної та біологічної безпеки, а також відповідність законодавчим вимогам у галузі охорони праці.

Проведення обов'язкового навчання та інструктажів з питань безпеки є необхідним для всіх працівників лабораторії. Це допомагає усвідомленню можливих небезпек та ефективному виконанню процедур безпеки. Важливо, щоб працівники були добре підготовлені до роботи в умовах лабораторії та знали, як вчасно реагувати на можливі небезпеки.

Інструктажі з охорони праці грають важливу роль у забезпеченні безпеки працівників у різних сферах діяльності. Існують різні види



інструктажів, які спрямовані на підготовку та навчання працівників щодо правил та процедур безпеки. Ось декілька основних видів інструктажів з охорони праці:

Вступний (першоденний) інструктаж надається новозатрудненим працівникам під час їх першого робочого дня. Він включає в себе загальну інформацію про правила та процедури безпеки, ознайомлення з виробничим середовищем, місцем розташування засобів індивідуального захисту, інструкції щодо поводження з обладнанням тощо.

Цільовий (професійний) інструктаж надається працівникам, які працюють у певних сферах або виконують конкретні види робіт. Він спеціалізований та передбачає надання конкретних навичок та знань, які необхідні для безпечного виконання конкретних завдань.

Повторний інструктаж проводиться періодично з метою оновлення та уточнення знань працівників про правила безпеки та процедури. Він може бути проведений щороку або при виникненні змін у правилах та стандартах безпеки.

Позаплановий інструктаж проводиться у випадках, коли виникають надзвичайні ситуації або аварії. Він передбачає надання працівникам інструкцій щодо дій у небезпечних ситуаціях та евакуації.

Теоретичний і практичний інструктаж: Деякі види робіт можуть вимагати не лише теоретичних знань, але й практичної підготовки. Такий інструктаж включає в себе як теоретичні, так і практичні навчання та відпрацювання навичок на практиці [51,52].

Інструктажі для керівників та супервайзерів: Окрім інструктажів для працівників, існують спеціальні інструктажі для керівників та супервайзерів, які надають їм знання та навички щодо керування та нагляду за безпекою на робочому місці.

Постійний моніторинг умов праці та рівнів шкідливих речовин в середовищі лабораторії допомагає вчасно виявляти можливі проблеми та їх

запобігання. Розробка та впровадження систем евакуації та дій у разі надзвичайних ситуацій є важливими для забезпечення готовності до швидкого та безпечного виходу працівників у випадку аварій чи пожежі.

Забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту, такими як захисні костюми, окуляри, рукавиці та респіратори, є важливим для запобігання можливому ураженню небезпечними речовинами чи іншими матеріалами у лабораторії.

Ефективна система охорони праці в науково-виробничих лабораторіях є ключовим елементом у забезпеченні безпеки працівників та ефективної роботи в цьому специфічному середовищі. Це вимагає поєднання правильного планування, систематичного навчання та моніторингу для постійного вдосконалення умов праці та забезпечення безпеки працівників у лабораторії.

#### **4.2 Основні заходи щодо захисту студентів від небезпечних факторів**

Захист студентів від небезпечних факторів є важливим аспектом проведення досліджень в освітніх установах. В даному підрозділі розглядається основні заходи, які слід вживати для забезпечення безпеки студентів під час проведення наукових робіт та експериментів [53].

1) Навчання безпеки. Студентам слід проходити обов'язкове навчання з питань безпеки, де вони ознайомлюються з правилами та процедурами, пов'язаними з роботою в лабораторіях або інших дослідницьких середовищах.

2) Використання безпечного обладнання. Забезпечення наявності та використання лише безпечного та сертифікованого обладнання для запобігання потенційним небезпекам.

3) Контроль за дотриманням протоколів безпеки. Встановлення системи контролю за дотриманням студентами протоколів безпеки, включаючи перевірки та аудити.

4) Аналіз ризиків. Важливо оцінити ризики для кожного досліду та приймати заходи для їх зменшення. Це може включати в себе визначення можливих небезпек та розробку планів дій в екстрених ситуаціях.

5) Забезпечення медичної допомоги. Гарантування наявності доступної медичної допомоги на території дослідницьких лабораторій або інших місць проведення досліджень.

6) Застосування екологічно безпечних матеріалів. Використання матеріалів та речовин, які не лише безпечні для студентів, але і мають мінімальний вплив на довкілля.

7) Система повідомлень про небезпеку. Створення системи повідомлень про можливі небезпечні ситуації та забезпечення ефективної комунікації зі студентами під час проведення досліджень.

Ці заходи допомагають забезпечити безпеку та захист студентів під час проведення досліджень, сприяючи запобіганню потенційним небезпекам та негативним наслідкам. [54,55].

### **4.3 Безпекові рекомендації під час роботи зі гравітаційним змішувачем та розрахунок механічної вентиляції у лабораторії**

Робота з гравітаційним змішувачем є важливим етапом багатьох процесів у наукових та виробничих дослідженнях. Під час такої роботи важливо дотримуватися безпекових рекомендацій, щоб уникнути можливих травм та небезпек. Навчання з безпеки, використання захисного спорядження, перевірка стану обладнання, вентиляція приміщення, уникання контакту з речовинами, знання екстрених заходів та підтримання чистоти на робочому місці — усі ці аспекти грають важливу роль у забезпеченні безпеки під час роботи з гравітаційним змішувачем. Дотримання цих рекомендацій не лише допомагає уникнути травм, але й забезпечує ефективність робочих процесів та збереження здоров'я працівників.

Робота з гравітаційним змішувачем вимагає дотримання певних безпекових рекомендацій для забезпечення безпечної та ефективної роботи. Ось основні аспекти, які слід враховувати під час користування гравітаційним змішувачем:

а) навчання та інструктаж. Перед роботою з гравітаційним змішувачем обов'язково пройдіть навчання та отримайте докладні інструкції щодо користування цим обладнанням. Розуміння принципів роботи та безпекових процедур є важливим для уникнення можливих небезпек.

б) використання захисного спорядження. Завжди носіть захисне спорядження, включаючи захисні окуляри, рукавиці та спеціальний одяг. Це допоможе захистити вас від можливих травм та контакту з потенційно шкідливими речовинами.

в) перевірка обладнання. Перед використанням гравітаційного змішувача перевірте його стан та впевніться, що воно працює належним чином. Будьте уважні до будь-яких пошкоджень чи незвичайних ознак.

г) вентиляція приміщення. Продумана вентиляція приміщення, де проводиться дослідження з гравітаційним змішувачем, допоможе уникнути накопичення шкідливих парів чи газів, які можуть виникати під час процесу змішування.

д) уникання контакту з речовинами. Завжди треба уникайте контакту з хімічними речовинами, які використовуються у процесі змішування, та дотримуйтесь правил безпеки під час роботи з ними. Важливо ретельно дотримуватися інструкцій щодо використання речовин.

е) чистота та порядок. Треба підтримувати чистоту та порядок на місці роботи з гравітаційним змішувачем. Це допоможе уникнути можливих аварій та зберегти безпеку на робочому місці [56].

Дотримання цих безпекових рекомендацій сприятиме забезпеченню безпечних умов роботи з гравітаційним змішувачем та допоможе уникнути можливих небезпек та травм.

Розрахунок механічної вентиляції у лабораторії є важливим етапом проектування для забезпечення оптимальних умов роботи та безпеки. Цей процес включає визначення об'єму приміщення, потужності вентиляції, вибір відповідної системи вентиляції, розрахунок вентиляційних отворів, розміщення вентиляційного обладнання, оцінку енергоефективності та дотримання вимог безпеки та нормативів. Ці кроки допомагають забезпечити оптимальні умови повітрообміну та забезпечити відповідний рівень чистоти повітря, що є важливим для безпеки працівників та ефективності дослідницьких процесів. [57].

Знаючи довжину ширину та висоту приміщення можна визначити об'єм приміщення за формулою 4.1:

$$V = a \cdot b \cdot h \quad (4.1)$$

де  $a$  – довжина приміщення, м;

$b$  – ширина приміщення м;

$h$  – висота приміщення м;

$V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

Довжина лабораторії дорівнює 5 метрам, ширина - 4 метри, а висота - 3 метри.

$$V = 9 \cdot 6 \cdot 2,5 = 135 \text{ м}^3$$

Далі визначаємо об'єм повітряного обміну за формулою 4.2:

$$Q = V \cdot k \quad (4.2)$$

де  $V$  – об'єм приміщення  $\text{м}^3$

$k$  – кількість повітряних обмінів на годину, вона становить 9 разів на годину

$$Q = 135 \cdot 9 = 1215 \text{ м}^3/\text{год}$$

За формулою 4.3 визначається мінімальна потужність вентилятора:

$$P_{min} = 6 \cdot Q \quad (4.3)$$

$$P_{min} = 6 \cdot 1215 = 7290 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, для даного приміщення рекомендується вибрати механічний вентилятор з потужністю  $7290 \text{ м}^3/\text{год}$  для забезпечення ефективної циркуляції повітря та збереження безпеки працівників.

#### **4.4 Основні дії у разі виникнення надзвичайних ситуацій**

У разі виникнення надзвичайної ситуації в лабораторії важливо негайно діяти відповідно до певних основних дій, щоб забезпечити безпеку працівників та уникнути можливих травм чи небезпек. Спершу слід негайно повідомити про надзвичайну ситуацію відповідним службам безпеки та всім працівникам, а також розпочати процес евакуації, дотримуючись встановлених процедур та виходу. Під час евакуації необхідно використовувати засоби захисту та інше обладнання для безпеки. Роботи в

лабораторії повинні бути призупинені, і усі заходи повинні бути спрямовані на забезпечення безпеки. У разі потреби необхідно надавати першу медичну допомогу потерпілим та співпрацювати з екстреними службами для управління ситуацією та надання допомоги. Дотримання цих дій сприятиме забезпеченню безпеки в лабораторії під час надзвичайних ситуацій.

Основні дії у разі виникнення надзвичайної ситуації у лабораторії передбачають такі кроки:

1) в разі надзвичайної ситуації спочатку необхідно негайно повідомити про це відповідних служб безпеки, а також всіх працівників та осіб, які можуть бути залучені до допомоги.

2) у випадку загрози безпеці працівників та персоналу лабораторії необхідно негайно розпочати процес евакуації. Всі працівники повинні дотримуватися встановлених процедур евакуації та виходу з будівлі.

3) під час надзвичайної ситуації працівники повинні використовувати всі наявні засоби безпеки, такі як засоби захисту дихання, захисні костюми та інше обладнання, щоб уникнути можливих травм чи контакту з небезпечними речовинами.

4) У разі надзвичайної ситуації всі роботи в лабораторії повинні бути негайно призупинені, щоб уникнути подальшого поширення небезпеки та забезпечити безпеку всіх працівників.

5) надання першої медичної допомоги. Необхідно негайно надати першу медичну допомогу потерпілим. Для цього необхідно мати підготовлений персонал, який вміє надавати необхідну допомогу у випадку травм чи отруєнь.

6) під час надзвичайної ситуації важливо співпрацювати з екстреними службами, такими як пожежна охорона, швидка допомога та інші служби, які можуть бути необхідні для управління небезпекою та надання допомоги [58].

#### **4.5 Висновки до розділу**

В цьому розділі було проаналізовано стан охорони праці у науково-

дослідній лабораторії. Стан лабораторії знаходиться в межах норми. Дане приміщення добре освітлено та вентилується згідно з нормами. Лабораторія має належний мікроклімат, всі електроприбори заземлені і приміщення має вогнегасник та аптечку на випадок аварійної ситуації. Єдине, що треба покращити у даній лабораторії це треба встановити новий кран з водою.

Виходячи з розрахунків, для забезпечення ефективної циркуляції повітря та збереження безпеки працівників для цього приміщення рекомендовано вибрати механічний вентилятор з об'ємом повітря 7290 м<sup>3</sup>/год.



## 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО ЗМІШУВАЧА

### 5.1 Методика розрахунку експлуатаційних витрат

Створений змішувач, завдяки своїм компактним розмірам, виявляється дуже універсальним і може використовуватися на різних етапах виготовлення сипких кормів. Ця універсальність дозволяє розглядати його як потенційну альтернативу вертикальному лопатовому змішувачу типу SG-ПБ. Необхідно звернути увагу на те, що переваги нового змішувача, переважно, пов'язані з його технічними показниками, такими як підвищена продуктивність та зменшена споживана потужність. Отже, порівняння цих двох змішувачів має бути здійснене з урахуванням експлуатаційних витрат, залишаючи оцінку якості кінцевих продуктів поза увагою (за умови, що вони мають подібну якість). Методика розрахунку експлуатаційних витрат буде детально описана далі для більш точного та об'єктивного порівняння цих двох змішувачів [59,60].

Ці можливості змішувача відкривають широкі перспективи для оптимізації процесу виготовлення кормів, враховуючи технічні переваги та ефективність його використання. Використання компактного змішувача на різних етапах виробництва може значно поліпшити роботу на підприємстві, зменшити витрати та покращити якість кінцевих продуктів.

Витрати на заробітну плату визначимо за наступною формулою:

$$Z = n \cdot t \cdot f \cdot \delta \cdot D, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де  $n$  – кількість обслуговуючого персоналу, люд.;

$t$  – тривалість роботи апарату на добу, год.;

$f$  – погодинна тарифна ставка, грн/год.;

$\delta$  – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

$D$  – кількість робочих днів у році.

$$З = 1 \cdot 3 \cdot 40,46 \cdot 0,1 \cdot 365 = 4430,37 \text{ грн}$$

Тривалість роботи машини на добу визначимо виходячи з добової потреби в преміксі для SG-ПБ при роботі в одну зміну.

$$t = \frac{Q_n}{Q_{зм}}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де  $Q_n$  - добова потреба в комбікормі, кг;

$Q_{зм}$  – продуктивність змішувача, кг/год.

$$t = \frac{1316}{432} \approx 3,04 = 3 \text{ год}$$

Амортизаційні відрахування:

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де  $B$  – балансова вартість машини, грн.

$\alpha$  – нормований коефіцієнт відрахувань на амортизацію машин та обладнання, %.

$$A = \frac{3126 \cdot 10}{100} = 312,60 \text{ грн}$$

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування техніки обчислюють за виразом:

$$P = \frac{B \cdot \beta}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.4)$$

де  $\beta$  – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт обладнання та машин, %.

$$P = \frac{3126 \cdot 8,0}{100} \approx 250,08 = 250,10 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію визначимо за формулою:

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e, \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де  $N$  – потужність обладнання, кВт.;

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

$D$  – 90 кількість робочих годин

$$E = 1,8 \cdot 3 \cdot 90 \cdot 2,64 = 1283,04 \text{ грн}$$

Загальні експлуатаційні витрати складуть:

$$EB = Z + A + P + E, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

$$EB = 4430,37 + 312,60 + 250,10 + 1283,04 = 6276,11 \text{ грн}$$

Економія експлуатаційних витрат:

$$EEB = EB_1 - EB_2, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де  $EB_1$ ,  $EB_2$  – експлуатаційні витрати за базовим та розробленим варіантами відповідно, грн.

$$EEB = 10280,66 - 6276,11 = 4004,55 \text{ грн}$$

Термін окупності нового змішувача:

$$P = \frac{B_2}{EEB}, \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де  $B_2$  – балансова вартість проектного змішувача, грн.

$$P = \frac{3126}{4004,55} \approx 0,78 \text{ років, або } = 9,4 \text{ місяців}$$

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності змішувача

№ з.п.	Показник	Змішувач SG-ПБ	Змішувач за розробкою
1	2	3	4
1.	Кількість обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2.	Погодинна тарифна ставка, грн/год.	40,46	40,46
3.	Кількість робочих днів на рік	365	365
4.	Добова потреба в комбікормі, кг	1316	1316
5.	Продуктивність змішувача, кг/год	290	432

Продовження таблиці 5.1

6.	Тривалість роботи апарату на добу, год.	4,5	3
7.	Балансова вартість машини, грн.	5345	3126
8.	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
9.	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8,0	8,0
10.	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	2,64	2,64
11.	Потужність на привід, кВт	2,5	1,8
12.	Витрати на заробітну плату, грн.	6645,56	4430,37
13.	Амортизаційні відрахування, грн.	534,50	312,60
14.	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	427,60	250,10
15.	Витрати на електроенергію, грн.	2673	1283,04
16.	Експлуатаційні витрати, грн.	10280,66	6276,11
17.	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	4004,55
18.	Термін окупності нового змішувача, років	-	0,78

## 5.2 Висновки до розділу

На основі економічної оцінки розробленого змішувача сипких кормів можна визначити його важливі переваги порівняно зі стандартним змішувачем SG-ПБ. Вища продуктивність та зменшена потужність на привід виявилися основними факторами зниження експлуатаційних витрат. Крім того, необхідність у меншій кількості персоналу для операційного управління також підтверджує ефективність розробленого змішувача.

За результатами аналізу встановлено, що річна економія витрат на експлуатацію склала 6276,11 грн., а термін окупності нового змішувача становить лише 0,78 року. Ці показники свідчать про високу ефективність та економічну вигоду від впровадження цього новаторського обладнання.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Одним із ключових факторів успіху в цій сфері є належне змішування комбікормів, яке забезпечує створення оптимальних раціонів, враховуючи потреби тварин у поживних речовинах. У даній дипломній роботі було обґрунтовано технології змішування комбікормів з урахуванням наукових принципів, що лежать в основі раціонального харчування тварин, проаналізовано різні методики, технології та підходи, що використовуються в цій галузі.

В розділі «Аналіз стану питання» був проведений аналіз асортименту комбікормів та визначені їх основні фізико-хімічні характеристики. Розглянуте питання щодо обладнання для приготування комбікормів, типів комбікормових заводів, агрегатів, установок, а також визначені особливості їх використання та технічні характеристики. Окрему увагу приділено змішувачам, їх видам та характеристикам, а також теорії змішування комбікормів (склад сировини, визначення поживного вмісту, баланс поживних речовин, дотримання норм і стандартів, технологія змішування, якість та контроль, оптимізація виробництва та витрат).

В розділі «Теоретичні дослідження змішувача» наведено детальну, поетапну методику проведення чисельного моделювання змішувача. Представлено моделювання у програмі Star CCM+ ескізу змішувача, його фізичної моделі, задано параметри для змішування. Отримані в ході теоретичних випробувань дані були детально проаналізовані шляхом використання методу побудови тривимірних графіків функції. Для цього була використана програма Wolfram Cloud, яка дозволила статично обробляти результати моделювання. Докладний аналіз даних включав в себе не лише остаточні результати, але і вивчення динаміки змін параметрів в різних точках експерименту.

В розділі «Дослідна частина» наведено опис методики та результати досліджень в лабораторії з використанням експериментального стенду. За

експериментальними дослідженнями отримано математичні рівняння регресії, що адекватно визначають вплив частоти обертів змішувача, кута оберту та коефіцієнту заповнення на обрані параметри оптимізації процесу змішування, однорідність змішування та питома енергоємність процесу. За встановленими критеріями оптимізації визначені раціональні конструктивно-режимні параметри змішувача: кут – 20 градусів, частота обертів – 66,25 об/хв., коефіцієнт заповнення 57%. За такими параметрами можна досягти високих показників змішування при цьому питома енергоємність буде найменшою. Наслідком встановлених параметрів є висока результативність змішування, яку теорія оцінює на рівні 94,8%, а експериментальні дані демонструють ще вищий рівень - 98%.

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» запропоновані заходи з техніки безпеки щодо захисту студентів від небезпечних факторів, описано безпекові рекомендації під час роботи. Наведено розрахунок механічної вентиляції у лабораторії та порядок дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

В розділі «Економічна оцінка» були розраховані техніко-економічні показники змішувача. Було показано, що розроблений змішувач відзначається не лише технічною передовістю, а й значними економічними перевагами, що сприяють ефективному управлінню витратами та швидкому поверненню інвестицій у впровадження нових технологій.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Гузь, М. Виробництво комбікормів / М. Гузь, М. Мархонь, В. Сиволапов // *Agroexpert*, – 2019. – № № 4. – С. 100–103.
2. Голохвастов, В. Тенденции в производстве комбикормов / В. Голохвастов // *Комбикорма*. – 2007. – № 2. – С. 2–3.
3. Дяченко, Л. С. Основи технології комбікормового виробництва: навч. посібник / Л. С. Дяченко, В. С. Бомко, Т. Л. Сивик. – Біла Церква : 2015. – 306 с.
4. Производство комбикормов в странах ЕС // *Комбикорма*. – 2014. – № 4. – С. 16.
5. Heidenreich, E., and W. Strauch. "Decisive factors for solids mixing processes in compound feed production (part 2)." *Kraftfutter* 7/8 (2000): 286-292.
- Nef, Ernst. "The role of influencing parameters to mixing accuracy." *Afma Matrix* 25.1 (2016): 17-19.
6. І. О. Кузнецова, Ю. В. Карпенко // *Зернові продукти і комбікорми*. – 2008. – № 4 (32). – С. 20–23.
7. Alderman, G. "Prediction of the energy value of compound feeds." *Recent advances in animal nutrition* 285 (1985).
8. Xiao, Xiangwu, et al. "Numerical investigation on the effect of the particle feeding order on the degree of mixing using DEM." *Procedia engineering* 102 (2015): 1850-1856.
9. Rocha, A. G., et al. "Comparison of different indicators for the evaluation of feed mixing efficiency." *Animal Feed Science and Technology* 209 (2015): 249-256.
10. Морозов, Владимир Васильевич, et al. "Исследование процесса смешивания компонентов корма." *Вестник Курганской ГСХА* 4 (40) (2021): 75-82.



11. D. Goodband, R. D., Nelssen, J. L., Renter, D. G., & Dritz, S. S. (2010). Feed additives for swine: fact sheets—high dietary levels of copper and zinc for young pigs, and phytase. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports, (10), 87-91.
12. McCann, Mark J., Ian R. Rowland, and Nicole C. Roy. "Anti-proliferative effects of physiological concentrations of enterolactone in models of prostate tumourigenesis." *Molecular nutrition & food research* 57.2 (2013): 212-224.
13. Behnke, Keith C. "Feed manufacturing technology: current issues and challenges." *Animal Feed Science and Technology* 62.1 (1996): 49-57.
14. Liu, Zifei, Wendy Powers, and Saqib Mukhtar. "A review of practices and technologies for odor control in swine production facilities." *Applied Engineering in Agriculture* 30.3 (2014): 477-492.
15. Looor, Juan J., et al. "Plane of nutrition prepartum alters hepatic gene expression and function in dairy cows as assessed by longitudinal transcript and metabolic profiling." *Physiological genomics* 27.1 (2006): 29-41.
16. Комбикормовое производство для животноводства и птицеводства / сост. С. Н. Александров, Т. И. Косова. – Москва-Донецк : АСТ; Сталкер, 2004. – 189 с.
17. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв : навч. посібник / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздєв ; ред. О. В. Дацишин. –Вінниця : Нова Книга, 2009. – 488 с.
18. Технологические возможности повышения однородности комбикормовых рационов по содержанию БАВ / А. А. Шевцов, Ю. М. Колпаков, Е. С. Шенцова, А. С. Лесных // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. –2010. – № 2-3. – С. 62–64.
19. Peng, W-X., J. L. M. Marchal, and A. F. V. Van der Poel. "Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing." *Animal Feed Science and Technology* 237 (2018): 129-153.
20. Ssepuuya, G., et al. "Use of insects for fish and poultry compound feed in sub-Saharan Africa—a systematic review." *Journal of Insects as Food and Feed* 3.4

(2017): 289-302.

21. Burns, Anne Marie, et al. "Salmonella occurrence and Enterobacteriaceae counts in pig feed ingredients and compound feed from feed mills in Ireland." *Preventive Veterinary Medicine* 121.3-4 (2015): 231-239.

22. Sultana, N., et al. "Distribution of Various Mycotoxins in Compound Feed, Total Mix Ration and Silage." *Pakistan Veterinary Journal* 33.2 (2013).

23. Лобановський, Г. А. Технологія виробництва комбікормів / Г. А. Лобановський. – Київ : Урожай, 1973. – 136 с.

24. Fernández-Ahumada, Elvira, et al. "Near infrared spectroscopy for control of the compound-feed manufacturing process: mixing stage." *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 16.3 (2008): 285-290.

25. Калько, Іван Вікторович. "Обґрунтування параметрів змішувача комбікорму з гнучким робочим органом." (2021).

26. Болтянський, Борис Володимирович, О. В. Гвоздєв, and С. В. Дереза. "Обґрунтування конструктивного виконання змішувача компонентів комбікормів на основі побудови його морфологічної моделі." *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки* 18, т. 2 (2018): 155-163.

27. Спесивцев, А. Процесс смешивания при производстве комбикормов / А. Спесивцев // *Комбикорма*. – 2016. – № 3. – С. 37–41.

28. Кучеров, В. А. Однородность – важный критерий качества комбикормов / В. А. Кучеров, Б. Н. Вервейко // *Корми і факти: Практичне видання для фахівців агробізнесу*. – 2016. – № 10. – С. 28–29.

29. Сыроватка, В. И. Ресурсосбережение при производстве комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка // *Техника и оборудование для села*. – 2011. – № 6. – С. 22–25.

30. Закотенко, В. Автоматизированная система дозирования и смешивания на птицефабрике / В. Закотенко, И. Панин, В. Щеблыкин // *Комбикорма*. – 2001. – № 2. – С. 32–33.

31. Peng, W-X., J. L. M. Marchal, and A. F. V. Van der Poel. "Strategies to

prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing." *Animal Feed Science and Technology* 237 (2018): 129-153.

32. Ssepuyya, G., et al. "Use of insects for fish and poultry compound feed in sub-Saharan Africa—a systematic review." *Journal of Insects as Food and Feed* 3.4 (2017): 289-302.

33. Zahari, M. Wan, and A. R. Alimon. "Use of palm kernel cake and oil palm by-products in compound feed." *Palm oil developments* 40 (2005): 5-8.

Shrinivasa, D. J., and S. M. Mathur. "Compound feed production for livestock." *Curr Sci* 118 (2020): 553-559.

34. Alderman, G. "Prediction of the energy value of compound feeds." *Recent advances in animal nutrition* 285 (1985).

35. Fernández-Ahumada, Elvira, et al. "Near infrared spectroscopy for control of the compound-feed manufacturing process: mixing stage." *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 16.3 (2008): 285-290.

36. Алієв Е. Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику : монографія. Запоріжжя : СТАТУС. 2019. 196 с. ISBN 978-617-7759-32-3.

37. Андруник В.А., Висоцька В.А., Пасічник В.В., Чирун Л.Б., Чирун Л.В. Чисельні методи в комп'ютерних науках: навчальний посібник. Львів: Видавництво «Новий світ -2000», 2017. 470с. ISBN 978-617-7519-06-4.

38. Задачин В.М., Конюшенко І.Г. Чисельні методи: навчальний посібник. Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузенця, 2014. 180 с.

39. Yongxing, Zhang, and Dong-Joon Kim. "Optimization approach for a catamaran hull using CAESES and STAR-CCM+." *Journal of Ocean Engineering and Technology* 34.4 (2020): 272-276.

40. Agbodemegbe, V. Y., et al. "Correlation for cross-flow resistance coefficient using STAR-CCM+ simulation data for flow of water through rod bundle supported by spacer grid with split-type mixing vane." *Nuclear Engineering and Design* 285 (2015): 134-149.

41. Shevchenko, Igor, and Elchyn Aliiev. "Improving the efficiency of the

process of continuous flow mixing of bulk components." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 6.1 (2020): 108.

42. Burns, Anne Marie, et al. "Salmonella occurrence and Enterobacteriaceae counts in pig feed ingredients and compound feed from feed mills in Ireland." *Preventive Veterinary Medicine* 121.3-4 (2015): 231-239.

Sultana, N., et al. "Distribution of Various Mycotoxins in Compound Feed, Total Mix Ration and Silage." *Pakistan Veterinary Journal* 33.2 (2013).

43. Heidenreich, E., and W. Strauch. "Decisive factors for solids mixing processes in compound feed production (part 2)." *Kraftfutter* 7/8 (2000): 286-292.

Nef, Ernst. "The role of influencing parameters to mixing accuracy." *Afma Matrix* 25.1 (2016): 17-19.

44. Опара, В. О., Корж, О. В., Попсуй, В. В., & Опара, В. А. (2015). Визначення ступеня однорідності комбікормів у господарських умовах.

45. Піскун, В. І., and Ю. В. Яценко. "Обґрунтування параметрів удосконаленого змішувача інгредієнтів комбікормів." *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка* 144 (2014): 51-55.

46. Бойко, Д. І. "Критерії і способи оцінки якості змішування компонентів комбікормів." *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка* 157 (2015): 19-27.

47. Дударев, І. І. "Аналіз процесу змішування компонентів комбікормів у змішувачах безперервної дії." *Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки* 67 (2013): 144-151.

48. Олєфір, А. І. Гігієна праці у тваринництві і кормовиробництві / А. І. Олєфір, В. В. Самотуга. – Київ : Здоров'я, 1984. – 24 с.

49. Чемодуров, А. А. Производство и использование комбикормов в Японии: обзор. информация / А. А. Чемодуров, Е. Г. Григорьев; ЦНИИТЭИМинзага. – Москва, 1973. – 31 с.

50. Єгоров, Б. В. Техніка безпеки і охорони праці на комбікормових

заводах / Б. В. Єгоров // Корми і факти : Практичне видання для фахівців агробізнесу. –2018. – № 5. – С. 16–17.

51. Дмитрук, Е. А. Борьба с пылью на комбикормовых заводах / Е. А. Дмитрук. – Агропромиздат, 1987. – 85 с.

52. Инструкция по охране труда для работающих в кормоцехах для термохимической обработки кормов // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2011. – № 9. – С. 65–69.

53. Войналович, Олександр Володимирович, Наталія Михайлівна Рідей, and Оксана Володимирівна Зазимко. "Охорона праці в галузі: організаційні засади охорони праці у вищих аграрних закладах: навчальний посібник." (2015).

54. Данилова, Вікторія Вікторівна, et al. "Біобезпека в контексті охорони праці. Біотехнологічний і нормативно-правовий аспекти." Наукові вісті Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут 3 (2016): 20-29.

55. Євтушенко, Ольга Володимирівна, and Аліна Олегівна Сірик. "Безпека праці в навчальних закладах України." (2018).

56. Товажнянський, Леонід Леонідович, et al. "Сучасна кафедра з охорони праці та навколишнього середовища вищого навчального закладу." (2013).

57. Гуменюк, Тетяна Броніславівна, Ігор Васильович Коваленко, and Анатолій Іванович Овсієнко. "Збірник інструкцій з охорони праці у навчально-виробничій лабораторії з обробки деревини." (2013).

58. Марчишина, Є., В. Мельник, and Р. Гайдученко. "Нові правила охорони праці у лабораторіях, де проводять дослідження з використанням хімічних речовин." Сучасне птахівництво 9 (2013): 26-29.

59. Макаринська, А. В. Аналіз ринку комбикормів та біологічноактивних речовин для їх збагачення / А. В. Макаринська // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2010. – Т. 1, вип. 38. – С. 9–15.

60. Рибаченко, О. М. Методичні підходи до визначення економічної

ефективності інноваційних технологій у кормовиробництві [Електронний ресурс] / О. М. Рибаченко, С. К. Суша, І. С. Воронецька, Н. А. Спрінчук // Корми і кормовиробництво. – 2012. – Вип. 74. – С. 252–258.

## ДОДАТОК А

№	Рівні			$\alpha, ^\circ$	n, об/хв	Напруга (U),В	k	Маса суміші	Час (t), год	Сила струму на приводі,	Потужність на привод N, Вт	Продуктивність Q,	Питома енергоємність q, Вт*год/кг	Вага проби mпр,кг	Вага меншого компонента в пробі	Фактичний вміст меншого компонента	Коефіцієнт однорідності, k	Однорідність змішування $\mu, \%$
	X1(кут)	X2(об)	X3(к)															
1	-1	-1	-1	20	60	4,2	0,4 (40%)	0,997	0,05	0,95	3,591	19,94	0,180	0,02234	0,0021	9,41	0,941	94,12
2	-1	-1	0	20	60	4,2	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,02	3,8556	24,58	0,157	0,02306	0,0022	9,56	0,956	95,56
3	-1	-1	1	20	60	4,2	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,01	3,8178	29,14	0,131	0,02675	0,0025	9,46	0,946	94,60
4	-1	0	-1	20	75	4,7	0,4 (40%)	0,997	0,05	0,97	4,1031	19,94	0,206	0,02071	0,0020	9,65	0,965	96,50
5	-1	0	0	20	75	4,7	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,02	4,3146	24,58	0,176	0,02439	0,0024	9,82	0,982	98,20
6	-1	0	1	20	75	4,7	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,01	4,2723	29,14	0,147	0,02804	0,0027	9,75	0,975	97,50
7	-1	1	-1	20	90	5,2	0,4 (40%)	0,997	0,05	0,98	4,5864	19,94	0,230	0,02478	0,0022	8,90	0,890	89,00
8	-1	1	0	20	90	5,3	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,04	4,9608	24,58	0,202	0,02315	0,0021	9,25	0,925	92,50
9	-1	1	1	20	90	5,3	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,02	4,8654	29,14	0,167	0,02421	0,0022	9,05	0,905	90,52
10	0	-1	-1	30	60	4,3	0,4 (40%)	0,997	0,05	1,02	3,9474	19,94	0,198	0,02498	0,0023	9,28	0,928	92,82
11	0	-1	0	30	60	4,3	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,06	4,1022	24,58	0,167	0,0268	0,0025	9,39	0,939	93,85
12	0	-1	1	30	60	4,3	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,05	4,0635	29,14	0,139	0,02944	0,0027	9,30	0,930	92,95
13	0	0	-1	30	75	4,8	0,4 (40%)	0,997	0,05	1,06	4,5792	19,94	0,230	0,02298	0,0022	9,42	0,942	94,20
14	0	0	0	30	75	4,8	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,1	4,752	24,58	0,193	0,02715	0,0026	9,65	0,965	96,50
15	0	0	1	30	75	4,8	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,07	4,6224	29,14	0,159	0,03054	0,0029	9,48	0,948	94,80
16	0	1	-1	30	90	5,3	0,4 (40%)	0,997	0,05	1,03	4,9131	19,94	0,246	0,02582	0,0022	8,67	0,867	86,65
17	0	1	0	30	90	5,3	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,04	4,9608	24,58	0,202	0,02647	0,0024	9,02	0,902	90,20
18	0	1	1	30	90	5,3	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,04	4,9608	29,14	0,170	0,0297	0,0027	8,96	0,896	89,60
19	1	-1	-1	40	60	4,5	0,4 (40%)	0,997	0,05	1,06	4,293	19,94	0,215	0,02498	0,0022	8,92	0,892	89,16
20	1	-1	0	40	60	4,5	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,09	4,4145	24,58	0,180	0,02377	0,0022	9,25	0,925	92,49
21	1	-1	1	40	60	4,5	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,08	4,374	29,14	0,150	0,03002	0,0027	9,02	0,902	90,20
22	1	0	-1	40	75	5,1	0,4 (40%)	0,997	0,05	1,08	4,9572	19,94	0,249	0,02485	0,0022	8,85	0,885	88,50
23	1	0	0	40	75	5,1	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,14	5,2326	24,58	0,213	0,02307	0,0021	9,16	0,916	91,56
24	1	0	1	40	75	5,1	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,1	5,049	29,14	0,173	0,02604	0,0023	8,97	0,897	89,65
25	1	1	-1	40	90	5,5	0,4 (40%)	0,997	0,05	1,09	5,3955	19,94	0,271	0,02264	0,0019	8,44	0,844	84,39
26	1	1	0	40	90	5,5	0,5 (50%)	1,229	0,05	1,13	5,5935	24,58	0,228	0,02598	0,0023	8,76	0,876	87,60
27	1	1	1	40	90	5,5	0,6 (60%)	1,457	0,05	1,11	5,4945	29,14	0,189	0,02772	0,0024	8,65	0,865	86,50

