

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробних і харчових
виробництв»

_____ Цвіркун Л.О.
«___» _____ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробних і харчових виробництв»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ РОСЛИННОЇ
СИРОВИНИ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти _____ Горбань Ілля Леонідовіч _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

_____ ст. викладач, к.т.н., Гончаренко В.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти заочна
Ступінь бакалавр
Галузь знань Механічна інженерія
Освітня програма Обладнання переробних і харчових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Гарант освітньої програми «Обладнання
переробних і харчових виробництв»
Цвіркун Л.О.
« » 2026 року

З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Горбаню Іллі Леонідовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини»

Керівник роботи к.т.н., ст. викл., Гончаренко В.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від «28» січня 2026 р. № 22-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 15 » травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.
3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз обладнання для змішування сировини.
3. Оптимізація дозувально-змішувального обладнання для отримання корму.
4. Аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Обладнання для змішування сировини.

Схема дозувально-змішувального обладнання для рідкої кормової сировини.

Схема дозувально-змішувального обладнання для твердої кормової сировини.

6. Дата видачі завдання «30» січня 2026 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2026-15.02.2026
2	Аналіз обладнання для змішування сировини	16.02.2026-08.03.2026
3	Оптимізація дозувально-змішувального обладнання для отримання корму	09.03.2026-05.04.2026
4	Аналіз результатів досліджень	06.04.2026-26.04.2026
5	Висновки по роботі	27.05.2026-10.05.2026
6	Оформлення роботи і подання до захисту	11.05.2026-15.05.2026

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Горбань І.Л.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гончаренко В.А.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 51 сторінок, в тому числі основного тексту – 48 сторінки. Робота містить 13 рисунків, 4 таблиці. Список використаних джерел складається з 32 найменувань.

Об'єкт роботи – горизонтальний лопатевий змішувач.

Предмет роботи – процес змішування рослинного корму.

Мета роботи – удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини.

У роботі зазначено, що процедура змішування є критично важливою, оскільки саме цей процес забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу сировини, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. Оскільки фінальна суміш буде розподілена на кілька одиниць, які повинні містити приблизно однакову кількість допоміжних речовин і активних компонентів, якість отриманої суміші безпосередньо впливатиме на якість готового продукту.

Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для рідкої кормової сировини, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три соленоїдні клапани, резервуарний бак, насос, бак для змішування та нагрівач. Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування рідкої харчової сировини використовувати датчики: ультразвуковий датчик, який дозволяє мати потік, запитаний оператором, знаючи об'єм бункера з рідиною та ємнісні датчики для визначення мінімального рівня кожного з бункерів. У процесі отримання рідкого корму будуть змішуватися рідкі компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування в'язких компонентів, таких як рослинні олії та харчові добавки. Запропоновано лопаті змішувача дещо заокруглити на кінцях, що сприятиме контрольованому поступовому руху рідини у процесі змішування в'язких харчових рідин.

Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для твердої кормової сировини, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три клапани, резервуар та змішувач. Спочатку одночасно і протягом певного часу зернова суміш подається в резервуар при відкритті клапанів, а далі в систему змішування. Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування твердої харчової сировини використовувати наступні датчики: тензодатчик – це електромеханічний датчик, який використовується для вимірювання сили або ваги та датчик рівня для вимірювання поверхневого рівня в резервуарах. Для системи змішування обрано горизонтальний лопатевий змішувач.

Досліджено процес змішування за допомогою різкої конфігурації лопатевого змішувача для виявлення мертвих зон, а саме використання двох лопатей та п'яти лопатей. Результати показали, що під час змішування твердої зернової сировини ділянки біля кутів, країв або нижньої частини змішувача особливо вразливі. У процесі змішування за допомогою дволопатевого змішувача утворюється більше мертвих зон, ніж при застосування п'ятилопатевого змішувача.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: змішувач, дозатор, мертві зони, рослинна сировина.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ СИРОВИНИ	7
1.1 Методи змішування харчової сировини	7
1.2 Обладнання для змішування сировини	10
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ ДОЗУВАЛЬНО-ЗМІШУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОРМУ	22
2.1 Система для рідкої кормової суміші	22
2.2 Система для твердої кормової суміші	33
РОДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	41
3.1 Виявлення «мертвих зон» в процесі змішування	41
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТКИ	49

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Горбань			Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Гончаренко								5	1
								ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
Н. Контр.		Омельченко									
Затверд.		Цвіркун									

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що процедура змішування є критично важливою, оскільки саме цей процес забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу сировини, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. Оскільки фінальна суміш буде розподілена на кілька одиниць, які повинні містити приблизно однакову кількість допоміжних речовин і активних компонентів, якість отриманої суміші безпосередньо впливатиме на якість готового продукту.

Мета та задачі дослідження. Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини.

Практична та наукова новизна. Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для рідкої кормової сировини, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три соленоїдні клапани, резервуарний бак, насос, бак для змішування та нагрівач. Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування рідкої харчової сировини використовувати датчики: ультразвуковий датчик, який дозволяє мати потік, запитаний оператором, знаючи об'єм бункера з рідиною та ємнісні датчики для визначення мінімального рівня кожного з бункерів. У процесі отримання рідкого корму будуть змішуватися рідкі компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування в'язких компонентів, таких як рослинні олії та харчові добавки. Запропоновано лопаті змішувача дещо заокруглити на кінцях, що сприятиме контрольованому поступовому руху рідини у процесі змішування в'язких харчових рідин.

Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для твердої кормової сировини, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три клапани, резервуар та змішувач. Спочатку одночасно і протягом певного часу зернова суміш подається в резервуар при відкритті клапанів, а далі в систему змішування. Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування твердої харчової сировини використовувати наступні датчики: тензодатчик – це електромеханічний датчик, який використовується для вимірювання сили або ваги та датчик рівня для вимірювання поверхневого рівня в резервуарах. Для системи змішування обрано горизонтальний лопатевий змішувач.

Досліджено процес змішування за допомогою різкої конфігурації лопатевого змішувача для виявлення мертвих зон, а саме використання двох лопатей та п'яти лопатей. Результати показали, що під час змішування твердої зернової сировини ділянки біля кутів, країв або нижньої частини змішувача особливо вразливі. У процесі змішування за допомогою дволопатевого змішувача утворюється більше мертвих зон, ніж при застосування п'ятилопатевого змішувача.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Горбань			Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гончаренко						6	1
							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
Н. Контр.		Омельченко							
Затверд.		Цвіркун							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ СИРОВИНИ

1.1 Методи змішування харчової сировини

Змішування є важливою операцією в багатьох галузях промислової діяльності, зокрема харчова промисловість. Метою цієї операції є отримання проміжних або готових продуктів із максимально однорідним розподілом різних складових. Оскільки фінальна суміш буде розподілена на кілька одиниць, які повинні містити приблизно однакову кількість допоміжних речовин і активних компонентів, якість отриманої суміші безпосередньо впливатиме на якість готового продукту. Харчова промисловість здійснюючи операцію змішування твердих речовин, прагне отримати харчові речовини, пропорції кожного із компонентів у яких максимально наближені до складу загальної партії сировини.

Машини для змішування кормів використовуються на заводах для змішування інгредієнтів корму. Процедури подрібнення, змішування, гранулювання та сушіння є частиною процесу виробництва кормів для тварин. Серед різних типів обладнання, необхідного для виробництва різних видів кормів є подрібнювачі, млини, міксери, елеватори та конвеєри, екструдери. Зокрема, процес змішування є критично важливим, оскільки саме в цьому процесі два або більше компонентів з яких складається корм, чергуються в просторі один з одним, щоб створити однорідну суміш [1-3, 16]. Змішувач повинен рівномірно об'єднувати частинки різного розміру, вологості та об'ємної щільності у фракцію. Надмірне змішування може бути так само шкідливе, як і недостатнє змішування для досягнення оптимальної однорідності, тому необхідно проводити випробування з різними пропорціями, щоб визначити ідеальний час змішування для кожного поєднання інгредієнтів. Для механічного переміщення частинок використовують шнекові механізми, ланцюги та барабани, що може призвести до зменшення розміру деяких частинок або бути як корисним так і шкідливим. На сировину у процесі змішування діє багато сил: сили гравітації, відцентрові сили, сили тертя, сили взаємного притягання або відштовхування частинок.

Вибір змішувача для операції змішування залежить від однорідності суміші, а також від кількох інших факторів. Стрічкові змішувачі вважаються придатними для змішування як сипких матеріалів, що вільно сиплюються так і сухих порошків. Стрічковий міксер може справлятися зі змішуванням часток різного розміру та забезпечувати підвищену однорідність при змішуванні сировини завдяки високому зрізовому тиску у міксері. Що стосується якості суміші та навантажень, що діють на частки, ефективність міксера може

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Горбань				Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини	Літ.	Арк.
Перевір.	Гончаренко						
Н. Контр.	Омельченко					7	15
Затверд.	Цвіркун					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	

залежати від його заповнення та швидкості обертання робочого органу. Висока швидкість обертання робочого органу негативно впливає на однорідність суміші, а низька швидкість зменшить зрізовий тиск на частки, але може призвести до поганої однорідності зв'язних сумішей. Для досягнення однорідного змішування оптимальною є швидкість обертання валу в межах 50–70 об/хв.

На сьогоднішній день характеристики суміші твердих речовин залишаються складними у порівнянні із сумішшю рідин, що пов'язано зі складністю взаємодій між фізико-хімічними властивостями частинок (щільність, розмір, морфологія, форма, електростатичний заряд, домішки), геометричними характеристиками змішувачів та операційними параметрами змішування. Метою операції змішування є досягнення максимально однорідного розподілу частинок. У разі рідин змішування двох або більше фаз вимагає переміщення цих фаз відносно одна одної, щоб кожна молекула втратила пам'ять про своє початкове оточення. Можна виділити три базові механізми: молекулярна дифузія, конвекція та зріз на вищих масштабах, щоб змішати декілька гранулярних фаз, також необхідно переміщувати зерна відносно один одного за допомогою цих самих трьох механізмів [3, 12]:

1. Дифузійне змішування – це індивідуальне переміщення частинок у випадкових напрямках, що призводить до їх взаємного розташування, що веде до перестановок на рівні декількох частинок. На відміну від дифузії рідин, яка виникає природним чином через градієнт концентрації, дифузія твердих тіл потребує надходження енергії, що забезпечує рух, зіткнення між зернами та розсіювання частинок.

2. Змішування конвекцією – це переміщення частинок блоками, що найчастіше вимагає втручання зовнішньої сили (наприклад, лопаті для перемішування), щоб забезпечити достатню енергію системі, що призводить до перерозподілу на рівні апарату. Цей механізм сам по собі дозволяє тільки однорідність у великому масштабі.

3. Змішування зсувом – це переміщення частинок шарами. З'являються площини переміщення частинок у суміші. Рух частинок вважається своєрідною «конвекцією на поверхні» цей механізм потребує проміжної енергії порівняно з іншими двома.

Зазвичай механізми змішування за допомогою конвекції та зсуву дозволяють швидко досягти хорошого рівня змішування на макроскопічному рівні, тоді як механізм дисперсії (дифузії) дозволяє змішувати на менших масштабах. Перевага одного або іншого з цих механізмів визначається типом використовуваного змішувача, а також природою частинок.

Операція змішування подрібнених твердих речовин завжди супроводжується конкурентним процесом розділення, який називається сегрегацією. Цей процес зазвичай приводить до просторового розподілу різних видів частинок, що не є однорідним. У випадку рідин сегрегація зумовлена елементами рідин з різними концентраціями, але зникає, коли досягається однорідний розподіл [12, 16]. Натомість у випадку змішування подрібнених твердих речовин причини сегрегації численні і в основному пов'язані з

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відмінностями фізичних властивостей продуктів, таких як розмірні відмінності, різниця щільності, форми або коефіцієнта тертя видів у суміші. Інші вторинні фактори також можуть викликати сегрегацію: вологість, електростатичні заряди, ефекти поверхні. Серед усіх цих факторів розмір частинок є найважливішою змінною у визначенні характеристик суміші в потоці. Різниця у розмірах твердих частинок суттєвий вплив на якість суміші та збільшення різниці як у розмірах так і в густині, спричиняє посилення схильності до сегрегації.

Будь-яка відмінність характеристик сировини у суміші може полегшувати їх сегрегацію, бо цей ефект може варіюватися залежно від способу змішування. Змішування та розшарування є двома супутніми діями, які є крайнощами одного й того самого явища, динамічною рівновагою. Найчастішими причинними факторами на рівні частинок є: відмінності у розмірі частинок, відмінності у відносній щільності, якщо вони поєднані з відмінностями у розмірі, форми частинок, поверхні частинок та ефекти поверхні у випадку впорядкованих сумішей [2, 12]. Механізми розшарування – сегрегація за траєкторією в залежності від діаметра та щільності частинки утворену великими частинками, сегрегація за щільністю, бо під впливом вібрацій великі частинки піднімаються на поверхню.

Випадкові суміші, якщо здійснити випадковий розподіл частинок, отримуємо випадкову суміш, коли ймовірність знайти частинку одного з компонентів однакова в будь-якій точці суміші і це для заданого розміру зразків, що уможливорюється лише для двох однакових зерен: сферичні, одномірні частинки, однакової щільності та які не взаємодіють ні між собою, ні зі стінками змішувача [1-3, 12]. Статистичний аналіз оцінює якість суміші шляхом обчислення стандартного відхилення пропорції меншого компоненту. Упорядковані суміші уможливають наявність взаємодій між частинками, що сприяють кінцевій якості суміші. Дрібні частинки адсорбуються на більших частинках-хазяїнах. При повному змішуванні досягається найвища однорідність. Фундаментальна різниця між цими типами сумішей полягає в природі сил, що утримують частинки на їхньому місці після проведення операції змішування.

Існує широкий спектр змішувачів для змішування компонентів з вибором яких зазвичай визначає фаза або фази, в яких перебувають компоненти, такі як тверді, рідкі або газоподібні. Барабанні змішувачі, горизонтальні лоткові змішувачі, вертикальні гвинтові змішувачі. Вони дуже швидкі та ефективні, особливо для змішування невеликих кількостей добавок у великі маси матеріалу [16]. Так, система періодичного змішування є періодичним процесом, оскільки вона залежить від комбінування компонентів у окремих партіях. Вона складається з трьох фаз, які повинні бути виконані у певному порядку. Компоненти повинні бути зважені перед потраплянням у змішувач. Другий крок передбачає перемішування їх у змішувачі деякий час до рівномірного розподілу. Матеріал із змішувача вивантажується на третьому етапі. У малих та середніх партіях цей вид змішування надається перевага.

Система безперервного змішування, заснована на безперервній подачі

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компонентів для змішування до змішувача на початковому кінці подачі. Коли компоненти переміщуються від початкового кінця до кінцевого виходу, де вони постійно вивільняються вони змішуються. Це ставить відповідні до систем подачі, оскільки вони повинні безперервно подавати точну кількість інгредієнтів до змішувача. Керування такою системою є складнішим, але більш продуктивною. В результаті ця технологія використовується в процесах, які потребують високої продуктивності. Деякі переваги включають короткий час перебування в безперервних міксерах та можливість автоматизації.

1.2 Обладнання для змішування сировини

Обладнання для змішування – це складний, спеціалізований інструмент, призначений для змішування, емульгації, уніфікації та інтеграції різноманітних інгредієнтів, які мають вирішальне значення для виробничих процесів. Змішування відіграє важливу роль у створенні комерційних і промислових товарів, зокрема продуктів харчування. Змішування має бути точно контрольоване, особливо при роботі з несумісними або різними хімічними речовинами та матеріалами [4-6, 9]. Продуктивність змішувального обладнання оцінюється його здатністю надійно відтворювати процес змішування при забезпеченні однорідності. Складність виникає через різноманітні властивості змішаних матеріалів, що вимагає обережного поводження. Правильне змішування починається з комплексного аналізу матеріалів для забезпечення відповідного процесу. Як і в інших промислових завданнях, змішування часто вимагає обладнання, адаптованого до унікальних потреб і обставин виробничого процесу. Змішування передбачає поєднання інгредієнтів, які можуть повернутися до початкового стану, що є важливим при виборі обладнання, оскільки більшість застосувань спрямовані на створення нової однорідної речовини, зазвичай досягнутої шляхом змішування.

Вибір відповідного змішувача починається з оцінки матеріалів для змішування, які відрізняються залежно від галузі. Зазвичай до них належать рідини, емульсії, суспензії, пасти, тверді речовини з рідинами, а також порошки або гранули. Розуміння їхньої консистенції, властивостей і характеристик допомагає обрати відповідний змішувач відповідно до потреб кожного застосування. Такі фактори, як форма матеріалу, щільність, розмір і статичний заряд, визначають їхню взаємодію та впливають на процес змішування. Кожен із цих компонентів є критично важливим для вибору найкращого змішувача для оптимальної продуктивності міксування [1, 13]:

- форма – матеріали бувають різних форм, включаючи трикутники, продовжені і всі вони мають опір у процесі змішування (змішувач повинен змінювати фізичну форму частинок, щоб досягти ідеального змішування);

- щільність суттєво впливає на потік частинок, бо частинки з подібною щільністю плавно переходять і легко змішуються;

- розмір – частинки різного розміру можуть призводити до того, що менші частинки осідають у проміжках між більшими (перед змішуванням більші частинки потребують підготовки, щоб забезпечити правильне

					ННІЕТ КНУ.133.ЗГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

змішування);

– статичний шум – тертя, що утворюється під час змішування, змушує частинки поводитися хаотично і створювати статичний шум, який нейтралізується статичними заглушувачами, що розсіюють електричний заряд.

Процес змішування складається з кількох етапів: завантаження, змішування, пакування та очищення. Щоб точно оцінити ефективність змішувача, важливо визначити точний час, необхідний для кожного ступеня. Кожен змішувач має стандартний середній час змішування, враховуючи час, необхідний для завантаження та пакування, разом із фактичним змішуванням. Повний цикл, від початку до завершення, може бути довшим, ніж просто етап змішування [4-6]. Змішувачі з кількома рухомими компонентами можуть призвести до зміщення продукту та прилипання до підшипників та лопаток, що призводить до значних втрат продукту та становить ризик забруднення. Прикріплення продукту до цих поверхонь може спричинити проблеми із забрудненням, що підкреслює необхідність вирішення цих проблем при проектуванні та обслуговуванні міксерів. Тому важливо враховувати повний час, необхідний для сушіння та очищення деталей міксерів. Розбирання та повторне збирання цих деталей займають багато часу і потребують ретельного роздуму. При виборі відповідного змішувача надзвичайно важливі ефективні виробничі процеси та простота обслуговування.

Швидкість наконечника – це відстань на яку імпелер проходить протягом певного періоду. У міксерах, що працюють із сухими матеріалами, швидкість наконечника суттєво впливає на час циклу. Вищі швидкості насадок дають коротші цикли, наприклад, низькошвидкісні змішувачі, такі як стрічкові мають швидкість наконечника близько 1,4 метра на секунду, середньошвидкісні системи, такі як горизонтальні змішувачі мають від 6 до 10 метрів на секунду, тоді як високошвидкісні змішувачі, включаючи вертикальні високошвидкісні досягають швидкості від 28 до 40 м/с [4-7]. Перевищення певного порогу швидкості призводить до флюїдизації, де сухі матеріали імітують поведінку рідини, покращуючи процес змішування, подібно до покращення при використанні кухонного комбайна поверх ручного перемішування. Вертикальні та горизонтальні високошвидкісні змішувачі сприяють флюїдизованому змішенню порівняно зі стрічковими.

Вибір промислового змішувального обладнання залежить насамперед від його призначення та фізичних властивостей матеріалів, які потрібно змішувати. У промисловій інженерії вони є необхідними для змішування рідин, газів, гранул, порошків тощо. Ринок промислових змішувачів пропонує різноманітне обладнання, яке розроблене для роботи з матеріалами різним рівнем в'язкості, щільності та реакції включно з тими, що створюють труднощі зі змішуванням, такими як високов'язкі суспензії та незмішувані сполуки. Змішувача поділяються на три основні категорії: дифузійні, зсувні та конвекційні. Кожен тип має унікальну конструкцію, конструктивні особливості мішалок або імелерів, швидкість змішування та робочі функції. Розуміння цих категорій промислових змішувачів є ключовим для вибору відповідного обладнання з точки зору ефективності процесу, масштабованості та якості продукції.

					ННІЕТ КНУ.133.ЗГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Існує безліч змішувачів але найпоширенішими в промисловості є [5, 14]:

- змішування безперервним потоком;
- змішувачі з системою лопатевих мішалок;
- змішувачі з подвійною гвинтовою спіраллю;
- змішувачі з мішалкою типу турбіни.

Загалом змішувачі класифікуються наступним чином:

- горизонтальні змішувачі;
- вертикальні змішувачі.

Горизонтальні змішувачі з лопатями використовуються у виробництві збалансованих кормів. Їхній дизайн дозволяє здійснювати ефективні процеси змішування у застосуваннях, де потрібен рівномірний розподіл твердих компонентів. Цей тип обладнання складається з горизонтально розташованого резервуара, зазвичай з поперечним перерізом у формі «U» у внутрішній частині якого розташовується центральний вал до якого кріпляться лопаті для змішування. Під час роботи вал передає рух лопатям, створюючи необхідне перемішування для переміщення та безперервного перерозподілу матеріалу всередині резервуара [5, 14]. Передача потужності на вал може здійснюватися безпосередньо або через механічні системи, такі як ремені або ланцюги, які дозволяють адаптувати умови роботи обладнання. Привідна установка зазвичай включає редуктор, функція якого полягає у забезпеченні належного та постійного режиму обертання, що сприяє підвищенню ефективності процесу змішування та отриманню кінцевого продукту, що відповідає встановленим вимогам якості.

Горизонтальний стрічковий спіральний змішувач використовує систему перемішування, яка заснована на спіральних елементах, розроблених для здійснення переміщення та безперервного перерозподілу інгредієнтів по всій довжині контейнера (рис. 1.1). Цей тип обладнання широко використовується в процесах, де потрібна висока однорідність кінцевого продукту [5, 20]. Принцип його роботи базується на спільній дії двох гвинтових стрічок, які розташовані на спільній осі, які обертаються у протилежних напрямках і створюють потоки матеріалу як по осі так і радіальні. Комбіноване рух спричиняє постійну взаємодію між частинками, сприяючи їх поступовому змішуванню всередині об'єму обладнання до досягнення однорідного розподілу компонентів.



Рисунок 1.1 – Горизонтальний змішувач зі спіралеподібними стрічками



Рисунок 1.2 – Вертикальна змішувальна машина

Вертикальні змішувачі використовуються здебільшого у процесах змішування сухих інгредієнтів з великою насипною щільністю, де пріоритет надається використанню простору на виробничій площі (рис. 1.2). Через свою конструктивну конфігурацію обладнання потребують більшого розвитку у висоту, хоча займають меншу горизонтальну площу порівняно з горизонтальними змішувачами. З точки зору дизайну, розрізняють головним чином дві конфігурації вертикальних змішувачів [5, 20]:

- перша відповідає обладнанню з нерухомою бункерною воронкою на рівні землі, що полегшує операції завантаження сировини, дозволяючи прямий вхід інгредієнтів без необхідності додаткових підйомних систем;
- друге налаштування складається зі змішувачів з поворотним бункером, чия ємність обертається навколо власної осі, залишаючи відкритим отвір для завантаження, який зазвичай здійснюється за допомогою шнека.

Вертикальні змішувачі призначені для змішування матеріалів з високою щільністю та сухих зерен, вони займають половину простору горизонтальної машини але їхня висота потребує значно більше місця. На ринку існують два основних типи вертикальних змішувачів. Вони виготовляються з бункером до підлоги та з поворотним бункером. Конструкція змішувачів з бункером до підлоги дозволяє легше завантажувати інгредієнти в машину, оскільки завантажувальний бункер розташований на рівні підлоги [6, 9, 14]. Змішувачі з поворотним бункером мають конструкцію, яка обертається навколо своєї осі та відкриває завантажувальний отвір, через який матеріал подається за допомогою гвинтового шнека. Обидва типи змішувачів завдяки своїй вертикальній конструкції дозволяють досягти більш глибокого очищення, уникаючи залишків від попередніх процесів, оскільки розвантаження розташоване в центрі днища машини, а суміш виходить під дією сили тяжіння. Обидва змішувачі мають переваги з точки зору очищення та гігієни, оскільки їхня конструкція сприяє видаленню відходів, що залишилися після попередніх процесів. Вивантаження матеріалу зазвичай здійснюється через отвір, розташований у центральній нижній частині обладнання, що дозволяє готовому продукту евакуюватися за рахунок дії гравітації, що сприяє підтриманню безпечних та нешкідливих умов під час експлуатації.

У змішувальній машині, коли присутнє суспендування досить густих твердих речовин у легких рідинах або в рідких або нещільних сумішах, змішувач з лопатями відносно неефективний. Через розташування лопатей продукт переміщується в одному напрямку, що призводить до того, що одна сторона ємності зазнає більшого тиску, ніж інша, через осьове зусилля, що виникає. У мішалці з лопатями вони піднімають і переміщують інгредієнти для здійснення змішування, що робить мішалку з лопатями найкращим варіантом, коли йдеться про крихкі інгредієнти [5-7]. Горизонтальний змішувач зі спіралеподібними стрічками мають різні комбінації стрічок для переміщення інгредієнтів. Зазвичай вони складаються з пари стрічок, розташованих для обертання у протилежні боки: внутрішня стрічка та зовнішня створюють протитік усередині ємності, досягаючи повністю однорідного змішування. Горизонтальний змішувач зі спіралеподібними стрічками створюють зріз, тому

					ННІЕТ КНУ.133.ЗГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

вони не підходять для кришталевидних продуктів, але підходять для рідин, твердих речовин, борошна та інших складових. Комбіновані змішувачі складаються з поєднання стрічок і лопатей, які розташовані на приводному валу, конструкція цього змішувача орієнтована на змішування делікатних продуктів. Принцип роботи схожий на роботу лопатевого змішувача з тією різницею, що завдяки зовнішнім лопатям і внутрішній спіральній стрічці виникає менше тертя між інгредієнтами для змішування, а отже, виробляється менше теплової енергії.

Метод безперервного змішування призначений для невеликих виробництв в промисловості, бо дозволяє мати процес змішування, у якому машина для змішування безперервно отримує живлення поки невеликі порції вже гомогенізованої суміші продовжують вивантажуватися, крім того, цей метод дозволяє вносити зміни в інгредієнти або формулювання суміші, щоб отримати кінцевий продукт з різними рівнями інгредієнтів відповідно до потреби [5-7]. При періодичному змішуванні використовують певні кількості інгредієнтів у визначених пропорціях відповідно до вантажопідйомності мішалки протягом визначених проміжків часу, ці часи змішування залежать від типу інгредієнтів та необхідного рівня гомогенізації, після чого суміш вивантажують із резервуару. Цей процес змішування використовується в промисловості, коли склад кожного інгредієнта залишається постійним у кожній партії.

V-подібні змішувачі – це тип дифузійних міксерів, які використовують обертальний рух для змішування об'ємних матеріалів. Перетворюючи партію, ці змішувачі також включають повітря, що сприяє рівномірному розподілу без використання імпелерів чи внутрішніх рухомих частин [4, 9, 13]. Застосовується для змішування вільно текучих твердих речовин, порошків, крихких зернистих інгредієнтів. У певних застосуваннях вони також можуть обробляти деякі рідкі або тверді суміші. Обертний барабан забезпечує повторні та обережні цикли змішування, які запобігають руйнуванню продукту. Конфігурації міксера включають восьмикутні, конічні, двоконічні та V-подібні блендери – кожен підходить для різних розмірів партій і цілей змішування, таких як забезпечення рівномірного розподілу частинок у процесі обробки.

Змішувачі з високим зсувом також відомі як роторно-статорні змішувачі, спеціально розроблені для інтенсивних промислових процесів, що включають швидку емульгацію, гомогенізацію, зменшення розміру частинок і дисперсію як твердої так і рідкої фаз (рис. 1.3). Промислові змішувачі використовують високошвидкісні лопаті або ротори для створення значних зсувних сил, розщеплення і забезпечення тонкої дисперсії або емульсії. Технологія змішування з високим зсувом є необхідною при змішуванні незмішуваних рідин (наприклад, олії та води) або при розсіванні твердих речовин у рідині з високою в'язкістю або високою щільністю, де стандартні лопаткові або стрічкові змішувачі можуть не працювати [4, 15]. Дисперсійні лопаті фрагментують і підвішують частинки у рідкому середовищі, покращуючи консистенцію та стабільність продукту. Регульовані швидкості та модульна конфігурація ротора і статора дозволяють операторам налаштовувати

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

швидкість зсуву для відтворюваності пакетної партії та підвищення пропускної здатності. Змішувачі з високим зсувом можуть поєднувати складні матеріали, які не піддаються змішуваності, наприклад, емульгування олії та води або диспергування пігментів і дрібних порошків.



Рисунок 1.3 – Змішувач з високим зсувом

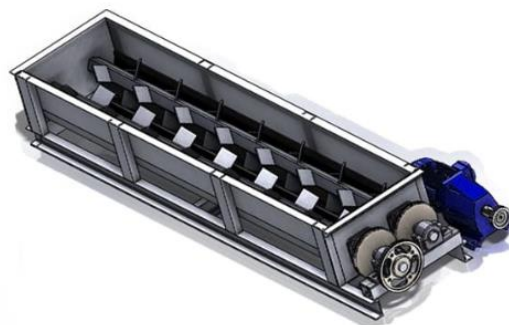


Рисунок 1.4 – Лопатевий змішувач

Високошвидкісні змішувачі спеціалізовані на промислових процесах, що потребують швидкої дисперсії, грануляції, зволоження або охолодження інгредієнтів. Зі швидкістю обертання значно вищими за стандартні змішувачі вони чудово працюють у роботах, де критично важливі короткі терміни обробки або висока пропускна здатність [13, 21]. Високошвидкісні змішувачі доступні як компактні настільні установки або як виробничі великої ємності для безперервної або пакетної обробки у секторах, таких як харчова промисловість. Типові застосування включають швидке змішування сировини, а також забезпечення ефективного теплообміну під час циклу змішування. Розроблені для надійної продуктивності, високошвидкісні змішувачі є необхідним обладнанням для великих виробників, які прагнуть стабільності та масштабованості на своїх виробничих лініях.

Стрічковий змішувач має спеціалізовані спіральні стрічкові лопаті, які простягаються вздовж міксера. Подвійні та зовнішні стрічки забезпечують протилежні потоки: зовнішні стрічки тягнуть матеріал від стінок резервуара до центру, а внутрішні – від центру назовні. Подвійне конвективне змішування дає дуже однорідні суміші, особливо для сухих порошків, гранул, спецій та деяких пастоподібних матеріалів/ Стрічкові блендери швидко та ретельно змішують, зазвичай завершуючи партію менш ніж за 20 хвилин зі швидкістю кінчика 1,4 метра на секунду. Незважаючи на ефективність, їхнє м'яке перемішування захищає крихкі інгредієнти. Хоча стрічкові блендери забезпечують відмінну якість і масштабованість, вони можуть бути дорожчими і потребувати більшого обслуговування порівняно з педальними міксерами, особливо для абразивних або липких матеріалів [4-7]. Лопаткові змішувачі використовують накладені лопаті для м'якого зачерпування, підняття та перекидання різних матеріалів у змішувальній камері, що робить їх ідеальним вибором для змішування інгредієнтів різного розміру, щільності та в'язкості частинок таких як салатні суміші та крихкі тверді речовини, такі як горіхи (рис. 1.4). Змішування з низьким ударом мінімізує руйнування матеріалу, зберігаючи форму та цілісність чутливих компонентів. Унікальний тривимірний рух у формі вісімки,

забезпечує повну циркуляцію партій і інтенсивне мікрозмішування. Двовалові конфігурації додатково прискорюють заміси, складання та однорідний розподіл сполук.

Змішувачі з агітатором – це механічні пристрої, які розроблені для змішування або перемішування рідин під час промислових пакетних або безперервних операцій змішування. Зазвичай використовуються у виробництві рідких харчових продуктів чи напоїв, мішалки використовують центральний обертовий вал і робоче колесо для індукції турбулентного потоку та передачі маси. Типові застосування змішувачів включають тверду суспензію, розчинення газів у рідині, змішування і незмішуваних рідин (шляхом розсіювання крапель) та передачу тепла [4-7]. Мішалки класифікують за конфігурацією імпелера: осьовим або радіальним потоком, визначеним кутом лопатей і напрямком потоку. Змішувачі добре підходять для матеріалів середньої та високої в'язкості, хоча для рідкісних або зсувних рідин можуть знадобитися вони з високим зсувом. Вибір змішувача з мішалкою повинен враховувати розмір ємності, бажану швидкість обертання, в'язкість, вхідну потужність і цілі ефективності. Правильний розмір і позиціонування імпелера є ключовими для промислових систем змішування.

Осьові мішалки мають лопаті імпелерів, нахилені менше ніж на 90 градусів до площини обертання, що забезпечує потік матеріалу паралельно валу імпелера та забезпечує ефективне змішування зверху вниз. Вони цінні для суцільної підвіски та рівномірного змішування об'єму. Імпелери радіального потоку мають лопаті, які відпускають потік, перпендикулярний осі імпелера, створюючи високий зсув біля стінок бака, що підходить для дисперсій газ-рідина, емульгування та теплопередачі. Роторні змішувачі (включно з роторно-статорними та високошвидкісними блендерами) використовують обертові лопаті біля основи контейнера для створення вихорової дії для змішування, емульгації та зменшення розміру. Знімні насадки підходять для різних розмірів партій або матеріалів, що забезпечує гнучкість для змішування у пілотному або виробничому масштабі.

Статичні змішувачі мають фіксований елемент змішування, наприклад, скручену стрічку або спіральну перегородку, всередині стаціонарної трубки. Ці вбудовані промислові змішувачі не мають рухомих частин і призначені для безперервного змішування та гомогенізації потоків рідин або газу під час їх протікання через пристрій. Статичний змішувач порушує ламінарний потік, створюючи турбулентність для змішування компонентів і досягнення однорідності без механічного перемішування [4, 13-15]. Емульгаторні змішувачі розроблені для регулярного змішування незмішуваних рідин, таких як олія та вода, що часто є важливим у косметичних, фармацевтичних та харчових застосуваннях. Машини створюють емульсії олії у воді або воді в олії з використанням високого зсуву, вакууму та контрольованого тиску, що є життєво важливим для отримання кремових і стабільних продуктів, а також заправки для салатів (рис. 1.5).

Дисперсерний міксер забезпечує локалізовану високошвидкісну енергію для розщеплення, розчинення та рівномірного розподілу твердих речовин у

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

порошках або рідинах. Промислові дисперсери використовують дископодібні лопаті або зубчасті імпелери, що обертаються з високою швидкістю для створення інтенсивного зсуву для змішування колоїдів і підвісок (рис. 1.6). Дисперсери використовуються у харчовому виробництві для розчинення порошків або попередніх сумішей [4-5]. Вони особливо ефективні для зволоження, деагломерації частинок та включення нерозчинних інгредієнтів, які потребують додаткової сили для стабільного змішування. Правильний вибір дисперсера є життєво важливим для оптимізації зниження в'язкості, розвитку кольору та стабільності кінцевого продукту.



Рисунок 1.5 – Змішувач емульгатора



Рисунок 1.6 – Дисперсерний змішувач

Гомогенізаторні змішувачі застосовують інтенсивну силу, тиск і турбулентність для повного інтегрування сумішей рідина-рідина, газ-рідина або твердо-рідина на мікроскопічному рівні, що забезпечує рівномірне розподілення всіх компонентів суміші усуваючи грудки та шарування. Міксери є незамінними у харчових технологіях, молочній промисловості, де текстура, стабільність продукту та термін зберігання є критично важливими.

Міксери періодичної дії – це гнучкі та ефективні промислові змішувальні системи, здатні обробляти дискретні обсяги сировини. Завдяки циліндричній або горизонтальній конструкції з двома валами вони дозволяють точно дозувати, змішувати та контролювати якість кожної партії. Міксери періодичної дії включають стрічкові блендери, планетарні міксери. Партії часто передають на зберігання або на безперервні виробничі лінії для подальшого змішування або пакування [4-7]. Барабанні змішувачі використовують обертові барабани з внутрішньою частиною лопатей або лопатями, які перекочуються і поєднують інгредієнти. Оскільки моделі доступні у портативних, стаціонарних та великих об'ємних конструкціях, барабанні змішувачі ідеально підходять для змішування суспензій. Вони забезпечують модульність, контроль дозування та щільний корпус мінімізуючи забруднення та підтримуючи галузі з суворими вимогами до якості.

Безперервні змішувачі розроблені для безперервних виробничих середовищ, забезпечуючи стабільний приплив матеріалу, змішування та скидання сировини. Завдяки автоматизованим подавачам і гвинтовим конвеєрам ці системи відзначаються у великомасштабному виробництві,

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

такому як виробництво бетону, обробка мінералів і операції з екструзії харчових продуктів. Вони ідеально підходять для застосувань, де потрібні стабільні співвідношення змішення та висока пропускна здатність. Безперервні змішувачі стабілізують параметри процесу за допомогою сталого потоку, забезпечуючи відтворювані якості продукту та мінімізуючи робочу силу. Багато виробників використовують безперервні системи для гомогенізації матеріалів з кількох ліній партій, що дозволяє збільшувати обсяги продукції та підвищувати операційну ефективність.

Змішувачі тіста є критично важливими машинами для змішування в комерційній пекарській та харчовій промисловості, які займаються комбінуванням, замішуванням тіста (рис.1.7). Оснащені потужними двигунами з регульованою швидкістю та спеціалізованими насадками, вони обробляють великі об'єми тіста вагою понад 240 кг (530 фунтів) для промислового хліба, кондитерських виробів, піци, обгортки від пельменів і локшини [4, 13]. Планетарні та спіральні міксери – це два основних типи, кожен із яких має різні дії змішування та переваги для тіста з високим вмістом глютену або спеціалізованих тіста. Спіральні змішувачі оснащені окремими двигунами для обертання змішувального важеля та чаші, що усуває шестерні та забезпечує безшумну, ефективну роботу. Спіральні міксери зволожують і замішують тісто для хліба з коефіцієнтом всмоктування до 90% (рис. 1.8). Їхнє двонаправлене змішування та варіанти змінного розміру забезпечують гнучкість для ремісничих пекарень до промислових операцій.



Рисунок 1.7 – Планетарний міксер



Рисунок 1.8 – Спіральний міксер

Поведінка інгредієнтів під час процесу змішування безпосередньо залежить від їх фізичних та хімічних характеристик, що може призвести до дефіцитів у однорідності кінцевого продукту. Такі варіації викликають небажані явища, такі як неповне змішування або сегрегація компонентів, що впливає на якість збалансованого корму. Однією з основних причин проблем при змішуванні збалансованих кормів є неоднорідність інгредієнтів, що входять до складу формули. Відмінності у геометрії розмірів, щільності частинок ускладнюють отримання рівномірного розподілу, оскільки кожний компонент реагує по-різному на сили, що виникають під час процесу. З цієї причини надзвичайно важливо належним чином контролювати умови змішування, щоб зменшити варіабельність між інгредієнтами та сприяти більш однорідному

процесу. Серед основних фізичних властивостей інгредієнтів, які значною мірою впливають на процес змішування, можна виділити наступні [5, 15]:

- розмір частинки;
- форма частинки;
- щільність або питома вага;
- здатність поглинати вологу (гігроскопічність);
- схильність до утворення електростатичних зарядів;
- схильність до зчеплення між частинками.

В'язкість рідини вимірює її опір потоку та змішування, що визначається рухом молекул одна повз одну. Зі зростанням в'язкості потік матеріалу стає більш ламінарним. Конструкції змішувачів повинні забезпечити достатнє перемішування та рівномірне змішування. Для матеріалів з високою в'язкістю критично важливими є крутний момент і тип змішувальних лопатей або імпелерів. Ефективність змішування визначається крутним моментом, який визначається діленням кінських сил на оберти за хвилину. Оскільки сама потужність не є показником ефективності, застосування з високою в'язкістю часто вимагають більшого крутного моменту або нижчих обертів, що вимагає потужніших приводних систем, більших змішувачів. Спеціалізовані імпелери є необхідними для ефективного контролю та переміщення в'язких рідин. В'язкі рідини часто мають псевдопластичні властивості на відміну від ламінарних. Ламінарні рідини мають високу дифузію імпульсу та низьку конвекцію, що типово для менш поширених ситуацій [6]. Псевдопластичні рідини розріджуються через зсув з часом розріджуються при зсуві, як кетчуп стає більш рідким після струшування, але залишається густим нормально. Для успішного змішування з високою в'язкістю найефективнішими є змішувачі з коробками передач, які знижують оберти та підвищують крутний момент. Достатній діаметр валу змішувача необхідний для розміщення більших імпелерів з великими лопатями та агресивним кутом для покращення контакту з поверхнею.

Конструкція обладнання, властивості інгредієнтів та системи контролю процесу і управління можуть впливати на процес змішування. Конвекція, дифузія та зріз є трьома механічними силами, що працюють під час процесу змішування). Направлена сила, яка створюється стрічкою або лопаттю на обертовому валу, переміщує частинки по всьому міксеру під час конвекційного процесу. У другому процесі частинки дифундують з області високої щільності в область низької щільності всередині міксера. Сила зсуву компонентних частинок, стрічок, лопатей і вала розділяє злиплі кластери частинок. Після цього частинки можуть бути розподілені по всьому міксеру. Сухі та рідкі компоненти зазвичай містяться у кормі. Сухі матеріали поглинають рідину в частинки, які потім розподіляються по суміші так само, як і інші сухі інгредієнти. Фактори, що впливають на ефективність змішувачів [16]:

Властивості інгредієнтів. Розмір частинок, форма частинок, щільність, гігроскопічність, статичний заряд та адгезивність є факторами, які можуть впливати на однорідність суміші. Коли розміри частинок двох компонентів сильно відрізняються, вони розділяються. Кількість частинок на грам також

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

залежить від розміру частинок. Коли об'єм або вага частинок залишається постійною, збільшення розміру частинок зменшує кількість частинок. Розсіювання частинок у суміші покращується зі збільшенням кількості частинок. Крім того, частинки компонентів можуть мати різні форми, включаючи куби, тетраедри та сфери. Під час змішування та переміщення частинок інгредієнтів значні відмінності у формі можуть спричинити сегрегацію. Розмір партії змішувача також залежить від щільності інгредієнтів. Переповнення змішувача понад його допустиму ємність призводить до мертвих зон та неефективної роботи.

Геометрія міксера. Горизонтальні міксери, вертикальні міксери та барабанні міксери мають різні схеми змішування. Горизонтальний міксер є найпоширенішим міксером, який використовується в комерційних кормових комбінатах і горизонтально інтегрованих змішувачах кормів, тоді як вертикальний міксер найчастіше використовується на фермерських млинах та малих кормових млинах. Конструкції горизонтальних міксерів постійно розвиваються для підвищення місткості міксера та однорідності суміші. За правильного часу змішування будь-який тип міксера може рівномірно розподіляти інгредієнти.

Рівень заповнення змішувача. Щоб досягти однорідного змішування матеріалів, міксер в основному використовує конвекційне змішування, дифузійне змішування та зсувне змішування для переміщення матеріалу в машині. Незалежно від типу міксера, для його правильної роботи та досягнення бажаних результатів необхідна правильна кількість завантаження. Якщо завантаження перевищене, міксер буде перевантажений. Більш важливо те, що надмірне завантаження порушить циклічний рух матеріалів у машині, знижуючи якість змішування.

Операційна швидкість. Конвеєри для переміщення важких матеріалів зазвичай працюють зі швидкістю близько 50 об/хв і вони призначені для переміщення легких вантажів зі швидкістю до 150 об/хв. Через їх здатність забезпечувати швидке конвективне змішування, стрічкові міксери часто використовуються на практиці. Швидкість обертання робочого колеса міксера є змінною, яка може впливати на продуктивність міксера з точки зору якості суміші та напруження частинок. З іншого боку, клейка суміш має обертальний рух навколо вала, а також конвективний рух у горизонтальному осьовому напрямку, що покращує змішування частинок [16]. У стрічковому змішувачі збільшення швидкості лопаті призводило до збільшення споживаної потужності. Порівняно з енергією, необхідною для досягнення того самого часу змішування при постійній швидкості обертання робочого колеса в стрічковому змішувачі, споживання енергії можна зменшити до 60%. При високій швидкості обертання робочого колеса гомогенність суміші ніколи не досягалася на високому рівні.

Швидкість обертання робочого колеса змішувача є характеристикою, яка може впливати на роботу змішувача з точки зору якості суміші та напруги частинок. У безперервному стрічковому змішувачі збільшення швидкості лопатей знижувало якість змішування. Споживання енергії стрічкових

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

змішувачів збільшувалось зі зростанням швидкості лопатей. Вважається, що висока швидкість обертання робочого колеса негативно впливає на однорідність суміші. Низькі швидкості можуть знижувати зсувні напруги на частинки, але також можуть призводити до поганої однорідності. Робота змішувача з точки зору якості суміші та напруги на частинки може залежати від двох факторів: рівня заповнення та швидкості обертання робочого колеса. Для досягнення однорідного змішування оптимальною є швидкість валу в межах 50–100 об/хв.

На основі вище зазначеного можна вважати, що змішування є важливою операцією в харчовій промисловості. Метою цієї операції є отримання проміжних або готових продуктів із максимально однорідним розподілом різних складових, а саме суміші. Суміш – це матеріальна система, утворена двома або більше речовинами, що не з'єднані хімічно. Кожен з її компонентів зберігає свою ідентичність та фізико-хімічні властивості. Компоненти суміші можуть бути твердими, рідкими або газоподібними. Оскільки фінальна суміш буде розподілена на кілька одиниць, які повинні містити приблизно однакову кількість допоміжних речовин і активних компонентів, якість отриманої суміші безпосередньо впливатиме на якість готового продукту.

Процедура змішування є критично важливою, оскільки саме цей процес забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу корму, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. Змішувач повинен рівномірно об'єднувати частинки різного розміру, вологості та об'ємної щільності у фракцію. Надмірне змішування може бути так само шкідливе, як і недостатнє змішування для досягнення оптимальної однорідності, тому необхідно проводити випробування з різними пропорціями, щоб визначити ідеальний час змішування для кожного поєднання інгредієнтів. На сировину у процесі змішування діє багато сил: сили гравітації, відцентрові сили, сили тертя, сили взаємного притягання або відштовхування частинок. Сили залежать від використовуваної речовини, її частинкового стану, типу змішувача та від умов проведення операції.

Зазвичай виділяють три великі типи механізмів:

- змішування дифузією, частинки рухаються випадковим чином, поодиночці, що є основною характеристикою змішувачів з рухомою ємністю;
- змішування конвекцією, групи частинок рухаються масово, а змішувачі з внутрішнім механізмом перемішування характеризують це явище;
- змішування зсувом, різні шари частинок ковзають один по одному – механізм сприятливий для змішування взаємозчепленої сировини.

Зазначено, що обладнання для змішування – це складний, спеціалізований інструмент, призначений для змішування, емульгації та інтеграції різноманітних інгредієнтів, які мають вирішальне значення для виробничих процесів. Змішування відіграє важливу роль у створенні комерційних і промислових товарів, зокрема продуктів харчування. Змішування має бути точно контрольоване, особливо при роботі з несумісними або різними хімічними речовинами та матеріалами. Здійснено огляд та аналіз обладнання для змішування харчової сировини.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ ДОЗУВАЛЬНО-ЗМІШУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОРМУ

2.1 Система для рідкої кормової суміші

Однорідність складу порції корму забезпечується ретельним змішуванням, що гарантує, що кожна тварина отримує правильну кількість кожного інгредієнта. Використовувані кормові рослини, рух змішування, час змішування, послідовність змішування та точність додавання кожного інгредієнта можуть впливати на здатність до змішування. Розмір частинок може сильно варіюватися, від грубих зерен і грубих кормів до рідин і дрібних хімічних частинок. Окремі кормові інгредієнти точно зважуються, послідовно змішуються [8, 10, 16]. Процедура змішування є критичною, оскільки саме цей процес забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу корму, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. Точне дозування сировини та правильне змішування є двома ключовими ланками при досягненні продукту з бажаними характеристиками. Процес дозування полягає у встановленні або регулюванні пропорції речовини, яка буде додаватися на кожному етапі процесу для отримання певної суміші. Суміш – це матеріальна система, утворена двома або більше речовинами, що не з'єднані хімічно. Кожен з її компонентів зберігає свою ідентичність та фізико-хімічні властивості. Компоненти суміші можуть бути твердими, рідкими або газоподібними.

Системи дозування. Дозатор є основним інструментом для виробничого процесу, а його основна функція полягає у заповненні або постачанні продукту у визначеній кількості протягом циклу часу. Дозатор – це обладнання, яке подає або постачає точну пропорцію будь-якої сировини з метою змішування його з іншими компонентами, що утворюють певну суміш. За допомогою різних систем дозування під час виробничого процесу вводяться тверді матеріали та рідини. Незважаючи на те, що застосування дозаторів може варіюватися від простої регуляції одного матеріалу до надзвичайно складних сумішей кількох інгредієнтів, що залучають кілька дозаторів та виробничих ліній вони обмежуються точністю окремих дозаторів [8, 10, 11]. Точність дозатора вимірюється відповідністю трьом різним статистичним показникам: повторюваність, лінійність та стабільність. Повторюваність вимірює постійність видачі дози дозатором. Лінійність оцінює точність з якою дозатор видає у бажаному співвідношенні, а стабільність вказує на відповідність дози протягом часу. Дозатори загалом складаються з три частини: бункер для зберігання, дозувальна система та насадка або розвантажувальна трубка.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Горбань				Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини	Лім.	Арк.
Перевір.	Гончаренко						
Н. Контр.	Омельченко					22	19
Затверд.	Цвіркун					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	

Бункер приймає продукт з виробничої лінії або за допомогою конвеєра, або шнековим транспортером або ручним способом. Основна функція бункера полягає в утриманні продукту всередині для його дозування. Дозувальна система є найважливішою частиною дозатора в цілому. Вона відповідає за визначення та вимірювання кількості продукту, який буде взято з бункера для переходу до наступного процесу, яким є змішування. Вимірювання можна здійснювати двома способами: за об'ємом або за вагою, залежно від характеристик продукту та необхідного рівня точності. Насадки або випускні трубки відповідають за те, щоб продукт, що виходить у дозованій кількості.

Об'ємні дозатори використовуються головним чином для дозування продуктів, однорідних за їх фізичними характеристиками, формою, розміром і вагою, таких як в'язкі рідини, порошки, деякі види зернових та зерен. У об'ємному дозаторі доза сировини визначається шляхом вимірювання об'єму матеріалу, який вивільняється поверхнею, що рухається з постійною швидкістю. Пристрої з відкритим циклом, бо дозатори не можуть виявляти або компенсувати зміни густини матеріалу [8, 10]. Обертний диск складається з основи, що обертається з постійною швидкістю на якій встановлений ніж з регульованим кутом, що відокремлює частину продукту, який виливається у резервуар для підготовки розчину, який може бути обладнаний мішалкою.

Гравіметричні дозатори контролюють потік матеріалу за вагою, щоб забезпечити більшу точність дозування, і тому потребують ваги. Прикладом такого типу дозаторів є гравіметричний стрічковий дозатор: матеріал, що подається у бункер, потрапляє на стрічку транспортера, яка переміщується по платформі ваг, що регулюються для отримання ваги, яка відповідає бажаній дозі [10]. Дозатор за зменшенням ваги складається з бункера та дозатора, які ізольовані від процесу, щоб система могла бути зважена безперервно. Поки дозатор вивантажує матеріал, система зважування зменшується. Контролер дозатора за зменшенням ваги регулює швидкість дозатора, щоб забезпечити пропорцію втрати ваги, що дорівнює бажаній пропорції. Завдяки здатності точно дозувати у малих пропорціях, шнекові дозатори за принципом зменшення ваги стали переважними системами дозування у великій кількості промисловостей та застосувань.

Залежно від характеристик, таких як процес, що виконується для отримання міри продукту, дозатори можна поділити на об'ємні або вагові, що головним чином обумовлено властивостями самих продуктів, що робить легшим використання одного з цих методів для точного дозування, зменшуючи витрати та час на дозування. Сучасне обладнання використовує різні типи дозаторів залежно від продукту, з яким працюють. Функція дозатора полягає у точному та автономному розподілі продукту у необхідних для суміші кількостях (табл. 2.1).

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таблиця 2.1 – Типи дозаторів

Тип	Характеристика
Дозування за гравітацією	Складається з резервуара, дозування відбувається з основного резервуара, через поплавки, який знаходиться всередині і який вмикає або вимикає його подачу. У нижній частині є запірний кран, який контролюється фасувальною машиною і дозволяє пропускати рідину в потрібний момент.
Вібруючий канал	Складається з вібраційного бункера зі сталі та великих і малих вібраційних каналів, які дозують продукт, безперервно зважуючи його на ваговій системі, автоматично синхронізований з кожним циклом машини.
Шнековий дозатор	Всередині бункера знаходиться гвинтовий шнек, який контролюється фасувальною машинкою залежно від типу продукту для дозування, а вага упаковки регулюється кількістю обертів шнека.
Поршневий дозатор	Складається з одного або більше герметичних контейнерів, де розташовується рідина і за допомогою одного або більше поршнів продукт витісняється з контейнера і переноситься до носика, що розташований усередині мішка.
Об'ємний дозатор	Матеріал утримується в бункері, який подає постійний об'єм за встановлений час шляхом регулювання швидкості дозатора. Об'єм матеріалу визначається за допомогою калібрування. Процес дозування залежить від рівномірності потоку та щільності матеріалу.

Системи змішування. Змішування – це процес за яким кілька інгредієнтів приводяться у контакт таким чином, щоб наприкінці операції отримати однорідну систему під цією назвою об'єднуються всі дії, спрямовані на виробництво продукту хорошої якості [10, 11, 17]. Змішування – це операція основною метою якої є досягнення максимальної взаємопроникності між кількома компонентами, які спершу знаходяться окремо для однорідного розподілу цих компонентів. Якщо це вдасться, виникне теоретична (ідеальна) ситуація, а саме досконале змішування. Ступінь, до якого намагаються досягти цієї (ідеальної) ситуації, залежатиме від продукту, який бажано виготовити та від мети операції змішування. Наприклад, коли диспергують дві незмішувані рідини, необхідно, щоб продукт був добре змішаний для забезпечення його стабільності. Види змішувачів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Види змішувачів

Тип	Характеристика
Лопатевий	Складається з однієї або декількох горизонтальних, вертикальних або нахилених лопатей, з'єднаних з горизонтальною, вертикальною або нахилою віссю, яка обертається аксіально всередині резервуара. Таким чином змішаний матеріал виштовхується або переміщується навколо резервуара по круговій траєкторії.
Потоковий	Матеріали вводяться за допомогою насоса, а змішування відбувається через взаємодію їхніх потоків. Використовуються лише в безперервних або циркуляційних системах для повного змішування сумісних рідин.
Гвинтові елементи	Вони забезпечують недорогий, простий і компактний спосіб змішування матеріалів у великій кількості випадків. Їх змішувальна дія зумовлена тим, що їх спіральні лопаті при обертанні постійно штовхають вперед. Виконує змішування різних порошкових або гранульованих продуктів між собою. Завдяки своїй конструкції та системі роботи ці машини мають кілька переваги перед іншими типами змішувачів.
Ротаційний	Ротаційні змішувачі використовують зворотну кінематику для барабанного змішування твердих і рідких речовин. Це дозволяє інтенсивно, швидко і дуже плавно змішувати без сегрегації.

Система виконавчих механізмів. Пневматичні виконавчі механізми – це пристрої, які можуть створювати як лінійні так і обертальні переміщення і вони є одними з найчастіше використовуваних у промислових процесах. Пневматичні виконавчі механізми створюють постійну силу, яка може бути в межах до 25000 Н. Пневматичні виконавчі механізми потребують керуючих клапанів для активації або деактивації циліндрів (для лінійного переміщення) або двигунів (для кругового руху). Пневматичні виконавчі механізми серед інших характеристик є дуже чистими щодо їхнього способу роботи, оскільки вони використовують стиснене повітря, саме тому їх переважно застосовують у харчовій промисловості [10, 11]. Механізми, які перетворюють енергію стисненого повітря на механічну роботу, називаються пневматичними виконавчими механізмами. Хоча за своєю суттю вони ідентичні гідравлічним виконавчим механізмам у цьому випадку діапазон стиснення більший, крім того, існує невелика різниця щодо використання та у структурі, через те, що вони мають низьку в'язкість. Гідравлічні виконавчі механізми – це пристрої схожі на пневматичні але їхньою основною відмінністю є потужність, яку вони розвивають під час виконання своєї роботи, оскільки вона перевищує 25000 Н.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Здебільшого вони переміщують великі об'єкти, що мають величезну вагу, і саме тут жоден інший привідний елемент не може замінити гідравлічні. Існують як циліндри, так і гідравлічні двигуни, які потребують олії, що рухається по конструкції та забезпечує робочу силу. Потік олії контролюється клапанами, які вмикають або вимикають гідравлічні елементи.

Електричну систему можна вважати приводом, коли вона виконує певну дію. Структура електричного виконавчого механізму проста у порівнянні з гідравлічними та пневматичними приводами, оскільки для роботи потрібна лише електрична енергія. Існує велика кількість моделей приводів, і їх легко використовувати з електродвигунами стандартного типу відповідно до застосування. У більшості випадків необхідно використовувати редуктори, оскільки двигуни працюють у безперервному режимі [10, 11]. Електричні приводи – це потужні пристрої в основному генерують обертальні переміщення і часто використовуються в промислових процесах чи то для заповнення бака рідиною, чи для надання руху конвеєрній стрічці тощо. Електричні приводи генерують постійну силу, що знаходиться нижче за діапазон 25000 Н але основною перевагою є можливість контролювати їх об/хв. Електричні виконавчі механізми потребують контактних елементів, щоб відкрити або закрити з'єднання електричної енергії з їхніми клемми живлення.

Система контролю. Система автоматичного керування складається з механічних, електричних та електронних компонентів, а саме: датчиків, програмованих логічних контролерів та виконавчих механізмів, які працюють разом з метою забезпечення автоматичного або самостійного функціонування системи. Датчики – це пристрої, які перетворюють фізичні параметри на електричні параметри. Використовуються різні типи датчиків залежно від фізичної величини, яку бажають вимірювати. Можна зауважити, що, як правило, необхідно якимось чином обробляти сигнали (попередня обробка) перед тим, як інформація досягне виконавча система, що складається з приводів. Функція датчика використовується для першого перетворення сигналів, застосовуючи різні фізичні принципи. В залежності від типу матеріалу або процесу, який потрібно автоматизувати, можна обрати різні типи датчиків, бо на ринку існує велика різноманітність датчиків, серед найбільш поширених є [10, 17]:

– індуктивні датчики наближення складаються з осцилятора, який починає коливатися, якщо споживає певний струм, тоді створюється змінне високочастотне поле, що виходить за межі. Якщо в це поле потрапляє металевий об'єкт в об'єкті індукується струм, що протидіє полю. Тоді споживання струму зменшується, а ця втрата струму дає багато інформації, наприклад, можна вимірювати та контролювати положення або також можна розраховувати швидкість і оберти об'єкта в русі;

– ємнісні датчики наближення працюють як конденсатор, їх можна використовувати для виявлення провідних або діелектричних об'єктів. У цьому випадку вимірюється відстань. Відстань спрацьовування може становити максимум приблизно 60 мм, ємнісні датчики особливо використовуються для точного вимірювання ходів;

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

– пневматичні датчики здатні виявляти об'єкт без контакту з ним, бо сигнал, який отримується, потрібно перетворити на електричний сигнал. Датчики можуть бути трьох типів: датчики проходу, датчики наближення, датчики динамічного тиску;

– ультразвукові датчики мають основну функцію виявлення об'єктів шляхом випромінювання та відображення акустичних хвиль. Вони працюють, випромінюючи ультразвуковий імпульс на об'єкт для вимірювання, а при виявленні відбитого імпульсу відокремлюють таймер, який почав відлік при випромінюванні імпульсу. Цей час переводиться у відстань, і відповідно до вибраних параметрів відповіді надсилає електричний сигнал у цифровій або аналоговій формі;

– магнітні датчики є класичним датчиком наближення, бо датчик реагує на магнітні поля. Датчик має 2 пружних та феромагнітних контактних язички (з сплаву Fe-Ni), які знаходяться в герметичній скляній трубці, заповненій інертним газом. Якщо магнітне поле наближається до трубки то язички торкаються один одного, замикаючи електричний ланцюг, а реакція відбувається всього за одну тисячну секунди;

– енкодери використовуються для позиціонування та керування моторами. Вони приєднуються до вала мотора і обертаються разом з ним. З одного боку знаходиться джерело світла, а з іншого – приймач. Коли енкодер обертається то приймач подає імпульси і можна визначити швидкість та положення мотора;

– датчик температури зазвичай це резистори, які змінюють своє значення залежно від температури. Існують ті, які при підвищенні температури збільшують опір та ті, що при підвищенні температури зменшують опір.

Таблиця 2.3 – Типи датчиків

Тип	Характеристика
Ємнісні датчики	Цей сенсор складається з двох металевих пластин, які реагують на діелектрик, змінюючи ємність конденсатора, утвореного між ними, яка відображає амплітуду коливань, що змінюється залежно від відстані до об'єкта.
Фотоелектричні датчики	Світлочутливі сенсори – це пристрої, які реагують на зміну світла, виявленого від будь-якого випромінюючого компонента, що генерує світло, які виробляють вихідний сигнал, що відповідає кількості сприйнятого світла.
Індуктивні датчики	Зазвичай вони мають обмотку, через яку проходить струм, що при наближенні до металевого тіла змінює поле виявляючи зміни магнітного потоку.

Продовження таблиці 2.3

Ультразвукові сенсори	Вони працюють, випромінюючи ультразвуковий імпульс на об'єкт для сенсування і при виявленні відбитого імпульсу зупиняється секундомір, який почав відлік при випромінюванні імпульсу.
Датчики температури	Складаються з резистора, який змінює своє значення залежно від температури. Існують деякі датчики температури, які являють собою пару різних металів (термопару).
Контактні датчики	Електричні, пневматичні або механічні пристрої, розташовані в кінці ходу рухомого елемента, з метою надсилання сигналів, які можуть змінити стан кола.
Датчики ваги	Електронні пристрої, які виявляють електричні зміни, спричинені варіацією інтенсивності ваги, прикладеної до ваги або терези, інформацію, яку, у свою чергу, передають на ваговий індикатор або ваговий контролер.
Датчик положення	Вимірюють або визначають положення певного об'єкта в просторі за допомогою механічної операції приводу.

Схему дозувально-змішувального обладнання для корму буде запропоновано в двох варіантах.

Варіант 1 для отримання рідкого корму. Система буде оснащена насосом. При класифікації насосів слід враховувати два основні моменти: метод переміщення рідин та тип обслуговування насоса. Дозувальний насос – це тип спеціальних насосів, які служать для правильного дозування речовини у потік води, у який-небудь водний резервуар або іншу систему, де потрібно, щоб концентрація речовини залишалася постійною. Перистальтичний дозуючий насос є типом насоса позитивного зміщення, тобто має частину для всмоктування і частину для виштовхування, тому він використовується для перекачування великого різноманіття рідин [10, 11]. Рідина транспортується за допомогою гнучкої трубки, розміщеної всередині кругового корпусу насоса. Перистальтичні насоси ідеально підходять для контрольованого дозування рідин або паст, які застосовуються у певний момент або безперервно в деяких процесах. Центробіжний насос переміщує певний об'єм рідини між двома рівнями – це гідравлічні машини, які перетворюють механічну роботу в іншу гідравлічного типу. Принцип роботи центробіжного насоса полягає в тому, що швидкість, передана робочим колесом рідині, частково перетворюється на тиск, таким чином досягається її переміщення та подальше підняття рідини.

Схема дозувально-змішувального обладнання для рідкого корму наведено на рисунку 2.1. Основними компонентами обладнання є три бункери, три соленоїдні клапани, резервуарний бак, насос, бак для змішування та нагрівання. Цикл роботи цього обладнання здійснюється наступним чином: одночасно вмикаються на певний час три соленоїдні клапани, дозволяючи розчину, що

					ННІЕТ КНУ.133.ЗГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

знаходиться в трьох бункерах тече до резервуарного бака. Далі необхідно увімкнути насос на певний час, примушуючи розчин перемішуватися з резервуарного бака в змішувальний та нагрівальний бак. Після цього необхідно увімкнути паралельно на певний час змішувач та нагрівач, таким чином завершуючи один операційний цикл.

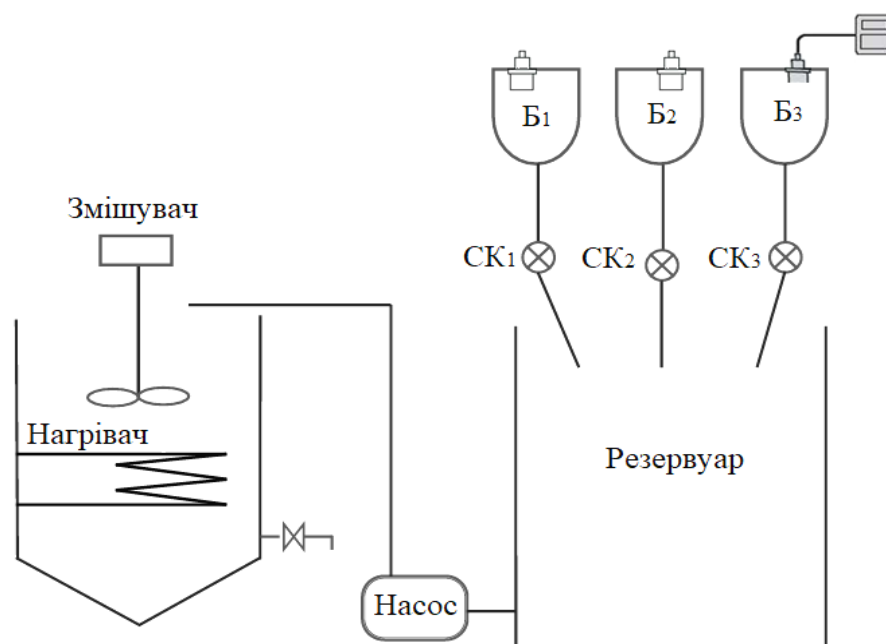


Рисунок 2.1 – Схема дозувально-змішувального обладнання для рідкої кормової сировини

Соленоїдні клапани є одними з найпоширеніших компонентів керування в промислових рідинних системах. Від простого контролю води до складної автоматизації процесів – ці електрично приводні клапани забезпечують швидке, надійне та автоматизоване керування рідинами. У сучасних промислових умовах, де автоматизація, точність і безпека є критично важливими, соленоїдні клапани відіграють фундаментальну роль [17]. Соленоїдний клапан – це електромеханічний клапан, який керує потоком рідини або газу за допомогою електричного струму. Коли електроенергія подається на котушку соленоїда, виникає магнітне поле, яке рухає поршень всередині корпусу клапана.

Рух відкриває або закриває клапан для контролю потоку. Соленоїдні клапани забезпечують швидкий час реакції та можуть керуватися дистанційно, що робить їх ідеальними для автоматизованих систем (рис. 2.2). Коли котушка заряджається, електромагнітне поле піднімає поршень проти сили пружини, відкриваючи клапан, а коли живлення відключається, пружина повертає поршень у початкове положення, закриваючи клапан. Соленоїдний клапан складається з двох основних блоків: збірки соленоїда (електромагніт) і поршня (сердечника), а також клапана з отвором (отвором) у якому розташований диск або пробка для контролю потоку рідини [22]:

– коли котушка заряджається, електромагнітне поле піднімає поршень проти сили пружини;

- клапан відкривається або закривається за допомогою руху магнітного поршня, а коли котушка заряджається, поршень притягується до соленоїда (електромагніта) і пропускається прохід через отвір;
- клапан автоматично повертається у початкове положення, коли струм припиняється через тиск пружини і потік через отвір обмежений;
- поршень, виготовлений із високоякісної нержавіючої сталі;
- ефекти залишкового магнетизму усуваються за допомогою штифта для відкидання та пружини, які запобігають заїданню якоря;
- котушка забезпечує повне ущільнення якоря з плоскою поверхнею над нею, щоб усунути шум і вібрації;
- щільність клапана певною мірою залежить від тиску, що діє вниз на ущільнювальний диск. Тиск можливий лише тоді, коли вхід підключений до потрібної точки, вказаної на клапані.

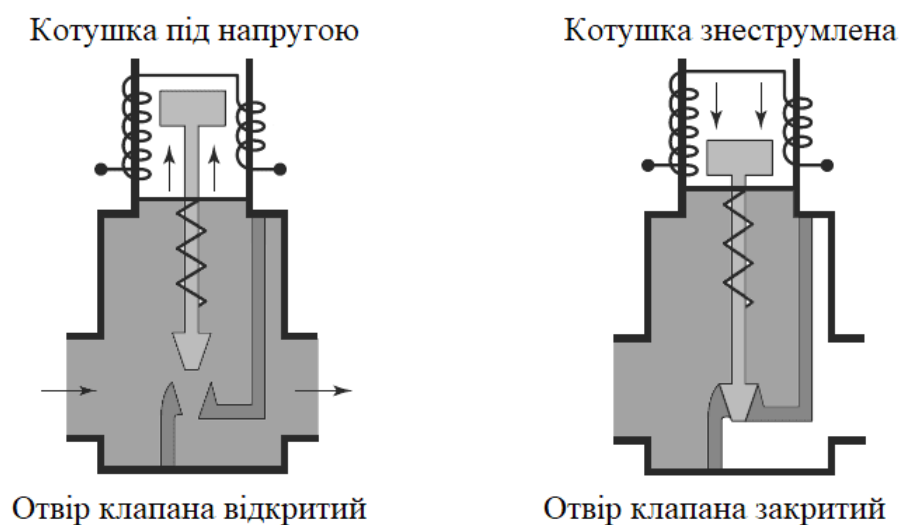


Рисунок 2.2 – Соленоїдний клапан

Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування рідкої харчової сировини використовувати наступні датчики:

Ультразвуковий датчик, який дозволяє мати потік, запитаний оператором, знаючи об'єм бункера з рідиною. Вони працюють, випромінюючи ультразвуковий імпульс на об'єкт для сенсерування і при виявленні відбитого імпульсу зупиняється секундомір, який почав відлік при випромінюванні імпульсу. Ультразвуковий передавач рівня – це тип безконтактного датчика рівня, який використовується для вимірювання рівня рідин або твердих речовин у резервуарі. Він працює за принципом випромінювання високочастотних ультразвукових імпульсів від перетворювача до поверхні вимірюваного матеріалу. Імпульси відбиваються від поверхні, а сенсор розраховує рівень залежно від часу. Метод дозволяє безперервно вимірювати рівень без фізичного контакту з матеріалом процесу, що робить його ідеальним для в'язких середовищ [24]. Ультразвуковий датчик рівня – це безконтактний пристрій, який використовує високочастотні акустичні хвилі для вимірювання рівня рідин, осаду або твердих речовин у резервуарі або посудині. Передавач датчика випромінює ультразвукові імпульси, зазвичай у діапазоні частот від 30 кГц до

200 кГц, спрямовані на поверхню вимірюваного матеріалу. Коли ультразвукові хвилі потрапляють на поверхню, вони відбиваються назад до сенсора. Затримка часу між випромінюванням і прийомом відлуння використовується для розрахунку відстані до поверхні. Отримана відстань потім перетворюється у відповідне значення рівня, яке може виводитися як аналоговий сигнал (наприклад, 4–20 мА) або цифровий комунікаційний сигнал залежно від конструкції передавача.

Ємнісні датчики – це тип датчиків, які виявляють зміни ємності, тобто здатності матеріалу накопичувати електричний заряд. Ємнісні датчики призначені для визначення мінімального рівня кожного з бункерів. Ємнісний датчик зазвичай складається з двох провідних електродів, розділених діелектричним матеріалом. Коли на електроди подається напруга, між ними виникає електричне поле [23]. Ємність між електродами визначається діелектричними властивостями матеріалу між ними, а також геометрією електрода. Принцип роботи ємнісного датчика базується на зміні ємності, що відбувається при зміні діелектричного матеріалу або геометрії електрода. Наприклад, коли об'єкт наближається або торкається датчика, це змінює електричне поле і ємність між електродами. Зміна ємності потім вимірюється і перетворюється на електричний сигнал.

Процедура змішування є критичною, оскільки саме цей процес забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу корму, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. У процесі отримання рідкого корму будуть змішуватися рідкі компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування в'язких компонентів, таких як рослинні олії та харчові добавки. Тому для системи змішування обрано змішувач з шістьма крильчастими лопатями. Такий вертикальний потік розвиватиметься за допомогою лопатей встановлених в центрі резервуару. Для обертання рідини з незначним рухом зверху вниз запропоновано лопаті змішувача дещо заокруглити на кінцях, що сприятиме контрольованому поступовому руху рідини у процесі змішування в'язких харчових рідин (рис. 2.3).

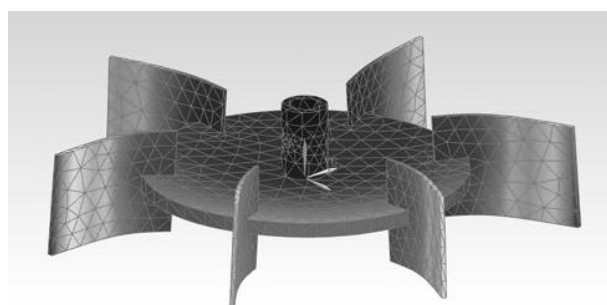
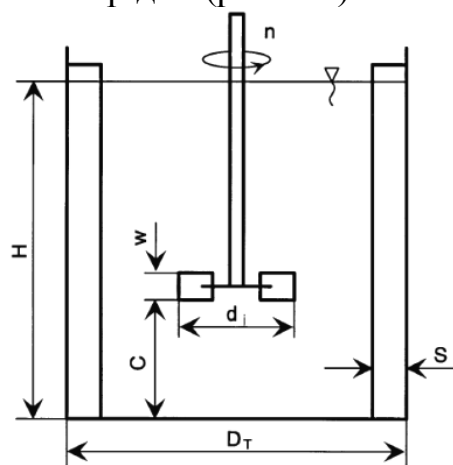


Рисунок 2.3 – Конструкція обладнання для змішування в'язких рідини

Проектування лопатей [19, 28]

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$\frac{E}{Da} = 1$$

$$E = 0,366m$$

$$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$$

$$W = 0,0732 m$$

де D_a – діаметр змішувача;

D_t – діаметр змішувального резервуара;

E – відстань від осі змішувача до дна резервуара;

W – висота лопатей;

L – ширина лопатей.

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$$

$$L = 0,0915 m$$

Швидкість валу змішувача [28]

$$Qp = \frac{\pi}{4} * Vm * Dt^2$$

$$Qp = \frac{\pi}{4} * 0,7 m/s * (1,1 m)^2$$

$$Qp = 0,665 m^3/s$$

де V_m – середня швидкість потоку;

Q_p – власний витрата потоку;

D_t – діаметр змішувального резервуара;

V_f – швидкість потоку;

Da – діаметр змішувача.

$$Vf = \frac{Qp}{\frac{\pi}{4} * Da^2}$$

$$Vf = \frac{0,665 m^3/s}{\frac{\pi}{4} * (0,366m)^2}$$

$$Vf = 6,32 m/s = V$$

Кутова швидкість [19, 28]

$$V = w * \left(\frac{Da}{2}\right)$$

де V – швидкість потоку;

W – кутова швидкість;

D_a – діаметр вала змішувача.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$w = \frac{6,32 \text{ m/s}}{0,183 \text{ m}}$$

$$w = 34,53 * \frac{60}{2\pi}$$

$$w = 329,74$$

Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для рідкого корму, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три соленоїдні клапани, резервуарний бак, насос, бак для змішування та нагрівач. Одночасно вмикаються на певний час три соленоїдні клапани, дозволяючи розчину, що знаходиться в трьох бункерах тече до резервуарного бака. Далі необхідно увімкнути насос на певний час, примушуючи розчин текти з резервуарного бака в змішувальний та нагрівальний бак. Після цього необхідно увімкнути паралельно на певний час змішувач та нагрівач, таким чином завершуючи один операційний цикл.

Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування рідкої харчової сировини використовувати наступні датчики. Ультразвуковий датчик, який дозволяє мати потік, запитаний оператором, знаючи об'єм бункера з рідиною. Ультразвуковий датчик рівня – це безконтактний пристрій, який використовує високочастотні акустичні хвилі для вимірювання рівня рідин, осаду або твердих речовин у резервуарі або посудині. Передавач датчика випромінює ультразвукові імпульси, зазвичай у діапазоні частот від 30 кГц до 200 кГц, спрямовані на поверхню вимірюваного матеріалу. Ємнісні датчики – це тип датчиків, які виявляють зміни ємності, тобто здатності матеріалу накопичувати електричний заряд. Ємнісні датчики призначені для визначення мінімального рівня кожного з бункерів. Ємнісний датчик зазвичай складається з двох провідних електродів, розділених діелектричним матеріалом. Коли на електроди подається напруга, між ними виникає електричне поле.

Процес змішування є важливою операцією, оскільки забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу корму, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. У процесі отримання рідкого корму будуть змішуватися рідкі компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування в'язких компоненті, таких як рослинні олії та харчові добавки. Тому для системи змішування обрано змішувач з шістьма крильчастими лопотями. Такий вертикальний потік розвиватиметься за допомогою лопатей встановлених в центрі резервуару. Запропоновано лопаті змішувача дещо заокруглити на кінцях, що сприятиме контрольованому поступовому руху рідини у процесі змішування в'язких харчових рідин.

2.2 Система для твердої кормової суміші

Варіант 2 для отримання твердого корму. Дозувально-змішувальна система має дві підсистеми: дозування та змішування, як і у першому варіанті. Дозувальна система містить об'ємні дозатори, які використовуються для дозування продуктів, однорідних за їх фізичними характеристиками, формою,

					ННІЕТ КНУ.133.ЗГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розміром і вагою, таких як зернова сировина. Наприклад, в перший бункер подається ячмінь в другий бункер – кукурудза, в третій бункер – пшениця. Система дозування містить три бункери для яких зробимо необхідні розрахунку.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{377,07 \text{ g}}{532,17 \text{ cm}^3} = 0,70 \text{ g/cm}^3$$

де ρ – це щільність продукту;

m – середнє значення розрахованих мас;

V – об'єм ємності.

Середня густина продукту становить $370,0 \text{ г/см}^3$. Маючи густину продукту, можна обчислити обсяг, який займає 50 кг.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{50 \text{ kg}}{0,0007 \text{ kg/cm}^3} = 71428,57 \text{ cm}^3$$

Оскільки бункер матиме квадратний поперечний переріз, сторона квадрата буде 42 см. А для обчислення висоти маємо [11, 25]

$$V = A * h$$

де база A – це площа основи;

h – висота.

$$h = \frac{V}{A} = \frac{71428,57 \text{ cm}^3}{42 \text{ cm} * 42 \text{ cm}} = 40,49 \text{ cm}$$

Поперечний переріз бункера матиме наступну конфігурацію, а саме основу 42 см на 42 см та висоту 40,49 см. Обсяг, зайнятий дозуючими отворами, буде визначатися їх формою у вигляді усіченої піраміди [11, 25]

$$V = \frac{1}{3} (A_{B1} + A_{B2} + \sqrt{A_{B1} * A_{B2}}) * H$$

де A_{1B} – площа основи;

A_{2B} – площа верхньої грані;

H – висота.

$$V = \frac{1}{3} (441 \text{ cm}^2 + 36 \text{ cm}^2 + \sqrt{441 \text{ cm}^2 * 36 \text{ cm}^2}) * 10$$

$$V = 1772.54 \text{ cm}^3$$

Об'єм, суміші яку необхідно отримати, а саме 125 г продукту [11, 25]

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 0,70 \text{ g/cm}^3$$

$$m = 125 \text{ g}$$

Отримаємо

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{125 \text{ g}}{0,70 \text{ g/cm}^3} = 178,5 \text{ cm}^3$$

Основними компонентами дозувально-змішувального обладнання для твердої сировини є три об'ємні бункери-дозатори, резервуар, клапани та змішувач. Спочатку одночасно і протягом певного часу зернова суміш (ячмінь, кукурудза та пшениця) подається в резервуар при відкритті клапанів, а далі в систему змішування. Схема дозувально-змішувального обладнання для твердої сировини наведено на рисунку 2.4.

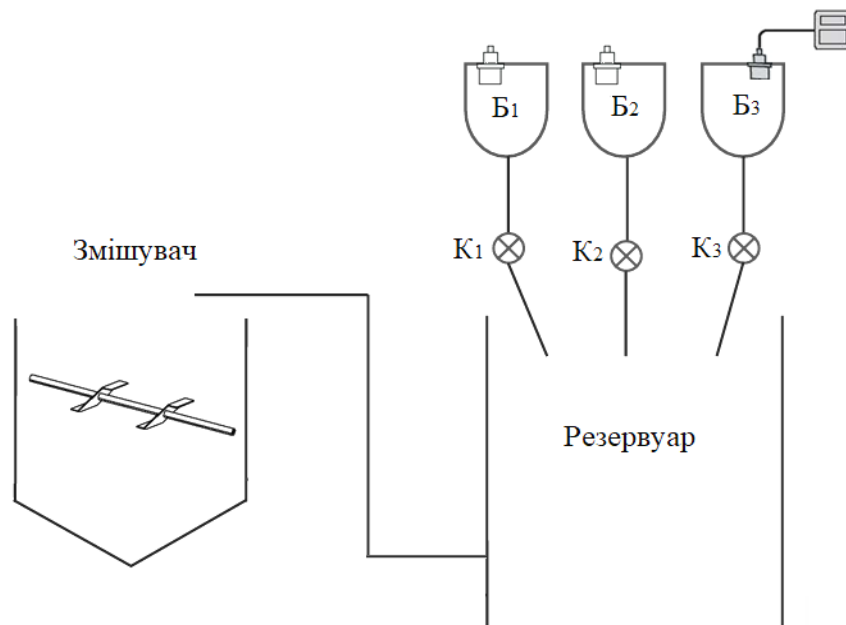


Рисунок 2.4 – Схема дозувально-змішувального обладнання для твердої кормової сировини

Для кожного резервуара доцільно встановлений вібраційний мотор, який під час роботи запобігатиме залишкам ресурсів (втратам) під час наповнення змішувача. Якщо це не є необхідним то вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування твердої харчової сировини використовувати наступні датчики:

Тензодатчик (датчик ваги) – це електромеханічний датчик, який використовується для вимірювання сили або ваги. Він має просту, але ефективну конструкцію, засновану на добре відомому передаванні між прикладеною силою, деформацією матеріалу та потоком електрики. Це надзвичайно універсальні пристрої, які забезпечують точну та надійну продуктивність у широкому спектрі застосувань. Тензодатчик – це електронний

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

пристрій, який класифікований як перетворювач сили [27, 29]. Він перетворює прикладену силу або вагу на вимірюваний електричний сигнал, зазвичай за допомогою з'єднаних тензодатчиків, які змінюють опір при деформації під навантаженням. Мінімальні зміни опору тензодатчиків визначаються інструментальними підсилювачами і виводяться як мілівольтові сигнали або стандартизовані формати (наприклад, 4–20 мА, 0–10 В або цифровий). Правильне кріплення, компенсація температури та калібрування є необхідними для підтримки точності та повторюваності.

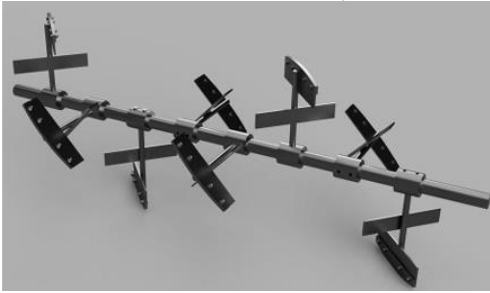
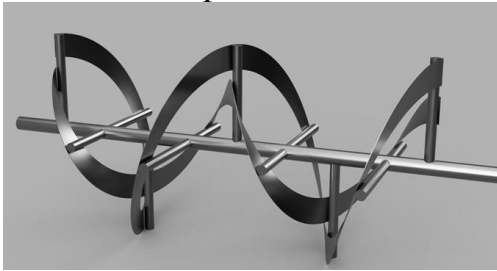
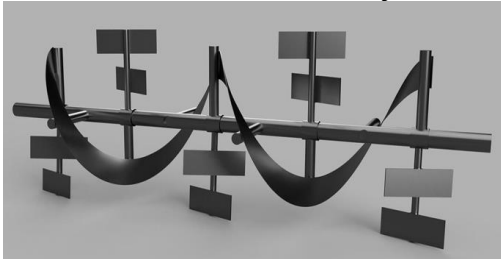
Датчик рівня використовується для вимірювання поверхневого рівня в резервуарах. Неправильні вимірювання можуть призвести до надмірно високих або нижчих показників у резервуарі. Недостатні рівні можуть призвести до пошкодження обладнання, тоді як надмірні рівні можуть спричинити переповнення, створюючи загрозу для безпеки та потенційні екологічні проблеми. Датчики точкового рівня використовуються для вимірювання певних або попередньо встановлених рівнів твердих середовищ у заздалегідь визначених точках. Сенсори призначені для виявлення, коли матеріал досягає бажаного рівня, запускаючи вихід або надаючи індикацію наявності чи відсутності матеріалу в цій точці [26, 30]. Датчики безперервного вимірювання рівнів розроблені для безперервного моніторингу та вимірювання рівня твердих речовин і рідин у резервуарах, посудинах та інших відкритих або закритих системах зберігання. На відміну від датчиків точкового рівня, які надають інформацію у певних заданих точках, безперервні датчики вимірювання рівня надають дані в реальному часі та безперервний вихід, що відображає рівень матеріалу. Датчики безперервного вимірювання рівня відіграють важливу роль у моніторингу, управлінні процесами та забезпеченні оптимального зберігання та виробничих операцій, надаючи дані про рівні в реальному часі та точні.

Важливість контролю рівня сировини полягає в тому, що завдяки цьому можемо приймати рішення, щоб система працювала безперервно. У випадку гранульованих твердих тіл серед ключових моментів у вимірюванні рівня слід враховувати: проблему визначення рівня, не обов'язково існування єдиної горизонтальної поверхні, положення входу та виходу матеріалу. З цією інформацією можна скласти уявлення про існуючий профіль у резервуарі та таким чином визначити, де розмістити датчики і яка частина профілю вимірюється.

Процес змішування є важливою операцією, оскільки забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу корму, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. У процесі отримання твердого корму будуть змішуватися тверді компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування такого виду сировини. Тому для системи змішування обрано горизонтальний лопатевий змішувач для отримання корму. Типи змішувач для горизонтальних машин наведено в таблиці 2.4.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.4 – Типи змішувач для горизонтальних машин

Тип	Характеристика
Лопатевий змішувач 	У змішувальній машині, коли присутні досить густі тверді речовини у нещільних сумішах, змішувач з лопатями відносно неефективний. Через розташування лопатей продукт переміщується в одному напрямку, що призводить до того, що одна сторона ємності зазнає більшого тиску, ніж інша, через осьове зусилля, що виникає. У змішувачі з лопатями вони піднімають і переміщують інгредієнти для здійснення змішування, що робить змішувач з лопатями найкращим варіантом, коли йдеться про крихкі інгредієнти.
Змішувач зі спіральними стрічками 	Гвинтові стрічкові змішувачі призначені для переміщення інгредієнтів, зазвичай вони складаються з пари стрічок, розташованих для обертання в протилежних напрямках, внутрішня та зовнішня стрічки створюють протитік всередині резервуара, забезпечуючи повністю однорідне змішування. Гвинтові стрічкові змішувачі створюють зсув, тому вони не підходять для крихких продуктів, але підходять для твердих речовин, борошна та інших сполук.
Комбінований змішувач 	Комбіновані змішувачі складаються з поєднання стрічок і лопатей, розташованих на приводному валу, конструкція цього змішувача орієнтована на змішування делікатних продуктів. Принцип роботи схожий на роботу лопатевого змішувача з тією різницею, що завдяки зовнішнім лопатям і внутрішній спіральній стрічці виникає менше тертя між інгредієнтами для змішування, а отже, виробляється менше теплової енергії.

Об'єм резервуару [5]

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{8} + h \cdot L \cdot D$$

$$h = \frac{D}{4}$$

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{8} + \frac{D^2}{4} \cdot L$$

$$D = \sqrt{\frac{8V}{(\pi + 2) \cdot L}}$$

$$D = 0,495 \text{ m}$$

$$D = 50 \text{ cm}$$

Площа гвинта

$$A_1 = \frac{\pi \cdot r^2}{2} = \frac{\pi(0.245)^2}{2} = 0.0942 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot r_1^2}{2} = \frac{\pi(0.175)^2}{2} = 0.0481 \text{ m}^2$$

$$A = 0.0461 \text{ m}^2$$

Вага лопатевого змішувача [5]

$$r = \frac{19.05}{2} = 9.5 \text{ mm} = 0.0095 \text{ m}$$

$$V = \pi \cdot 0.0095^2 \text{ m} \cdot 0.220 \text{ m} = 6.24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V = 0.0624 \text{ m}^3 \cdot 10 = 6.24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$P = 6.24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 7900 \text{ kg/m}^3 = 4.93 \text{ kg}$$

Розрахунок ваги витків [5]

$$L = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot r)^2 + p^2} \cdot n$$

де r – середній радіус гвинтової стрічки;

p – крок по осі;

n – кількість витків гвинта.

Середній радіус

$$r = \frac{0.49 + 0.35}{2} = 0.21 \text{ m}$$

Крок гвинта

$$p = 0.49 \text{ m}$$

Кількість витків

$$n = \frac{0.90}{0.49} = 1.84 = 2$$

Довжина одного кола

$$L = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot 0.21)^2 + 0.49^2} \cdot 2$$

$$L = 2.82 \text{ m}$$

Об'єм витків

$$V = 2.82 \text{ m} \cdot 0.07 \text{ m} \cdot 0.003 \text{ m} = 5.92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Вага лопатей

$$P = 5.92 \cdot 10^{-4} m^3 \cdot 7900 \text{ kg}/m^3$$

$$P = 4.68 \text{ kg}$$

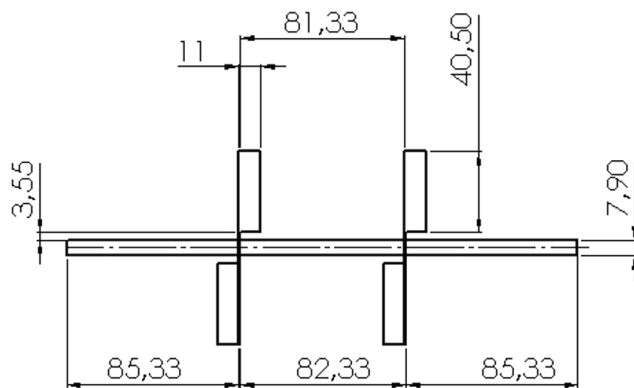


Рисунок 2.5 – Лопатевий змішувач

Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для твердої сировини. Основними компонентами є три об'ємні бункери-дозатори, резервуар, клапани та змішувач. Спочатку одночасно і протягом певного часу зернова суміш подається в резервуар при відкритті клапанів, а далі в систему змішування. Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування твердої харчової сировини використовувати наступні датчики: тензодатчик – це електромеханічний датчик, який використовується для вимірювання сили або ваги та датчик рівня для вимірювання поверхневого рівня в резервуарах. У процесі отримання твердого корму будуть змішуватися тверді компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування такого виду сировини. Для системи змішування обрано горизонтальний лопатевий змішувач.

На основі вище зазначеного можна вважати, що процедура змішування є критичною, оскільки саме цей процес забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу кормової суміші, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. Точне дозування сировини та правильне змішування є двома ключовими ланками при досягненні продукту з бажаними характеристиками. Процес дозування полягає у встановленні або регулюванні пропорції речовини, яка буде додаватися на кожному етапі процесу для отримання певної суміші.

Варіант 1. Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для рідкої кормової сировини, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три соленоїдні клапани, резервуарний бак, насос, бак для змішування та нагрівач. Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування рідкої харчової сировини використовувати наступні датчики: ультразвуковий датчик, який дозволяє мати потік, запитаний оператором, знаючи об'єм бункера з рідиною та ємнісні датчики для визначення мінімального рівня кожного з бункерів. У процесі отримання рідкого корму будуть змішуватися рідкі компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування в'язких компонентів, таких як рослинні олії та харчові добавки. Запропоновано лопаті

змішувача дещо заокруглити на кінцях, що сприятиме контрольованому поступовому руху рідини у процесі змішування в'язких харчових рідин.

Варіант 2. Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для твердої кормової сировини, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три клапани, резервуар та змішувач. Спочатку одночасно і протягом певного часу зернова суміш (ячмінь, кукурудза та пшениця) подається в резервуар при відкритті клапанів, а далі в систему змішування. Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування твердої харчової сировини використовувати наступні датчики: тензодатчик – це електромеханічний датчик, який використовується для вимірювання сили або ваги та датчик рівня для вимірювання поверхневого рівня в резервуарах. У процесі отримання твердого корму будуть змішуватися тверді компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування такого виду сировини. Для системи змішування обрано горизонтальний лопатевий змішувач. Вважається, що вибір конструкція лопатей змішувача є критично важливим у процесі змішування, зокрема для усунення мертвих зон, що можуть виникати під час змішування.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Виявлення «мертвих зон» в процесі змішування

Мета операції змішування полягає в отриманні максимально однорідного розподілу частинок. У разі рідин змішування двох або більше фаз вимагає переміщення цих фаз відносно одна одної, щоб кожна молекула втратила пам'ять про своє початкове оточення. Можна виділити три базові механізми: молекулярна дифузія, конвекція та зріз на вищих масштабах. Щоб змішати декілька гранулярних фаз, також необхідно переміщувати зерна відносно один одного за допомогою цих самих трьох механізмів. Змішування частинок є важливою одиницею переробки коли різні інгредієнтів у вигляді зерен потрібно добре змішати для забезпечення високоякісного кінцевого продукту.

Лопатевий змішувач є придатним для змішування твердої зернової сировини, а також вільно текучих гранульованих матеріалів. Він може забезпечити покращену однорідність при змішуванні частинок різного розміру завдяки великому зсуву. Фізично змішування частинок є складним процесом через різні фактори, які беруть участь, такі як розмір, щільність, форма та час змішування. У суміші твердих речовин, чим менші контактні поверхні між частинками, тим кращі характеристики плинності продуктів [12, 21]. Контактні поверхні визначаються і нав'язуються формою частинок. Загалом, сферичні та регулярні частинки мають невеликі контактні поверхні, що дозволяє швидше досягти відповідного змішування. Різниця в щільності між компонентами вплине на якість суміші та сприятиме сегрегації. На практиці більш щільні частинки матимуть тенденцію опускатися вниз, тоді як більш легкі частинки залишатимуться на верхівці сировини.

Поняття однорідності зазвичай використовується для відстеження та оцінки змішування однієї сировини з іншими інгредієнтами. Стан впорядкованості двох компонентів суміші прагне наблизитися до ідеального значення. Виникає стан рівноваги, коли у даній кількості сировини бажана пропорція є постійною в кожній точці суміші. Відповідно до ваги та контактних частин поведінка частинок змінюється. Дрібні частинки можуть бути текучими залежно від стану поверхонь і що їхня поведінка є дисперсною [12, 19]. Частки великого розміру підпорядковуються гравітаційному полю і їхня поведінка індивідуальна. Однорідна тверда суміш – це суміш в якій складові інгредієнти рівномірно розподілені між собою. Однорідна суміш досягається лише тоді, коли досягнуто випадкового стану змішування. Щоб успішно досягти цього стану змішування, слід враховувати деякі умови [31]:

- достатньо простору в апараті для вільного руху частинок;
- зріз частинок за рахунок введення бічної енергії до гравітації;

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Горбань			Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини				Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.		Гончаренко									41		4	
Н. Контр.		Омельченко												
Затверд.		Цвіркун			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО									

– уникнення тертя між частинками шляхом подачі достатньої енергії в систему, що залежить від швидкості змішування та типу змішувача;

– встановлення відповідної тривалості подачі енергії (не надто короткої і не надто довгої) і не перевищувати критичну масу, щоб уникнути явища сегрегації.

Швидкість змішування є одним із операційних параметрів, який може впливати як на продуктивність змішування так і на навантаження на частинки, що змішуються. Якість змішування знижується зі збільшенням швидкості лопатей в безперервному стрічковому міксері. В періодичному стрічковому змішувачі висока швидкість лопатей може негативно впливати на роботу змішувача, наприклад, якість суміші може погіршуватися при використанні високої швидкості вала 55 об/хв при рівні заповнення 59% [31]. Споживання енергії може зростати зі збільшенням швидкості лопатей і кінцева точка змішування ніколи не була досягнута. Дослідження показали, що криві індексу змішування порівняно з обертами вала для горизонтального стрічкового змішувача періодичного типу не змінювалися, коли швидкість вала змінювалася при змішуванні сухих частинок. У цьому випадку резервуар для змішування був відкритий зверху і тому частинки могли рухатися вертикально вгору. Однак, коли рух частинок обмежений у верхній частині резервуара обхідний рух частинок стає домінуючим зі збільшенням швидкості вала і криві порівняння індексу змішування проти обертів вала можуть впливати на швидкість вала. Хоча використання низької швидкості лопаті може зменшити напруження на частинки проте це може призвести до поганої однорідності при змішуванні частинок через зниження зсувних напружень.

Рівень заповнення змішувача – це ще один важливий операційний параметр. Кінцева точка змішування ніколи не була досягнута, коли змішувач буде працювати на вищих швидкостях. Однак на середньому рівні заповнення змішування можна досягти кінцевої точки. Споживання енергії на одиницю обертання збільшується зі збільшенням коефіцієнта навантаження (або рівня заповнення) [31]. Рівень заповнення суттєво впливає на однорідність при використанні дволопатевого змішувача, а нижчий рівень заповнення забезпечував кращу однорідність. Однак рівень заповнення не має значного впливу при використанні дволопатевого змішувача з більшою конфігурацією лопатей. Осьовий коефіцієнт дифузії може зростати зі збільшенням швидкості вала, а також при фіксованій швидкості заповнення вала до 40% після чого він зменшується. Причиною зниження є пригнічення осьової дисперсії матеріалу, яка здебільшого рухалася по колу, коли рівень заповнення високий.

У процесі змішування можуть виникати «мертві зони», коли потік сировини не досягає певних ділянок змішувальної камери, що призводить до нерівномірного змішування. Під час змішування твердої зернової сировини опір матеріалу до руху більший, що може посилити утворення цих зон. Кишені біля кутів, країв або нижньої частини змішувача особливо вразливі. Навіть невеликі ділянки незмішаного матеріалу можуть погіршувати якість продукту, спричиняючи кольорові невідповідності та текстурні варіації. У зв'язку з цим доцільно дослідити процес змішування за допомогою різкої конфігурації

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

лопатевого змішувача для виявлення мертвих зон, а саме використання двох лопатей та п'яти лопатей (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Типи горизонтальних лопатевих змішувачів

Щоб уникнути «мертвих зон» необхідно приділити увагу наступним компонентам системи [32]:

1. Конструкція лопатей змішувача є критично важливою для усунення мертвих зон. Багаторівневі лопаті, кутові лопаті або спіральні конструкції можуть покращити як осьову так і радіальну циркуляцію, забезпечуючи безперервне переміщення високов'язких матеріалів по всій камері. Правильна відстань і орієнтація лез допомагають розбити застійні ділянки, стимулюючи потік від країв до центру і навпаки. Неправильно налаштовані леза можуть залишити значну частину матеріалу незмішаною, особливо у великих або щільних партіях.

2. Геометрія камери та динаміка потоку. Конструкція камери доповнює функціональність лопатей для запобігання мертвим зонам. Вертикальні циліндричні камери з гладкими, округлими поверхнями полегшують циркуляцію матеріалів, а перегородки або контурні стінки можуть направляти в'язкий матеріал до лопатей. Натомість гострі кути, плоскі поверхні або неправильні форми камер можуть затримувати матеріал, створюючи кишені з низьким рухом. Оптимізація геометрії камери особливо важлива при змішуванні, де опір матеріалу посилює вплив застійних областей.

3. Вплив швидкості змішування та крутного моменту. Швидкість двигуна та крутний момент також впливають на утворення мертвих зон. Матеріали з високою в'язкістю потребують достатнього крутного моменту, щоб подолати опір і підтримувати стабільну циркуляцію. Низькошвидкісні або недостатньо потужні двигуни можуть не рухати всю масу рівномірно, залишаючи зони застійної зони. Регулювання швидкості дозволяє операторам регулювати силу змішування відповідно до товщини матеріалу, забезпечуючи правильний потік без надмірно чутливих до зсуву інгредієнтів.

4. Стратегії моніторингу та обслуговування. Регулярний моніторинг ефективності змішування, включаючи показники крутного моменту та візуальний огляд зразків, допомагає виявити потенційні мертві зони до того, як вони вплинуть на виробництво. Правильний догляд за лезами, ущільненнями та поверхнями камер забезпечує ефективність циркуляції з часом, запобігаючи зношенню, спричиненому зношенням, накопиченням залишків або неправильним вирівнюванням.

Мертві зони у процесі змішуванні – це критична проблема, яку необхідно вирішити для збереження однорідності та якості продукції. Результати показали, що під час змішування твердої зернової сировини ділянки біля кутів,

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

країв або нижньої частини змішувача особливо вразливі. Навіть невеликі ділянки незмішаного матеріалу можуть погіршувати якість продукту, спричиняючи кольорові невідповідності та текстурні варіації. У процесі змішування за допомогою дволопатевого змішувача утворюється більше мертвих зон, ніж при застосування п'ятилопатевого змішувача. П'ятилопатевий змішувач краще працює для змішування при високих рівнях заповнення. Покращення змішування досягається за рахунок усунення мертвих зон при використанні більшої кількості лопатей у змішувачі. На рисунку 3.2 показано порівняння мертвих зон, що виникають у змішувачі при використанні 2 лопатей та 5 лопатей.

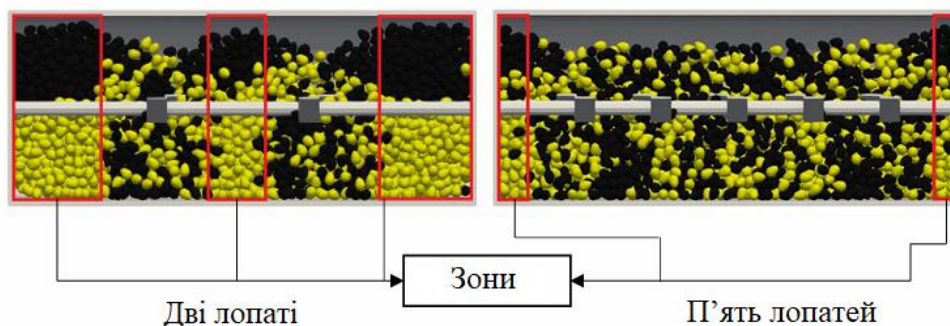


Рисунок 3.2 – Виявлення «мертвих зон» у процесі змішування сировини різкою кількістю лопатей

На основі вище зазначеного можна вважати, що мета операції змішування полягає в отриманні максимально однорідного розподілу частинок. У разі рідин змішування двох або більше фаз вимагає переміщення цих фаз відносно одна одної, щоб кожна молекула втратила пам'ять про своє початкове оточення. Можна виділити три базові механізми: молекулярна дифузія, конвекція та зріз на вищих масштабах. Щоб змішати декілька гранулярних фаз, також необхідно перемішувати зерна відносно один одного за допомогою цих самих трьох механізмів. Змішування частинок є важливою одиницею переробки коли різні інгредієнтів у вигляді зерен потрібно добре змішати для забезпечення високоякісного кінцевого продукту.

Зазначено, що у процесі змішування можуть виникати «мертві зони», коли потік сировини не досягає певних ділянок змішувальної камери, що призводить до нерівномірного змішування. Під час змішування твердої зернової сировини опір матеріалу до руху більший, що може посилити утворення мертвих зон. У зв'язку з цим було досліджено процес змішування за допомогою різкої конфігурації лопатевого змішувача для виявлення мертвих зон, а саме використання двох лопатей та п'яти лопатей. Результати показали, що під час змішування твердої зернової сировини ділянки біля кутів, країв або нижньої частини змішувача особливо вразливі. У процесі змішування за допомогою дволопатевого змішувача утворюється більше мертвих зон, ніж при застосування п'ятилопатевого змішувача. П'ятилопатевий змішувач краще працює для змішування при високих рівнях заповнення. Покращення змішування досягається за рахунок усунення мертвих зон при використанні більшої кількості лопатей у змішувачі.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини. У роботі зазначено, що процедура змішування є критично важливою, оскільки саме цей процес забезпечує чергування двох або більше компонентів, що входять до складу сировини, контактують один з одним для отримання однорідної суміші, яка відповідає харчовим потребам. Оскільки фінальна суміш буде розподілена на кілька одиниць, які повинні містити приблизно однакову кількість допоміжних речовин і активних компонентів, якість отриманої суміші безпосередньо впливатиме на якість готового продукту.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для змішування сировини. Зазначено, що метою операції змішування є отримання проміжних або готових продуктів із максимально однорідним розподілом різних складових в суміші. Суміш – це матеріальна система, утворена двома або більше речовинами, що не з'єднані хімічно. Кожен з її компонентів зберігає свою ідентичність та фізико-хімічні властивості.

Аналіз наукових джерел дав змогу виявити, що обладнання для змішування – це складний, спеціалізований інструмент, призначений для змішування твердих та рідких різноманітних інгредієнтів, які мають вирішальне значення для виробничих процесів. У процесі змішування на сировину діє багато сил: сили гравітації, відцентрові сили, сили тертя, сили взаємного притягання або відштовхування частинок. Сили залежать від використовуваної речовини, її частинкового стану, типу змішувача та від умов проведення операції. Зазвичай виділяють три великі типи механізмів: змішування дифузії, частинки рухаються випадковим чином, поодиночі, що є основною характеристикою змішувачів з рухомою ємністю; змішування конвекцією, групи частинок рухаються масово, а змішувачі з внутрішнім механізмом перемішування характеризують це явище; змішування зсувом, різні шари частинок ковзають один по одному – механізм сприятливий для змішування взаємозчепленої сировини.

Другий розділ присвячено оптимізації дозувально-змішувального обладнання для отримання корму. Вважається, що точне дозування сировини та правильне змішування є двома ключовими ланками при досягненні продукту з бажаними характеристиками. Процес дозування полягає у встановленні або регулюванні пропорції речовини, яка буде додаватися на кожному етапі процесу для отримання певної суміші.

Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для рідкого корму, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три соленоїдні клапани, резервуарний бак, насос, бак для змішування та нагрівач. Одночасно вмикаються на певний час три соленоїдні клапани, дозволяючи розчину, що

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для змішування рослинної сировини				Лім.	Арк.	Аркуші		
Розроб.	Горбань										45	2	
Перевір.	Гончаренко								ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Н. Контр.	Омельченко												
Затверд.	Цвіркун												

знаходиться в трьох бункерах переміщатися до резервуарного бака. Далі вмикається насос на певний час, примушуючи розчин текти з резервуарного бака в змішувальний та нагрівальний бак. Після цього необхідно увімкнути паралельно на певний час змішувач та нагрівач, таким чином завершуючи один операційний цикл.

Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування рідкої харчової сировини використовувати наступні датчики: ультразвуковий датчик, який дозволяє мати потік, запитаний оператором, знаючи об'єм бункера з рідиною та ємнісні датчики для визначення мінімального рівня кожного з бункерів. Процес змішування є важливою операцією, оскільки забезпечує змішування компонентів, що входять до складу корму. У процесі отримання рідкого корму будуть змішуватися рідкі компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування в'язких компонентів, таких як рослинні олії та харчові добавки. Тому для системи змішування обрано змішувач з шістьма крильчастими лопотями. Такий вертикальний потік розвиватиметься за допомогою лопатей встановлених в центрі резервуару. Запропоновано лопаті змішувача дещо заокруглити на кінцях, що сприятиме контрольованому поступовому руху рідини у процесі змішування в'язких харчових рідин.

Запропоновано схему дозувально-змішувального обладнання для твердої кормової сировини, яка містить такі основні компоненти: три бункери, три клапани, резервуар та змішувач. Спочатку одночасно і протягом певного часу зернова суміш (ячмінь, кукурудза та пшениця) подається в резервуар при відкритті клапанів, а далі в систему змішування. Вважається за доцільне для забезпечення контролю дозування твердої харчової сировини використовувати наступні датчики: тензодатчик – це електромеханічний датчик, який використовується для вимірювання сили або ваги та датчик рівня для вимірювання поверхневого рівня в резервуарах. У процесі отримання твердого корму будуть змішуватися тверді компоненти тому змішувач має забезпечити ефективне перемішування такого виду сировини. Для системи змішування обрано горизонтальний лопатевий змішувач.

Третій розділ присвячено виявленню та усунуенню «мертвих зон» у процесі змішування. У процесі змішування можуть виникати «мертві зони», коли потік сировини не досягає певних ділянок змішувальної камери, що призводить до нерівномірного змішування. Під час змішування твердої зернової сировини опір матеріалу до руху більший, що може посилити утворення мертвих зон. У зв'язку з цим було досліджено процес змішування за допомогою різкої конфігурації лопатевого змішувача для виявлення мертвих зон, а саме використання двох лопатей та п'яти лопатей. Результати показали, що під час змішування твердої зернової сировини ділянки біля кутів, країв або нижньої частини змішувача особливо вразливі. У процесі змішування за допомогою дволопатевого змішувача утворюється більше мертвих зон, ніж при застосування п'ятилопатевого змішувача. П'ятилопатевий змішувач краще працює для змішування при високих рівнях заповнення. Покращення змішування досягається за рахунок усунення мертвих зон при використанні більшої кількості лопатей у змішувачі.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Змішувачі для сипких матеріалів і методи оцінювання якості суміші. Режим доступу: <https://ir.stu.cn.ua/server/api/core/bitstreams/1a214f94-41b5-485e-af32-e634775c3b62/content>.
2. Бакалов В.Г. Аналіз існуючих теорій змішування сипучих матеріалів і методів оцінки якості суміші / В. Г. Бакалов // Вісник Черніг. держ. технолог. ун-ту. Серія «Технічні науки». Чернігів, 2008. № 34. С. 152–160.
3. Вплив параметрів змішувача на однорідності суміші при змішуванні компонентів у хлібопекарській галузі. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/382344695>.
4. Types of mixers: discover the many applications and benefits. URL: <https://www.iqsdirectory.com/articles/mixer/types-of-mixers.html>.
5. Diseño de una máquina mezcladora horizontal helicoidal de materias primas para la obtención de balanceado avícola con capacidad de 100 kg/h. URL: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/32496>.
6. Diseño y construcción de una máquina mezcladora de balanceado con capacidad de 100 kg/h. URL: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/5e3efc54-a1fa-4792-8a74-b5095336cd30>.
7. Інтегровані рішення і апаратурне оформлення перехідних процесів змішування компонентів у псевдошарі / В.А. Піддубний, Ю.В. Паньків, І.Я. Стадник, Є.А. Петриченко // Обладнання та технології харчових виробництв. 2021. № 1 (42). С. 82–90.
8. Класифікація пристроїв дозування. Режим доступу: <https://msd.com.ua/pakuvalne-obladnannya/klasifikaciya-pristrojiv-dozuvannya/>.
9. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв. Х.: Світ Книг, 2015. 496 с.
10. Diseño e implementación de un sistema para supervisión, monitoreo y control de un dosificador-mezclador industrial de líquidos de viscosidad intermedia basado en dispositivos para automatización. URL: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/b19d4101-5865-46ba-8d0f-33bf7e79e24a>.
11. Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales. URL: <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/6f7a457f-88e9-4f70-b263-6439e9687973/content>.
12. Développement et qualification du nouveau mélangeur à spirale cellier. URL: https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03814123v1/file/1990GRE17037_le%20bourgeois_thierry_SO_dif.pdf.
13. Процеси і апарати харчових виробництв / За редакцією А.М. Поперечного. К. Центр учбової літератури. 2007. 301 с.
14. Шалугін В.С. Процеси та апарати промислових технологій. К.: Центр учбової літератури. 2008. 392 с.
15. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси / К.О. Самойчук, В.Г. Тарасенко, В.О. Верхоланцева, Н.О. Паляничка, О.О. Червоткіна. К.: ПрофКнига, 2021. 466 с.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Design, development and performance evaluation of a horizontal ribbon - type livestock feed mixer. URL: <http://ir.haramaya.edu.et/hru/bitstream/handle/123456789/5063/Tadesse%20thesis%20at%20hit.pdf?sequence=1>.

17. Diseño, construcción y pruebas de un prototipo automatizado para dosificación y mezclado de 4 componentes, tres de ellos a granel y uno líquido obteniendo como mezcla hasta 15kg/h para el laboratorio de automatización industrial, implementado por la tecnología rockwell automation. URL: <https://repository.upb.edu.co/server/api/core/bitstreams/c1b7bd05-bc4e-4435-b6e1-0435a6a2d040/content>.

18. Solenoid valves. URL: <https://unoxus.com/solenoid-valves-guide>.

19. Драгілев А.І. Технологічні машини і апарати харчових виробництв. Колос, 1999. 376 с.

20. Ковецький Г.Д. Процеси і апарати харчових виробництв. Агропромиздат, 1991. 432.

21. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / В. Г. Мирончук та ін.; М-во освіти і науки України за ред. В. Г. Мирончука. Вінниця Нова книга, 2007. 648 с.

22. The essential guide to solenoid valves working principle. URL: https://www.linquip.com/blog/the-essential-guide-to-solenoid-valves-working-principle/#google_vignette.

23. Introduction to capacitive sensors. URL: <https://www.numberanalytics.com/blog/ultimate-guide-to-capacitive-sensors>.

24. What is an ultrasonic level sensor? – principle, applications, installation & calibration explained. URL: <https://plcblog.in/instruments/level-transmitter/ultrasonic-level-sensor.php>.

25. Процеси і апарати харчових виробництв / За ред. І.Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.

26. Датчики рівня. Режим доступу: <https://ukrayinska.libretexts.org/>.

27. Тензодатчики. Загальні відомості та принцип роботи. Режим доступу: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/5>.

28. Warren L. McCabe. Operaciones unitarias en ingeniería química. Aagitación y mezcla de líquidos. p.251.

29. Load cell – working, types, applications, advantages. URL: <https://plcblog.in/instruments/loadcell/load-cell-working-types-applications-advantages.php>.

30. Basics of level measurement, working principle and types. URL: <https://www.instrumentationblog.in/basics-of-level-measurement/>.

31. Mixing performance of ribbon mixers: effects of operational parameters. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591017308781>.

32. Addressing dead zones in high-viscosity mixing operations. URL: <https://legendary11.com/blogs/view/28529/addressing-dead-zones-in-high-viscosity-mixing-operations>.

					ННІЕТ КНУ.133.зГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48