

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) \_\_\_\_\_ ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого  
Кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»  
Директор інституту(декан факультету)  
Сергій БЛАЖЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
Микола ЯКИМЧУК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв

на тему: Удосконалення змішувача для багатокomпонентних харчових сумішей продуктивність 250 кг/цикл

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-2М

—

Данилишин Сергій Володимирович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник проф. Якимчук Микола Володимирович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2025р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

Освітня програма «Інжиніринг харчових виробництв»

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТОКТП

проф. Микола ЯКИМЧУК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Данилишин Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення змішувача для багатокомпонентних харчових сумішей продуктивність 250 кг/цикл

керівник проекту (роботи) Якимчук Микола Володимирович, докт.техн.наук

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «17» вересня 2024 р. № 712-кс.

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2025р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат; Зміст; Вступ; Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження; Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження; Дослідна частина та узагальнення результатів; Розрахункова частина; Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування; Заходи з охорони праці та охорони довкілля; Маркетингове обґрунтування проекту; Висновки; Список використаних джерел.

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

Загальний вигляд обладнання – 3 аркуші; Деталі та вузли обладнання – 3 аркуші; Схема автоматизації – 1 аркуш; Технологічна карта збирання вузла – 1 аркуш, Наукова частина – 2 аркуші.

**6. Консультанти розділів роботи**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 18.09.2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Реферат, зміст</i>	20.09.2025	
2	<i>Вступ</i>	25.09.2025	
3	<i>Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження</i>	30.09.2025	
4	<i>Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження</i>	10.10.2025	
5	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	26.10.2025	
6	<i>Розрахункова частина</i>	30.10.2025	
7	<i>Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування</i>	15.11.2025	
8	<i>Заходи з охорони праці та охорони довкілля</i>	20.11.2025	
9	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	23.11.2025	
10	<i>Висновки</i>	29.11.2025	
11	<i>Список використаних джерел</i>	29.11.2025	
12	<i>Графічна частина: 10 аркушів</i>	30.11.2025	
13	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.12.2025	

**Здобувач**\_\_\_\_\_  
( підпис )Данилишин С.В.

(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**\_\_\_\_\_  
( підпис )Якимчук М.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

У сучасних умовах харчової промисловості важливим є створення змішувачів, здатних забезпечувати високу продуктивність, гнучкість налаштувань і стабільні показники однорідності при роботі з харчовими компонентами різної густини, гранулометричного складу та фізико-механічних властивостей.

У межах дипломного проєкту виконано комплексне дослідження, спрямоване на розроблення та вдосконалення змішувача для багатокомпонентних харчових сумішей продуктивністю 250 кг/цикл.

У роботі запропоновано нову конструкцію змішувального вузла з оптимізованими лопатевими робочими органами та геометрією бункера, що забезпечує інтенсивні циркуляційні потоки та рівномірний розподіл компонентів по всьому об'єму суміші. Обґрунтовано раціональні параметри частоти обертання валів, кута нахилу лопатей та ступеня заповнення змішувача, що дозволяють мінімізувати енерговитрати при одночасному підвищенні ступеня однорідності. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили визначити залежності між конструктивно-технологічними параметрами та ефективністю змішування. На основі отриманих результатів розроблено конструктивне удосконалення змішувача,.

**Метою дипломного проєкту** є удосконалення змішувача для багатокомпонентних харчових сумішей продуктивністю 250 кг/цикл.

**Об'єктом дослідження** є процеси змішування багатокомпонентних харчових сумішей у лопатевих змішувачах.

**Предметом дослідження** є конструктивні, кінематичні та технологічні рішення, що забезпечують інтенсифікацію процесу змішування.

**Ключові слова:** змішувач, багатокомпонентні суміші, лопатеві робочі органи, інтенсифікація змішування, однорідність.

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження	Вид документа <b>Пояснювальна записка</b>	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа <b>Данилишин С.В.</b> Документ затверджено <b>Якимчук М.В.</b>	Назва, додаткова назва <b>Реферат</b>	<b>240245.KP.02.000ПЗ</b>			
			Інд. змін.	Дата видання	Мова	Аркуш
					<b>UA</b>	

## ABSTRACT

In modern food industry conditions, it is essential to develop mixers capable of ensuring high productivity, flexible adjustment settings, and stable homogeneity indicators when processing food components of different density, particle size distribution, and physico-mechanical properties. Within this diploma project, a comprehensive study aimed at designing and improving a mixer for multicomponent food mixtures with a capacity of 250 kg per cycle has been carried out.

The work proposes a new design of the mixing unit featuring optimized blade-type working elements and an improved hopper geometry, which ensures intensive circulation flows and uniform distribution of components throughout the entire volume of the mixture. Rational parameters of shaft rotation speed, blade inclination angle, and mixer filling level have been substantiated, making it possible to minimize energy consumption while simultaneously increasing the degree of mixture homogeneity.

The theoretical and experimental studies carried out made it possible to determine the relationships between structural-technological parameters and mixing efficiency. Based on the obtained results, a constructive improvement of the mixer has been developed.

The aim of the diploma project is to improve a mixer for multicomponent food mixtures with a capacity of 250 kg per cycle.

The object of the study is the mixing processes of multicomponent food mixtures in blade-type mixers. The subject of the study includes constructive, kinematic, and technological solutions that ensure intensification of the mixing process.

**Keywords:** mixer, multicomponent mixtures, blade working elements, mixing intensification, homogeneity.

## ЗМІСТ

Реферат.....	4
Зміст.....	6
Вступ .....	7
1. Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження .....	9
2. Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження .....	23
3. Дослідна частина та узагальнення результатів .....	27
4. Розрахункова частина.....	37
5. Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування .....	51
6. Заходи з охорони праці та охорони довкілля .....	56
7. Маркетингове обґрунтування проекту .....	62
Висновки .....	67
Список використаних джерел.....	68

## ВСТУП

Сучасна харчова промисловість характеризується швидким розширенням асортименту продукції, зростанням частки функціональних, дієтичних та спеціалізованих харчових сумішей, а також підвищенням вимог до їх якості та стабільності. Це зумовлює необхідність удосконалення технологічного обладнання, зокрема змішувачів, що забезпечують отримання однорідних багатокомпонентних сумішей із заданими реологічними та структурними характеристиками.

Ринок змішувального обладнання України значною мірою залежить від імпортних постачальників, особливо у сегменті змішувачів середньої продуктивності, які широко використовуються у виробництві сухих сніданків, концентратів, спецій, харчових добавок, кондитерських та інших сухих багатокомпонентних рецептур. Вітчизняних інженерних рішень у цьому напрямі недостатньо, що створює потребу у розробці власних технологічно досконалих та економічно доступних змішувачів.

Актуальність роботи визначається необхідністю підвищення ефективності та точності процесів змішування, мінімізації енерговитрат, підвищення ступеня однорідності суміші, а також адаптації обладнання до широкого спектра харчових компонентів, що відрізняються гранулометричним складом, густиною та фізико-механічними властивостями. Особливо важливим є вдосконалення конструкції робочих органів і геометрії змішувальної ємності, оскільки саме ці елементи визначають інтенсивність циркуляційних потоків та якість кінцевого продукту.

Новизна проєкту полягає у розробленні модернізованого змішувального вузла з оптимізованими лопатевими робочими органами та уточненими параметрами кутів нахилу, частоти обертання валів і конфігурації бункера, що забезпечує підвищення однорідності суміші та зменшення питомої енергоємності процесу.

**Метою дипломного проєкту** є удосконалення змішувача для багатокomпонентних харчових сумішей продуктивністю 250 кг/цикл.

**Об'єктом дослідження** є процеси змішування багатокomпонентних харчових сумішей у лопатевих змішувачах.

**Предметом дослідження** є конструктивні, кінематичні та технологічні рішення, що забезпечують інтенсифікацію процесу змішування та підвищення якості готових сумішей.

Результати роботи спрямовані на вирішення актуальних інженерних завдань щодо підвищення продуктивності, надійності та технологічної ефективності змішувача, а також на створення перспективної моделі обладнання для харчових підприємств малого та середнього масштабу виробництва.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Класифікація змішувачів для сипучих харчових продуктів

Змішувачі, що застосовуються у харчовій промисловості для змішування сипучих компонентів, мають широку різноманітність конструкцій і класифікуються за низкою ознак, що визначають їхній технологічний потенціал та сферу застосування.

Однією з ключових ознак є принцип дії, за яким змішувачі поділяються на:

- періодичної дії, у яких завантаження компонентів, змішування та вивантаження здійснюються окремими циклами. Такі апарати широко застосовують у виробництвах, де важливо забезпечити високу однорідність суміші та можливість змінювати рецептуру;
- безперервної дії, що забезпечують постійне завантаження продукту та його перемішування з одночасним безперервним вивантаженням. Такі змішувачі використовують у високопродуктивних потокових лініях.

Важливою класифікаційною ознакою є розташування робочого органу, відповідно до якого змішувачі поділяються на:

- горизонтальні: найпоширеніший тип у виробництві сипких харчових продуктів, оскільки забезпечує інтенсивне перемішування та простоту обслуговування;
- вертикальні: застосовуються для змішування сировини з невисокою структурною міцністю або для делікатного перемішування;
- похилі: конструктивний компроміс між вертикальними і горизонтальними апаратами, що дозволяє оптимізувати режим пересипання матеріалу.

За типом робочого органу змішувачі поділяють на:

- стрічкові - застосовуються в харчовій промисловості для рівномірного змішування сипких та гранульованих компонентів;

- спіральні - забезпечують плавну циркуляцію матеріалу та підходять для малогабаритних установок;
- прямі лопатеві та суцільні лопатеві - створюють інтенсивні турбулентні потоки й широко застосовуються у змішувачах періодичної дії;
- переривчасті лопатеві, що використовуються для перемішування складних багатокомпонентних систем;
- гвинтові - забезпечують переміщення продукту вздовж апарата, поєднуючи змішування та транспортування;
- комбіновані, зокрема: гвинтово-лопатеві та спірально-лопатеві

За кількістю валів розрізняють:

- одновалові змішувачі, конструктивно прості та надійні, але з дещо обмеженою інтенсивністю перемішування;
- багатовалові змішувачі, які забезпечують високу продуктивність та однорідність суміші завдяки одночасній роботі декількох робочих органів.

За кінематичним режимом роботи змішувачі бувають:

- швидкохідні, які забезпечують інтенсивне механічне подрібнення грудок та швидке отримання однорідної суміші;
- тихоходні, що використовуються для делікатного перемішування компонентів, схильних до руйнування або розшарування.

Таким чином, різноманіття конструктивних рішень у сфері змішувачів дозволяє підібрати оптимальний апарат для будь-якого технологічного завдання від простого змішування сипучих компонентів до створення складних багатокомпонентних харчових сумішей з високими вимогами до однорідності та стабільності (рис.1.1).



Рисунок 1.1 Класифікація змішувачів для сипучих харчових продуктів

### 1.1. Огляд конструкцій обладнання для перемішування сипких харчових компонентів

Змішувач періодичної дії, як правило, являє собою ємність для змішування, всередині якої розташовані робочі органи, що забезпечують механічну дію на сипучий харчовий продукт. Відомо, що ефективність процесу змішування залежить від форми та геометричних параметрів корпусу змішувача, а також від конструкції та схеми руху робочих органів. Корпус може виконуватися як у нерухомому варіанті, так і в обертовому виконанні.

Однією з найбільш поширених конструкцій змішувачів періодичної дії є порційний змішувач типу СМ-2, зображений на рисунку 1.1. Він складається з циліндричного бункера, всередині якого вертикально встановлено вал з лопатями. У нижній частині на валу розташований шків пасової передачі, що приводиться в рух асинхронним електродвигуном потужністю 3 кВт. Перевагою такої конструкції є її технологічна простота, яка забезпечує високу механічну надійність. Недоліками є необхідність ручного дозування

компонентів, значні енерговитрати під час технологічного процесу, а також потреба у додаткових зусиллях оператора під час вивантаження готової суміші.



Рисунок. 1.2 –Змішувач СМ-2

Указана конструкція є змішувачем періодичної дії, що, у свою чергу, збільшує тривалість обробки сипучого харчового продукту, особливо у випадках із підвищеними вимогами до однорідності суміші. Для інтенсифікації змішування таких продуктів розроблені змішувачі планетарного типу, зокрема змішувач СПШ/20.

Процес змішування у планетарних змішувачах здійснюється за допомогою шнекових або лопатевих мішалок. Загальний вигляд змішувача СПШ/20 подано на рисунку 1.2, а, а кінематична схема — на рисунку 1.2, б. Особливістю привода є те, що його конструкція змушує шнек виконувати складний просторовий рух.

Шнек одночасно переміщується по траєкторії, що повторює внутрішній контур бункера, та обертається навколо власної осі. Завдяки цьому вміст бункера активно переміщується з нижньої зони до верхньої, піддаючись комплексному механічному впливу. Конічна форма змішувального бункера

забезпечує постійний рух продукту по вертикалі, сприяючи вирівнюванню густини суміші.

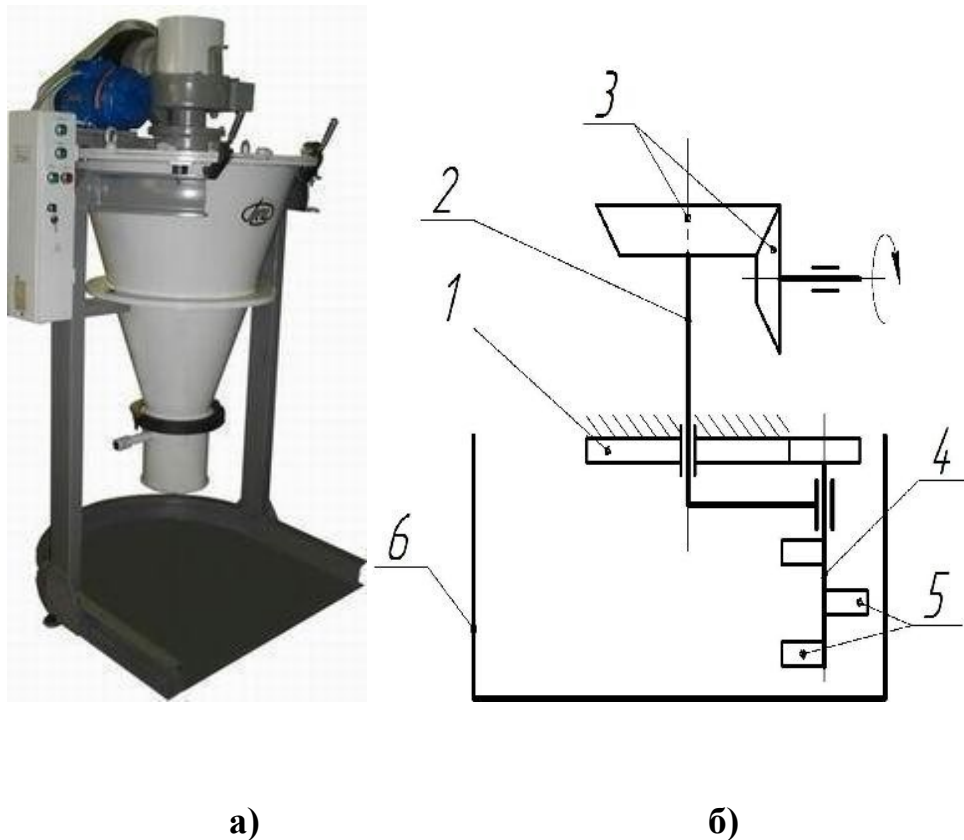


Рисунок. 1.3 – Загальний вигляд (а) та кінематична схема (б) планетарно-шнекового змішувача СПШ/20: 1 – змішувальний бункер; 2 – шнек; 3 – водило; 4 – шестерні; 5 – нерухома закріплена шестерня.

Завдяки складній траєкторії руху робочого органа інтенсивність змішування значно підвищується, а якість суміші покращується за рахунок зменшення коефіцієнта варіації та ефективного руйнування грудок. Серед недоліків цієї конструкції можна виокремити ускладнену та матеріаломістку будову привода. Крім того, такі змішувачі зазвичай мають порівняно невеликі габаритні розміри. У більшості технологічних процесів змішування сипких харчових продуктів застосовуються два основні типи обладнання:

1. обертові барабанні змішувачі, у яких перемішування відбувається за рахунок перекочування та пересипання матеріалу,

2. змішувачі з обертовими робочими органами лопатевими, шнековими, рамковими та іншими механічними системами, що забезпечують інтенсивний зсувний вплив на продукт.

Одним із поширених прикладів є обертовий конусний змішувач (рис. 1.3). Його конструкція включає конусоподібну ємність та внутрішній вал із робочими органами, які обертаються у протилежних напрямках.



Рисунок. 1.4 - Конусний змішувач

Такий кінематичний режим створює комбіновану дію на матеріал, що суттєво підвищує ефективність процесу змішування та забезпечує високу однорідність готової суміші (рис. 1.5).



Рисунок. 1.5 - Робочі органи конусного змішувача

Наявність цифрового таймера полегшує контроль тривалості технологічного циклу. Змішувачі цього типу застосовують для змішування харчових порошків,

спецій, сухих добавок та інших компонентів у середньо- та малотоннажному виробництві.

Процеси перемішування. Змішування в апаратах барабанного та комбінованого типу відбувається під дією двох основних груп процесів:

- конвективних (циркуляційних) пов'язаних із переміщенням великих мас продукту всередині робочого об'єму; вони забезпечують основний обсяг перемішування;
- дифузійних (локальних) виникають унаслідок відносного зсуву частинок між собою, що змінює сили тертя та адгезії і сприяє формуванню однорідної структури суміші.

Поєднання цих макро- та мікропроцесів визначає якість змішування у більшості апаратів періодичної дії.

Горизонтальний стрічковий змішувач: Одним із найефективніших змішувачів для сипких харчових продуктів є горизонтальний стрічковий змішувач (рис. 1.5).



Рисунок 1.6 - Змішувачі з обертовими робочими органами

Його конструкція являє собою коритоподібний корпус, усередині якого розташований вал із подвійними стрічковими навивками типу «S» (рис. 1.7).



Рисунок. 1.7 - Вал з робочими органами типу «S»

Особливістю конструкції є протилежний напрям витків внутрішньої та зовнішньої стрічок, що дозволяє:

- нейтралізувати небажані транспортуючі ефекти;
- створити інтенсивні зустрічні потоки матеріалу;
- забезпечити рівномірне й швидке перемішування навіть складних багатокомпонентних сумішей.

Для підвищення однорідності передбачена можливість реверсивного обертання вала, що створює додаткові турбулентні потоки у робочому просторі.

Вивантаження продукту здійснюється при працюючому змішувачі через центральний або торцевий патрубок, що підвищує продуктивність і спрощує інтеграцію в лінію. Усі елементи, що контактують із харчовою сировиною (корпус, вал, стрічкові навивки), виготовляються з корозійностійкої харчової сталі.

Стрічкові вертикальні змішувачі є одним із найпоширеніших типів обладнання для змішування сипких харчових продуктів. Їх конструкція забезпечує формування інтенсивного тривимірного потоку, що сприяє отриманню однорідної суміші у широкому діапазоні режимів роботи.

Залежно від кількості робочих валів стрічкові змішувачі поділяються на одновальні (рис. 1.7), двовальні (рис. 1.8) та багатовальні. Основним конструктивним елементом є вертикальний бункер, у якому розміщений вал зі стрічковими навивками. Під час обертання вал створює тривимірний циркуляційний потік: матеріал підіймається гвинтовою траєкторією вздовж бічних стінок і опускається вниз у центральній зоні змішувача. Такий рух

формує стабільну циркуляцію частинок і забезпечує рівномірну гомогенізацію суміші.

Привод змішувача встановлений у верхній частині конструкції, що дозволяє мінімізувати кількість опорних вузлів та використовувати лише один або два підшипники залежно від конструктивного виконання.

Одновальний змішувач (рис. 1.7) формує базовий циркуляційний потік середньої інтенсивності, який є достатнім для більшості сипких продуктів із близькими реологічними властивостями.



Рисунок. 1.8 - Вертикальний одновальний стрічковий змішувач

Двовальний змішувач (рис.1.9) відзначається вищою інтенсивністю перемішування завдяки взаємодії двох незалежних стрічкових валів. Синхронізована робота валів підсилює циркуляцію та усуває застійні зони, що забезпечує швидше отримання гомогенної суміші навіть у складних багатокомпонентних рецептурах.

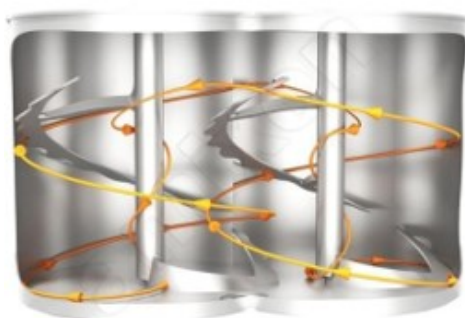


Рис.унок 1.10 - Вертикальний двовальний стрічковий змішувач

Стрічкові вертикальні змішувачі застосовують для роботи з широким спектром продуктів:

- сипкі харчові продукти (борошно, цукор, крупи, суміші добавок);
- пастоподібні маси;
- рідкі компоненти у складі комбінованих рецептур;
- тістоподібні суміші.

Важливою перевагою є збереження якості змішування при рівні завантаження від 10 % до 100 % робочого об'єму, що робить ці змішувачі універсальними та економічно ефективними в експлуатації

Попри низку переваг стрічкових вертикальних змішувачів, їх використання має певні технічні та економічні обмеження. Передусім це стосується високої вартості обладнання, яка значно впливає на собівартість кінцевого продукту і, відповідно, знижує його конкурентоспроможність на ринку. Додатковим недоліком є недостатня інтенсифікація процесу змішування, оскільки конструкція не передбачає повороту змішувального корпусу разом із матеріалом на 360° навколо горизонтальної осі. Відсутність такого руху не дає можливості реалізувати гравітаційний ефект, який сприяє руйнуванню агломератів та зменшенню адгезійних сил між частинками сипкого продукту.

У випадках, коли компоненти суміші мають близькі значення густини та гранулометричного складу, а вимоги до однорідності готового продукту є помірними, доцільним є застосування шнекових змішувачів (рис. 1.9). Такі змішувачі вирізняються конструктивною простотою, надійністю та невисокою вартістю, що робить їх популярними на малих і середніх виробництвах.

Шнекові апарати забезпечують переважно транспортний рух матеріалу — продукт переміщується порціями вздовж шнека, що послаблює інтенсивність перемішування і не завжди дозволяє досягти високої гомогенності суміші. Тертя продукту об навивку шнека та вал частково сприяє руйнуванню агломератів, однак цього недостатньо для складних багатоконпонентних рецептур.

Підвищити ефективність роботи шнекового змішувача можливо за рахунок таких технічних рішень:

- застосування сегментної або перфорованої стрічки;
- встановлення навивки під різними кутами атаки;
- використання декількох шнеків у єдиному корпусі, що транспортують продукт у протилежних напрямках;
- інтеграція додаткових систем активації змішування (лопатевих, турбулізаційних, ударних тощо).

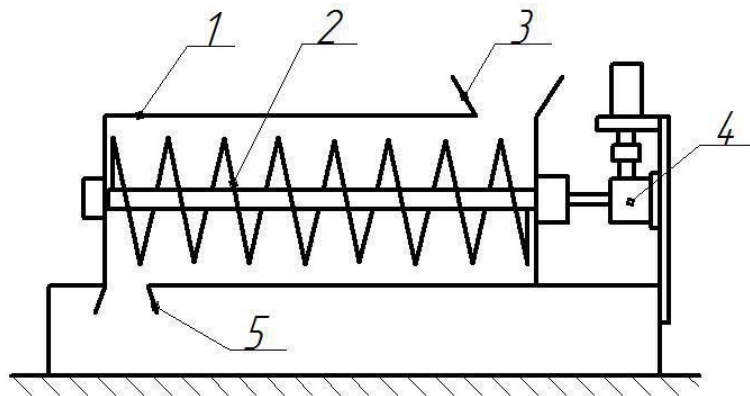


Рисунок. 1.11 - Схема одновального шнекового змішувача: 1 – корпус; 2 – шнек; 3 – завантажувальна горловина; 4 – електродвигун з редуктором; 5 – вивантажувальна горловина.

Шнекові змішувачі також можуть суміщувати процеси змішування з додатковими технологічними операціями, такими як запарювання компонентів, часткове подрібнення або попередня термообробка, що розширює можливості їх застосування.

Лопатеві змішувачі, загальна схема яких наведена на рис. 1.10, належать до групи апаратів із механічними робочими органами та характеризуються вищою інтенсивністю перемішування порівняно зі шнековими конструкціями. Це дозволяє виконувати їх у компактніших габаритах при збереженні необхідної продуктивності та однорідності змішування.

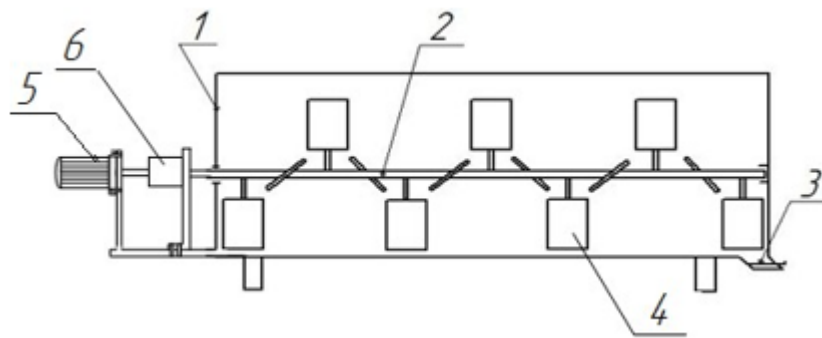


Рис. 1.12 — Схема лопатевого змішувача: 1 – бункер; 2 – вал; 3 – вивантажувальна горловина; 4 – лопаті; 5 – електродвигун; 6 – редуктор.

Головною перевагою лопатевих змішувачів є можливість гнучкого налаштування їх конструктивних параметрів. Зокрема, лопаті можуть встановлюватися під різними кутами атаки, а їх площу, форму та орієнтацію можна змінювати залежно від технологічних вимог. Це забезпечує ефективне змішування сипких матеріалів та рідких компонентів як з високою, так і з низькою густиною.

Особливий інтерес викликають моделі, призначені для роботи з багатокомпонентними рецептурами, де необхідно рівномірно розподіляти рідкі добавки або жирові компоненти по масі сухої суміші. Найвищу якість змішування забезпечують двовальні лопатеві змішувачі, робочі органи яких створюють зустрічні потоки матеріалу. Такий принцип роботи дозволяє інтенсивно руйнувати грудки, усувати агломерацію час. Високоєфективні вібраційно-лопатеві змішувачі

. Особливістю цих апаратів є поєднання дії зустрічних лопатевих потоків та вібраційного впливу, що значно прискорює обмін часток і підвищує гомогенність суміші (рис. 1.13).

Робоча камера 1 утворює єдину конструкцію з кронштейнами 2 та противагою 3, що забезпечує стабільність роботи. Вібраційний вплив генерується валом 5 із дебалансом 6, який приводиться в дію окремим приводом 4. Вся система встановлена на пружних елементах 7, що мінімізують передачу коливань на опорну раму 8.

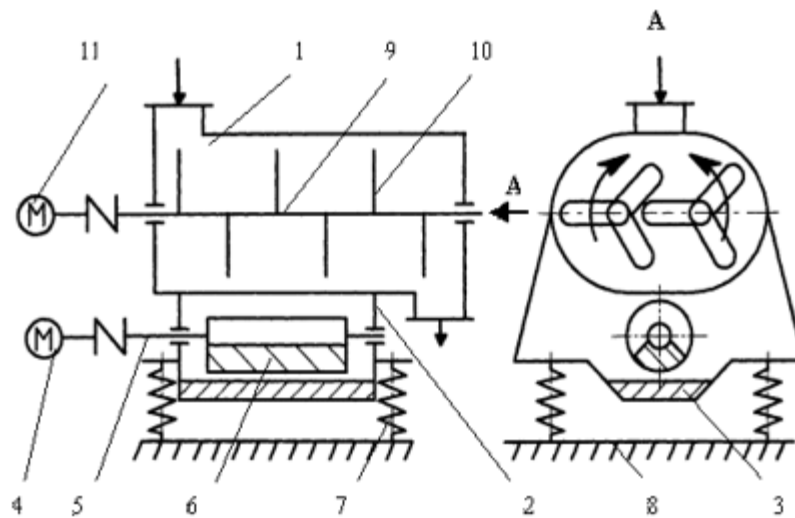


Рисунок. 1.13 - Схема двовального віброзмішувача типу ДВС–Н: 1 – камера змішування; 2 – кронштейни; 3 – противага; 4 – електродвигун приводу вала вібратора; 5 – вал вібратора; 6 – дебаланс; 7 – пружини; 8 – рама; 9 – вал; 10 – лопаті; 11 – електродвигун приводу лопатевих валів

Усередині камери розміщено два вали 9 з лопатями 10, які обертаються назустріч один одному від спільного електродвигуна 11. Лопаті відрізняються за кутами атаки:

- частина лопатей із кутом  $90^\circ$  переміщує суміш у радіальному напрямку;
- лопаті з кутом  $45^\circ$  забезпечують активне транспортування в осьовій площині.

Поєднання двох протилежно спрямованих потоків та вібраційного впливу створює інтенсивну турбулізацію маси, що робить змішувачі ДВС-Н особливо ефективними для складних багатокомпонентних сумішей із різною густиною.

### Висновки до розділу 1

У результаті аналізу сучасних конструкцій та принципів роботи змішувачів для сипких харчових продуктів можна сформулювати такі узагальнення:

1. Розвиток обладнання для змішувальництва спрямований на підвищення технічної надійності, ефективності та економічності. Сучасні змішувачі мають забезпечувати стабільну якість готової суміші, мінімізуючи енерговитрати та собівартість виробництва. Вимоги ринку також передбачають розширення функціональних можливостей обладнання при збереженні високих технологічних, санітарно-гігієнічних та ергономічних показників.

2. Перспективним напрямом розвитку є комбіновані змішувачі, що поєднують гравітаційне та механічне перемішування. Інтеграція гравітаційних процесів із роботою активних механічних робочих органів дозволяє значно інтенсифікувати перемішування, забезпечити високу однорідність суміші та одночасно зменшити енергоємність процесу. Застосування таких гібридних схем робить можливим створення компактних, продуктивних і технологічно гнучких апаратів.

Таким чином, аналіз існуючих конструкцій змішувачів підтверджує необхідність впровадження удосконалених технічних рішень, що поєднують переваги різних принципів змішування та забезпечують підвищення ефективності виробництва сипких харчових сумішей.

**РОЗДІЛ 2**  
**РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ**  
**ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ**

**2.1. Обґрунтування вибору базової конструкції для удосконалення**

Об'єктом удосконалення в цій магістерській роботі є змішувач періодичної дії, призначений для отримання багатокомпонентних харчових сумішей. До цього класу належать машини з лопатевими робочими органами, які забезпечують інтенсивне перемішування сипких, гранульованих, пастоподібних і частково в'язких продуктів.

У промисловості застосовують змішувачі з робочими ємностями 70, 350 і 500 л. Агрегати об'ємом 350–500 л використовуються на великих підприємствах із великим обсягом виробництва, тоді як змішувачі на 70 л поширені на невеликих виробництвах, де важлива компактність. Для малих та середніх виробництв оптимальною вважається місткість 150–180 л, яка забезпечує необхідну продуктивність без надмірних енерговитрат і капітальних витрат.

**2.2. Опис та аналіз прототипу**

Як базову модель для порівняння та подальшого удосконалення обрано змішувач А2-ХТП, що використовується для приготування харчових мас та характеризується такими параметрами:

- продуктивність — до 130 кг/год;
- об'єм робочої ємності — 100 л;
- кількість робочих валів — 2 шт.;
- частота обертання валів — 30 об/хв;
- потужність привода — 3 кВт;
- маса одного замісу — до 40 кг;
- ручне вивантаження шляхом повороту ємності;
- підігрів робочої ємності — проточною водою.

Недоліки прототипу: низька продуктивність, малий об'єм, відсутність механізованого вивантаження, застаріла система підігріву та обмежені можливості автоматизації. Враховуючи вимоги до продуктивності змішування багатокомпонентних харчових сумішей, орієнтовні параметри модернізованого змішувача визначено такими:

- продуктивність до 250 кг/цикл;
- корисний об'єм робочої ємності 165 л;
- кількість робочих валів 2 шт.;
- тип лопатей Z-подібні;
- частота обертання валів 30–40 об/хв;
- потужність привода до 4 кВт;
- система підігріву циркуляційна водяна рубашка з автоматичним регулюванням температури.

Такі параметри дозволяють досягнути необхідної продуктивності та високої якості перемішування за рахунок інтенсифікації потоків у робочій зоні.

Основні напрями його удосконалення:

- заміна литого корпусу на зварну конструкцію, зменшення маси та підвищення ремонтпридатності;
- оснащення насоса водяною рубашкою, що дозволяє регулювати її нагрів;
- оптимізація внутрішньої геометрії камери для збільшення продуктивності.

Як базовий прототип насосного вузла прийнято шестеренчастий насос типу А2-ШНК. Удосконалення цього вузла полягає в заміні литого корпусу та кришок, які не мали системи підігріву, на зварну конструкцію з інтегрованою водяною рубашкою. Це забезпечує стабільне підтримання температури продукту, покращує його технологічні властивості та розширює сферу застосування обладнання для роботи з харчовими сумішами різної в'язкості.

Насос приводиться в рух єдиним приводом, який одночасно забезпечує обертання робочих валів змішувача. Робочі вали зі Z-подібними лопатями виконуються у вигляді зварної конструкції, що підвищує їх міцність і довговічність при роботі з густими або абразивними сумішами.

Вибір Z-подібних лопатей обумовлений тим, що така геометрія найбільш ефективна при використанні двох паралельних валів у спільній ємності. Вона забезпечує інтенсивне перемішування, потужні осьові й радіальні потоки, ефективне руйнування грудок та рівномірний розподіл мікрокомпонентів у всьому об'ємі суміші.

### 2.3 Будова та принцип роботи удосконаленого змішувача

На рисунках 2.1 представлено модернізований змішувач для приготування багатокомпонентних харчових сумішей у періодичному режимі.

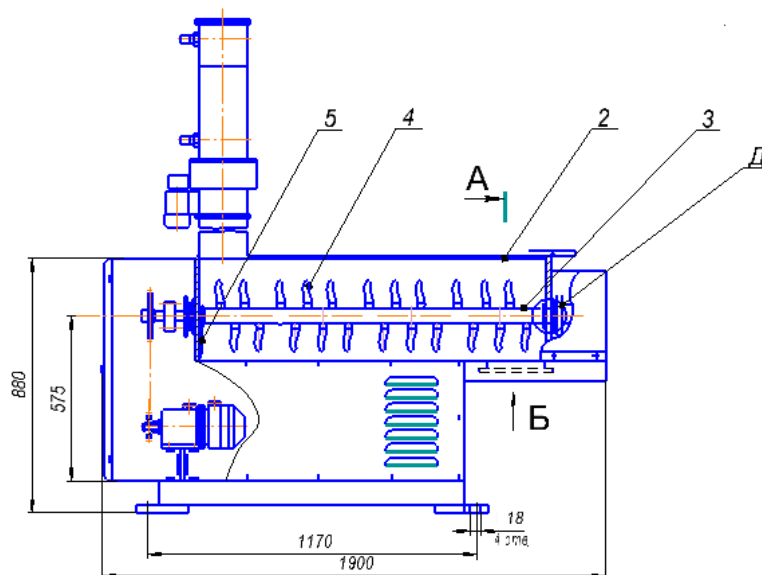


Рисунок 2.1 Модернізований змішувач для приготування багатокомпонентних харчових сумішей

Конструкція обладнання включає такі основні вузли:

- 1 — робоча ємність;
- 2 — робочі вали з Z-подібними лопатями;

- 3 — електропривід змішувача;
- 4 — приводний вал;
- 5 — електропривод;

#### Принцип роботи змішувача

Після завантаження інгредієнтів до робочої ємності вмикається привід, і Z-подібні лопаті починають перемішувати компоненти до утворення однорідної структури. Інтенсивні зсувні та осьові потоки забезпечують швидке вирівнювання складу суміші навіть при наявності компонентів різної дисперсності.

Після первинної стадії перемішування відкривається клапан розвантажувального патрубку.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для встановлення раціональних конструктивних і технологічних параметрів робочого процесу змішувача багатокомпонентних харчових сумішей продуктивністю 250 кг/цикл необхідно виконати комплекс науково-експериментальних досліджень. Програма досліджень спрямована на визначення закономірностей взаємодії робочих органів з сипким матеріалом, оптимізацію параметрів змішування та мінімізацію енерговитрат.

#### 3.1. Дослідження впливу висоти шару суміші на зусилля її переміщення

Першим етапом є визначення того, як висота насипу суміші у змішувальній ємності впливає на зусилля, необхідне для переміщення частинок робочими органами. Це дозволяє визначити динамічний коефіцієнт внутрішнього тертя, який суттєво впливає на:

- момент, що створюють лопаті під час роботи;
- необхідну потужність приводу;
- ефективність руйнування агломератів;
- інтенсивність циркуляційних потоків у змішувачі.

Ці дослідження дають змогу встановити оптимальну висоту завантаження, при якій забезпечується стабільна робота змішувача та необхідний ступінь гомогенізації суміші.

#### 3.2. Вивчення впливу кінематичних параметрів на продуктивність та енергоємність процесу

Другим етапом передбачається дослідження взаємодії трьох основних факторів:

- частоти обертання робочих валів із Z-подібними лопатями,
- кінематичного положення лопатей та їх геометричного нахилу,
- ступеня відкриття розвантажувального або циркуляційного вікна (у разі використання рециркуляційної системи).

Метою цього етапу є:

- встановлення закономірностей впливу перелічених факторів на продуктивність змішування;
- визначення їх впливу на питомі енерговитрати процесу;
- виявлення критичних режимів, що спричиняють надмірні механічні навантаження або зниження однорідності суміші.

У результаті визначаються раціональні значення частоти обертання валів і конструктивні особливості робочих органів, що дозволяє забезпечити необхідну продуктивність 250 кг/цикл.

### **3.3 Методика дослідження впливу висоти шару багатокомпонентної суміші на зусилля переміщення частинок**

У процесі роботи змішувача багатокомпонентних харчових сумішей частинки здійснюють складний просторовий рух, який визначається взаємодією між ними, робочими органами та внутрішніми поверхнями змішувальної ємності. Визначення величини зусилля, необхідного для переміщення окремих частинок по висоті продукту, є важливим етапом при встановленні раціональних режимів змішування та оцінці навантаження на привід робочих органів.

На величину зусилля, що потрібне для переміщення частинок у масі суміші, суттєво впливають такі фактори:

- внутрішнє тертя між частинками;
- тиск шару продукту на елемент, що переміщується;
- фізико-механічні властивості компонентів (форма, дисперсність, насипна густина);
- кінематичні параметри руху робочих органів.

Для досліджень використовували модель сипкої харчової суміші, фізичні характеристики якої відповідають типовим багатокомпонентним рецептурам (борошняні, цукрові, гранульовані та порошкоподібні інгредієнти).



обробку виконували в середовищі MathCAD, застосовуючи багаторівневий підхід. Оскільки механізм мікропереміщень частинок у щільному сипкому середовищі вивчений недостатньо, процедура встановлення математичної моделі здійснювалася у два етапи.

На першому етапі визначали форму математичної залежності, яка з найбільшою достовірністю відтворює імовірнісні характеристики зусилля переміщення частинок.

На другому етапі здійснювали підбір коефіцієнтів регресії для обраної моделі та оцінювали її адекватність.

На основі проведених дослідів отримано залежності сили переміщення окремої контрольної частинки (позначено як  $F_1, H$ ) та групи з трьох частинок (позначено як  $F_3, H$ ), розташованих на відстані 50 мм одна від одної, від висоти шару суміші  $h$ , мм.

Аналітичні вирази для цих залежностей наведені у формулах (3.1)–(3.2).

Залежність зусилля переміщення однієї частинки:

$$F_1(h) = -1,61 + 1,57 \ln(h), \quad (3.1)$$

Коефіцієнт детермінації:  $R^2 = 0,938$  що підтверджує високу відповідність моделі реальному фізичному процесу.

Залежність зусилля переміщення трьох частинок:

$$F_3(h) = -1,543 + 2,087 \ln(h), \quad (3.2)$$

Коефіцієнт детермінації також становить:  $R^2 = 0,938$

Графічні інтерпретації рівнянь наведено на рисунку 3.1.



Рисунок. 3.1- Графічна залежність зусилля  $F$  (Н), необхідного для переміщення частинки багатокомпонентної суміші по довжині, від висоти шару  $h$ , мм (Коефіцієнт детермінації моделей становить  $R^2 = 0,826$ )

У процесі подальших досліджень визначено залежності зусилля переміщення частинок у напрямку товщини шару багатокомпонентної суміші. Графічні залежності сили для одиночної частинки ( $F_1$ ) та групи частинок ( $F_3$ ) наведені на рисунку 4.2.

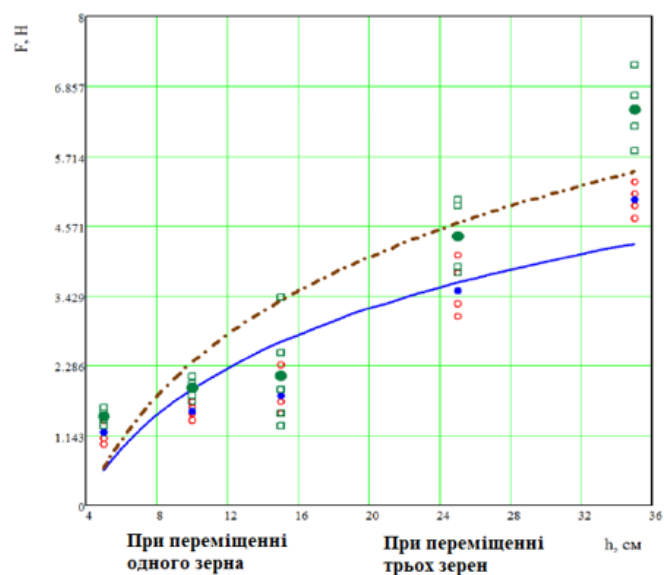


Рис. 3.2 — Графічна залежність зусилля  $F$  (Н), необхідного для переміщення частинок усередині шару багатокомпонентної суміші, від висоти  $h$ , мм (Коефіцієнт детермінації моделей становить  $R^2 = 0,806$ )

Форма отриманих залежностей дає підстави стверджувати, що:

- при переміщенні частинок у горизонтальному напрямку в суміші частково проявляється «*тунельний ефект*» у масі формується локальний канал, що знижує опір переміщенню;
- зростання товщини шару суміші призводить до підвищення нормального тиску та збільшення сили тертя між частинками, що закономірно зумовлює зростання необхідного зусилля;
- групове переміщення частинок потребує суттєво більшого зусилля, ніж переміщення одиночної частинки, що підтверджує нелінійну природу міжчастинкових контактних взаємодій у багатокомпонентних рецептурах;
- отримані залежності можуть бути використані для уточнення навантаження на робочі органи змішувача, оцінювання необхідної потужності приводу та оптимізації режимів роботи.

### 3.5. Оцінювання якості змішування

Оцінювання якості змішування у виробничих умовах здійснюють шляхом статистичної обробки результатів, отриманих під час дослідження проб, відібраних із готової суміші. Природно, що об'єм окремої проби є значно меншим за загальний об'єм партії. Для характеристики змішаного матеріалу зазвичай виготовляють плівки або листи відповідно до встановленого технологічного режиму, використовуючи проби гранул, відібрані з різних мішків або ємностей-накопичувачів, а також з різних зон одного мішка. Кількість відібраного матеріалу має бути достатньою для виготовлення зразків згідно з вимогами ГОСТ 16337–70. Отримані зразки випробовують (наприклад, на міцність), а результати обробляють статистично.

Подальший аналіз базується на низці припущень. Зокрема, вважають, що диспергований компонент (наприклад, технічний вуглець чи інший наповнювач) складається з часток однакового розміру. У реальних умовах завжди спостерігається певний розкид розмірів частинок введеного компонента. Проте для спрощення розрахунків використовують найбільш імовірне значення діаметра частинок (рис. 3.3).

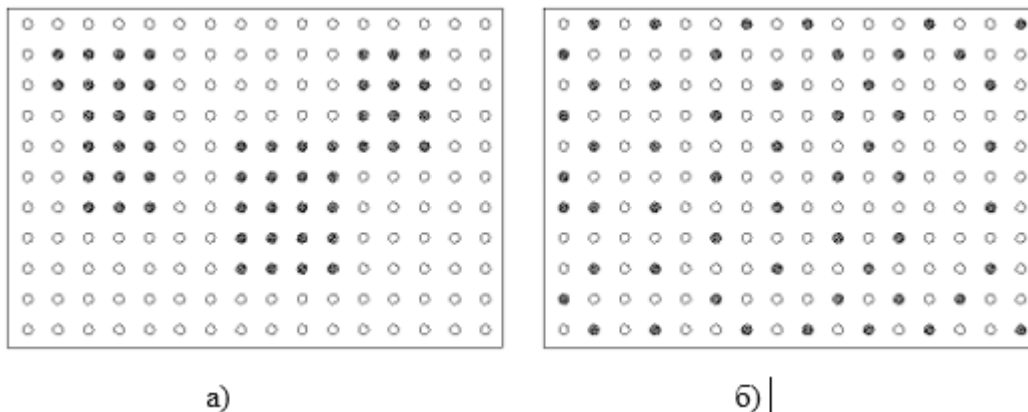


Рис. 3.3. Схема розподілення компонентів у пробі: а – до змішування; б – після «ідеального» змішування.

Дисперсне середовище, у якому розподіляється доданий компонент, зазвичай є високов'язкою полімерною рідиною. Часто умовно припускають, що ця рідина складається з частинок, близьких за розміром до частинок диспергованої фази. На такому припущенні ґрунтується, зокрема, поняття «кількість частинок основного компонента у пробі». Очевидно, що це припущення не відображає повної картини змішування, оскільки полімерний компонент має надмолекулярну структуру, і розміри його надмолекулярних (у тому числі кристалічних) утворень можуть суттєво відрізнятися від розмірів частинок уведеного інгредієнта.

У випадках, коли під час змішування дисперсні компоненти розподіляються до молекулярного рівня, різниця між розмірами структурних одиниць змішуваних речовин збільшується ще більше. Це узгоджується з положеннями термодинаміки змішування високомолекулярних і низькомолекулярних сполук.

Розкид концентрацій частинок, визначений з урахуванням наведених вище припущень, підпорядковується біноміальному закону розподілу. У випадках, коли задано спектр розмірів частинок, методика розрахунку суттєво ускладнюється.

Нехай:

- $N$  — загальна кількість частинок у пробі,

- $q$  — частка частинок перемішуваного компонента певного розміру,
- $b$  — кількість частинок цієї фракції у пробі,
- $x$  — концентрація перемішуваного компонента в пробі.

Тоді щільність біноміального розподілу, яка визначає ймовірність того, що у пробі міститься  $b$  частинок перемішуваного компонента, задається формулою (3.3).

$$P(x) = \frac{N!}{b!(N-b)!} q^b (1-q)^{N-b} \quad (3.3)$$

Генеральна дисперсія такого розподілу визначається рівнянням (3.4).

$$\sigma^2 = q(1-q)/N \quad (3.4)$$

Якщо вважати суміш гомогенною у тому випадку, коли вміст перемішуваного компонента в пробах підлягає біноміальному закону розподілу, тоді перевірка гомогенності зводиться до порівняння результатів аналізу відібраних проб зі статистичним (біноміальним) розподілом. Вибіркова дисперсія домішуваного компонента визначається за формулою (3.5):

$$S^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.5)$$

- $M$  — кількість проб,
- $x_i$  — концентрація частинок домішуваного компонента в  $i$ -тій пробі,
- $\bar{x}$  — середня концентрація частинок у вибірці.

Середнє значення  $\bar{x}$  знаходять за формулою (3.6)

$$\bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad (3.6)$$

Найбільш ефективною критеріальною оцінкою випадкового розподілення є порівняння експериментальної вибіркової дисперсії  $S^2$  із теоретичним значенням дисперсії  $\sigma^2$  системи зі статистичним (випадковим) розподілом компонентів. Компонент вважається розподіленим випадково, якщо відношення  $S^2/\sigma^2$  близьке до 1. Це відповідає критерію Пірсона  $\chi^2$ , поділеному на кількість ступенів вільності  $f$ :

$$S^2 / \sigma^2_{\text{експ}} = \frac{x^2}{f} \quad (3.6)$$

Ймовірність того, що  $S^2/\sigma^2$  для випадкової вибірки менше  $\chi^2/f$ , визначають за спеціальними статистичними таблицями.

*Приклад*

Нехай:

- кількість проб  $M = 11$ ,
- $S^2 = 0,008$ ,
- $\sigma^2 = 0,0025$ .

Тоді  $(S^2/\sigma^2)_{\text{експ}} = 3,2$ .

З таблиці відомо, що при  $f = M - 1 = 10$  значення  $(\chi^2/f)_{0.999}$  дорівнює 2,96.

Отже, оскільки:

$$3,2 > 2,96,$$

ймовірність того, що проба взята із випадкової суміші, становить менше 0,001. Це означає, що реальний розподіл компонента істотно відрізняється від статистичного, тобто змішування не можна вважати ідеальним.

Таблиця 3.1

Значення  $\chi^2/f$  для різних  $f$  та  $P$

f	$\chi^2/f$		f	$\chi^2/f$	
	P=0.95	P=0.999		P=0.95	P=0.999
1	3.84	10.83	8	1.94	3.27
2	3.00	6.91	10	1.83	2.96
3	2.60	5.42	20	1.57	2.27
4	2.37	4.62	50	1.35	1.73
6	2.10	3.74	100	1.24	1.49

*Примітка:* P — ймовірність того, що  $S^2/\sigma^2$  для випадкової проби менше за величину  $\chi^2/f$ .

Таким чином, ймовірність того, що проба належить до випадкової суміші, у наведеному прикладі менша за 0,001. Отже, припущення про підпорядкування розподілу перемішуваного компонента статистичному закону не підтверджується.

У цьому випадку критерієм ступеня змішування слугує характер розподілу диспергованої речовини в суміші:

- якщо він випадковий (підпорядковується статистичному розподілу) — змішування близьке до ідеального;
- якщо не випадковий — у суміші присутні зони нерівномірності.

Коли кількість компонентів перевищує два, процес змішування розглядають як домішування кожного нового компонента до вже існуючої системи. У міру змішування розподіл частинок набуває дедалі більш хаотичного характеру, а вибіркова дисперсія  $S^2$  наближається до мінімального теоретичного значення  $\sigma^2$ .

Для кількісної оцінки ступеня змішування застосовують індекс змішування:

$$I = \sigma^2 / S^2.$$

- $I = 0$  — компоненти перебувають окремо;
- $I = 1$  — статистичний (ідеальний) розподіл.

Якість змішування також визначають за допомогою коефіцієнта варіації  $v(C)$ :

$$v_{(C)} = \frac{100}{C_0} \sqrt{\frac{(C_i - C_0)^2}{n - 1}} \quad (3.7)$$

де

$C_i$  — концентрація перемішуваного компонента в пробі,

$C_0$  — середня концентрація,

$n$  — кількість проб.

При змішуванні гранул спостерігається варіювання відсоткових відхилень композицій, що зумовлено різницею властивостей підібраних компонентів. При цьому загальна похибка зазвичай не перевищує 5%, що підтверджує правильність проведеного експерименту.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

#### 4.1. Визначення корисного об'єму бункера змішувача

Одним із ключових параметрів змішувача для багатокомпонентних харчових сумішей є розмір бункера та його робочий (корисний) об'єм. Саме об'єм бункера визначає можливість забезпечення необхідної продуктивності, тривалості змішування та рівня однорідності готової суміші.

Корисний об'єм змішувача визначають за формулою:

$$V_{н.б.} = V_{заг.} \cdot \varphi_p, \quad (4.1)$$

де  $\varphi_n$  - коефіцієнт, що враховує обсяг робочих органів змішувача;

$$\varphi_p = 1 - \frac{V_{p.o.}}{V_{заг.}}, \quad (4.2)$$

де  $V_{p.o.}$  - об'єм, який займають робочі органи змішувача, м<sup>3</sup>.

Загальний об'єм бункера визначають як суму об'ємів окремих геометричних елементів, що формують його внутрішню порожнину. На рисунку 4.1 подано поперечний переріз змішувальної ємності.

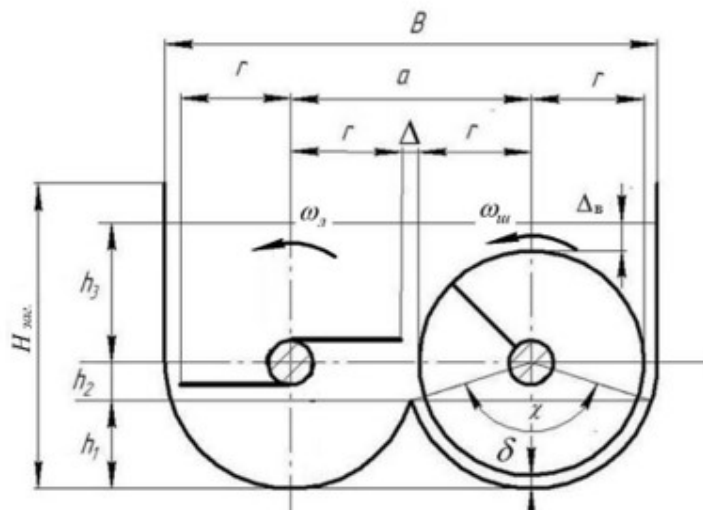


Рисунок 4.1 – Схема поперечного перерізу бункера змішувача

У загальному випадку повний об'єм бункера визначається як:

$$V_{заг.} = V_1 + V_2 + V_3, \quad (4.3)$$

Де  $V_1, V_2, V_3$  – об'єми нижньої, середньої та верхньої частин бункера відповідно.

Для розрахунку об'єму необхідно знати основні габарити змішувача:

- висоту бункера;
- ширину;
- довжину.

Для забезпечення продуктивності 250 кг/цикл і заданої тривалості змішування потрібний об'єм бункера визначають з рівняння:

$$V_{н.б.} = \frac{m}{\rho \varphi_n} \quad (4.4)$$

де  $m$  - маса кормосуміші, кг;  $\varphi_n$  - коефіцієнт наповнення (0,3...0,5 для змішувачів періодичної дії).

Вибір ширини бункера. *Ширина змішувальної ємності залежить від конструктивних параметрів валів і робочих органів:*

$$B = 4r + 2\delta + \Delta, \text{ м}, \quad (4.5)$$

де  $\delta$  - радіальний зазор, м;  $\Delta$  - величина активного шару, м.

Допустимий діапазон:

$$4r \leq B \leq (4r + 2\delta + \Delta) \quad (4.6)$$

Радіальний зазор  $\delta$  визначається вимогами гігієни та точністю виготовлення і зазвичай становить:

- 0,001...0,003 м – мінімальний робочий зазор;
- 0,005...0,012 м – рекомендований для полегшеного очищення змішувача.

Товщина активного шару  $\Delta$  залежить від інтенсивності циркуляційних потоків і конструкції Z-подібних лопатей.

Об'єм нижньої частини бункера

$$V_1 = 2L \left( \frac{\pi(r + 2\delta)^2}{360} \chi - h_2 \cdot (r + 2\delta) \cdot \sin \frac{\chi}{2} \right) \quad (4.7)$$

Де  $\chi$  – центральний кут нижньої округлої частини ємності.

Об'єм середньої частини

$$V_2 = 2L \left( \frac{\pi(r+2\delta)^2}{360} (180 - \chi) + h_2 \cdot (r+2\delta) \cdot \sin \frac{\chi}{2} \right) \quad (4.8)$$

Де  $h_2$  – висота прямокутної частини бункера.

Об'єм верхньої частини

$$V_3 = Lh_3B \quad (4.9)$$

Де  $h_3=r+\Delta_b$  – підвищення шару суміші над рівнем робочих органів (0,05...0,1 м).

Загальний вираз для об'єму бункера. Після підстановки формул (4.7)–(4.9) у рівняння (4.3) отримуємо:

$$V_{н.б.} = L\varphi_p \cdot \left[ 2 \left( \frac{\pi(r+2\delta)^2}{360} \chi + \left( \frac{\pi(r+2\delta)^2}{360} (180 - \chi) \right) + h_3(4r+2\delta+\Delta) \right] \quad (4.10)$$

Оцінка корисного об'єму. Корисний об'єм змішувача за коефіцієнтів наповнення 0,3...0,5 із урахуванням простору, зайнятого робочими органами, для бункера з параметрами:

- довжина – 1,5 м,
- ширина – 1,0 м,
- висота – 0,75 м

Середня висота шару суміші при цих габаритах:  $h=0,18...0,28$  м

## 4.2. Визначення конструктивних параметрів перемішувально-транспортуючих лопаток

У лопатевих змішувачах процес змішування багатокомпонентних харчових сумішей відбувається переважно за рахунок активного переміщення та перерозподілу частинок під дією робочих органів. Геометрія лопатей істотно впливає на інтенсивність циркуляційних потоків, однорідність суміші та енергоефективність процесу.

Форма лопатей може варіювати залежно від властивостей інгредієнтів (гранулометрія, кут природного укосу, насипна густина). Для більшості харчових сипких продуктів ефективними та технологічно простими у

виготовленні є плоскі прямокутні лопаті, закріплені на валу під різними кутами (рис. 4.2).

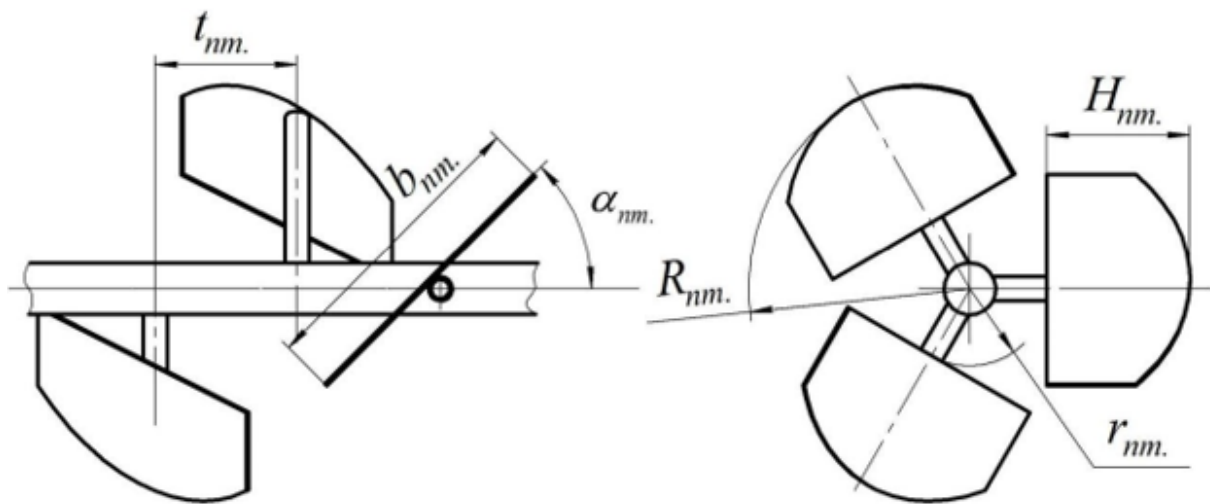


Рисунок 4.2 - Схема ділянки перемішувально-транспортуючих лопаток

Розміщення лопатей на валу може здійснюватися:

- за однією гвинтовою лінією;
- за двома паралельними спіральними лініями.

Чим більше лопатей задіяно в одному ряду, тим інтенсивніше переміщується суміш. Однак надмірна кількість елементів:

- збільшує металоємність і вартість виготовлення;
- ускладнює санітарне обслуговування;
- збільшує момент інерції системи та вимоги до приводу.

Тому кількість лопатей обирають як компроміс між інтенсивністю змішування та енергетичними витратами.

Лопаті можуть мати однакові або різні кути нахилу. Це дозволяє:

- формувати різноспрямовані потоки суміші;
- уникати «мертвих зон»;
- забезпечувати рівномірні циркуляційні рухи в усіх зонах змішувача.

Крайні ряди лопатей зазвичай встановлюють під іншим кутом, щоб уникнути накопичення матеріалу біля стінок і покращити очищення.

Визначення кількості та геометрії лопатей. Число лопатей у кожному ряду повинно забезпечувати мінімальний інтервал між їхнім виходом із шару суміші та входженням наступної лопаті. Якщо цей інтервал надто великий, виникає:

- значне коливання навантаження на вал та електропривід;
- періодичне нерівномірне переміщення суміші.

При зростанні коефіцієнта заповнення змішувальної камери від 0,3 до 0,65 спостерігається зменшення перепадів навантаження, оскільки лопаті взаємодіють із більш щільним шаром суміші.

Висота лопаті повинна:

- перевищувати половину її ширини, щоб створювалася необхідна зона гідродинамічного опору («застійна зона»), яка забезпечує переміщення частинок;
- але не перевищувати три ширини, щоб не порушувати міцність лопаті та не збільшувати її навантаження.

Експериментально визначено, що при відношенні:  $H_{nm} > 2b_{nm}$  подальше збільшення висоти не покращує інтенсивність змішування.

Ширина лопатки/ Ширину лопаті на певній ділянці визначають з формули:

$$b_{nm.i} = \frac{t_{nm.i}}{\cos \alpha_{nm.i}}, \quad (4.11)$$

де  $b_{nm.i}$  - ширина лопаті на  $i$ -й ділянці, м;

$t_{nm.i}$  - крок лопатей по довжині змішувача на  $i$ -й ділянці, м;

$\alpha_{nm.i}$  - кут повороту лопатки щодо осі вала на  $i$ -й ділянці, град.

Якщо в усіх рядах лопаті розташовані рівномірно, а «мертві зони» відсутні, крок лопатей дорівнює їхній ширині.

### 4.3 Визначення конструктивних параметрів ділянки перекидаючих лопатей

Ділянка перекидаючих лопатей у змішувачі багатокomпонентних харчових сумішей виконує функцію інтенсивного переміщення продукту між робочими зонами та забезпечує стабільне формування циркуляційних потоків. На цьому етапі лопаті повинні бути орієнтовані паралельно осі вала, що гарантує ефективний перекид матеріалу без його ущільнення біля стінок.

Для забезпечення підвищеної надійності й стабільності роботи перекидаюча лопать виконується суцільною, що виключає просипання продукту через отвори та гарантує рівномірний вплив на масу, яка рухається. Її ширина  $b_l$  (рис. 4.3) повинна забезпечувати гарантоване перекидання шару суміші при одночасному уникненні пресування біля торців:

$$b_{л\geq} = \frac{v_o}{n_l z_l}, \quad (4.12)$$

де  $v_o$  - осьова швидкість суміші при сході з перемішувально- транспортуючих лопаток лопатки, м/с;

$n_l$  - частота обертання лопатей,  $c^{-1}$ ;

$z_l$  - число перекидаючих лопатей в поперечному перерізі, шт. Осьову швидкість можна визначити за виразом:

Ррок транспортуючих лопатей на другій ділянці.

$$k_n = \frac{b_{nm.2} \cos \alpha \cdot \cos \beta}{2\pi R_{nm.2}} \quad (4.13)$$

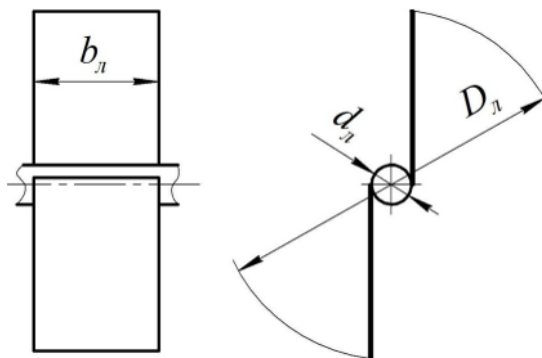


Рисунок 4.3 - Схема перекидаючої лопатевої ділянки

#### 4.4 Розрахунок ланцюгових передач

### Вихідні дані

Частота кручення ведучої зірочки –  $n_1 = 56$  об/хв. Потужність двигуна – 4 кВт.

Допустимий момент на вихідному валу редуктора – 660Нм.

Розподілення потужності: привід робочих валів –  $N' = 2,92$ кВт Привід насосу –  $N'_H = 1,08$ кВт.

Крок передачі –  $t = 25,4$ мм.

Тип ланцюга – ПР 25,4-5670 ГОСТ13568-75.

Термін служби –  $T_{min} = 9000$ год.

Ланцюгова передача (рис.6.3).

Для приводу першого робочого валу –  $Z_1 = 18$  і  $Z_3 = 28$ .

Для приводу другого валу –  $Z_2 = 16$  і  $Z_4 = 20$ .

Передача руху до другого вола виконується зубчатою передачею від першого вола.

$$Q_1 = 585 \text{ мм}, Q_2 = 250 \text{ мм}, B_1 = 65 \text{ мм}, B_2 = 90 \text{ мм}, d_{a1} = 146,27 \text{ мм}, d_{a3} = 226,86 \text{ мм}, d_{o2} = 130,2 \text{ мм}, d_{o4} = 162,37 \text{ мм}, D_{e1} = 156,8 \text{ мм}, D_{e3} = 283,1 \text{ мм}, D_{e2} = 140,4 \text{ мм}, D_{e4} = 173,1 \text{ мм}.$$

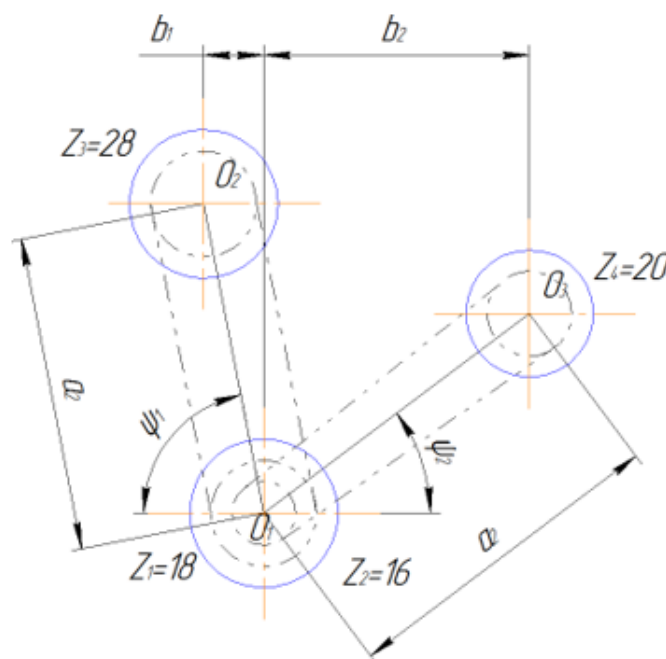


Рисунок .4.4. Схема передачі

Кути лінії центрів зірочок  $\psi$ :

$$\sin(90^\circ - \psi\psi_1) = b_1/a_1 \quad (4.14)$$

$$\sin(90^\circ - \psi\psi_1) = 65/582 = 0,11178 \quad (90^\circ - \psi\psi_1) = 6^\circ 25'$$

$$\psi\psi_1 = 90^\circ - 6^\circ 25' = 85^\circ 35'$$

$$b_2/a_2 = \sin\psi\psi_2$$

$$\sin\psi\psi_2 = (1 - 0,3629) = 0,6371$$

$$\psi\psi_2 = 39^\circ 35' \quad \text{—————}$$

Колове зусилля, що діє в передачі  $F_t$

$$F_t = 1000 \cdot N/V, \text{ Н} \quad (4.15)$$

$$F_{t1} = 1000 \cdot 2,92/0,427 = 6838,4 \text{ Н}$$

Прийнято  $F_{t1} = 6838 \text{ Н}$

$$F_{t2} = 1000 \cdot N'/V \quad (4.16)$$

Прийнято  $F_{t2} = 2850 \text{ Н}$

Передаточне число передачі  $u$ :

$$u = Z_a / Z_b \quad (4.17)$$

$$u_1 = Z_3 / Z_1 \quad (4.18)$$

$$u_1 = 28/18 = 1,555$$

$$u_2 = Z_2/Z_4 \quad (4.19)$$

$$u_2 = 20/16 = 1,250$$

Мінімальна міжцентрова відстань  $Q_{\min}$  При

$u \leq 3$  :

$$QQ_{\min} > 0,6 \cdot (D_{ea} + D_{eb})$$

$$QQ_{\min1} = 0,6 \cdot (156,8 + 238,1) = 236,9 \text{ мм}$$

$$QQ_{\min2} = 0,6 \cdot (D_{e2} + D_{e4}) \quad (4.20)$$

$$QQ_{\min2} = 0,6 \cdot (140,4 + 173,1) = 188,1 \text{ мм}$$

$$QQ_1 = 582 \text{ мм} > QQ_{\min1} = 236,9 \text{ мм} \quad QQ_2 = 248 \text{ мм} > QQ_{\min2} = 188,1 \text{ мм}$$

Довжина ланцюга  $L_t$ : прийнято  $L_{t1} = 70$  ланок

$$U = 4Zn/60L_t$$

(4.21)

$$U = = 3,84$$

$$U_2 = 4 \cdot Z_2 \cdot n_1/60L_{t2}$$

$$U_1 = 3,84 < [U] = 30 \quad \text{---}$$

$$U_2 = 1,57 < [U] = 30$$

Роботоспроможність ланцюга

Натяг, що витримують ведена і ведуча ділянки ланцюга буде:

$$F_{\Sigma A} = F_f + F_u \quad (4.22)$$

$$F_{\Sigma BB} = F_f + F_u + F_t \cdot K_1 \quad (4.23)$$

$$F_f = K_f \cdot q \cdot g \cdot a \quad (4.24)$$

$K_{f1} = 1 \dots 2$  для передачі  $Z_1 - Z_3$ ;

$K_{f2} = 3 \dots 4$  для передачі  $Z_2 - Z_4$ ;  $q$  – маса метра ланцюга, кг; ПР25,4-5670

$q=2,6$  кг;  $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  – прискорення вільного падіння.

Тоді  $K_{f1} = 2 \cdot 2,6 \cdot 9,81 \cdot 0,582 = 29,7$  Н

$K_{f2} = 4 \cdot 2,6 \cdot 9,81 \cdot 0,248 = 25,3$  Н

$$F_u = q \cdot v v^2, \text{ де} \quad (4.25)$$

$F_u$  – сила натягу від центр обіжних сил.

$$F_{u1} = q \cdot v v^2$$

(4.26)

$$F_{u1} = 2,6 \cdot 0,427/2 = 0,48$$
 Н

$$F_{u2} = q \cdot v v^2$$

(4.27)

$$F_{u2} = 2,6 \cdot 0,379/2 = 0,379$$
 Н

Тоді  $F_{\Sigma A1} = 29,7 + 0,48 = 30,18$  Н

$$F_{\Sigma A2} = 25,3 + 0,37 = 25,67$$
 Н

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує характер передованого навантаження.

$K_1 = 1$  – для спокійного навантаження. Тоді:

$$F_{\Sigma A1} = F_{f1} + F_{ц1} + F_{t1} \cdot K_1 \quad (4.28)$$

$$F_{\Sigma A1} = 29,7 + 0,48 + 6838 \cdot 1 = 6868,2 \text{ Н}$$

$$F_{\Sigma A2} = F_{f2} + F_{ц2} + F_{t2} \cdot K_2 \quad (4.29)$$

$$F_{\Sigma A2} = 25,3 + 0,37 + 2850 \cdot 1 = 2875,7 \text{ Н}$$

Розрахункове навантаження:

$Z_2 - Z_4$  ( $O_1$  і  $O_3$ ) приблизно –  $R_{O1} = R_{O3} = (1,15 \dots 1,2)F_t$  (передача нахилена менш ніж на  $40^\circ$ ).

$$R_{O1} = R_{O2} = 1,2 \cdot F_{t2} \quad (4.30)$$

$$R_{O1} = R_{O2} = 1,2 \cdot 2850 = 3420 \text{ Н}$$

Для і  $Z_1 - Z_3$  ( $O_1$  і  $O_2$ ) додаванням натягів  $F_{\Sigma A}$  і  $F_{\Sigma B}$ :

$$F' = F_{\Sigma A1} + F_{ц1}$$

(4.31)

$\Sigma A1$

$$F' = 30,18 - 0,48 = 29,7 \text{ Н}$$

$\Sigma A1$

$$F' = F_{\Sigma B1} - F_{ц1} \quad (4.32)$$

$\Sigma B1$

$$F' = 6868,18 - 0,48 = 6867,7 \text{ Н}$$

$\Sigma B1$

$$R_{O1} = R_{O2} = (F')^2 + (F')^2 + 2 \cdot F' \cdot F' \cdot \cos \alpha, \quad (4.33)$$

де  $\alpha = 80$

$$R_{O1} = R_{O2} = \sqrt{29,7^2 + 6867,7^2 + 2 \cdot 29,7 \cdot 6867,7 \cdot 0,9927} = 6838,2 \text{ Н}$$

Прийнято  $R_{O1} = R_{O2} = 6900 \text{ Н}$

$$n = QQ_{\text{розр.}} / F_{\Sigma BB} \quad (4.34)$$

або

$$n = QQ_{\text{розр.}} / F_{\Sigma BB1} \quad (4.35)$$

Для ланцюга ПР – 25,4  $QQ_{\text{розр.}} = 5760 \text{ кг}$

$$n = 57600 / 6868,2 = 8,38$$

$$[n] = 6$$

$n = 8,38 > [n] = 6$  – запас міцності достатній.

## 4.5. Технологія машинобудування

### 4.5.1. Підбір конструкційних матеріалів

Вибір матеріалів для виготовлення змішувача багатокомпонентних харчових сумішей визначається низкою ключових вимог, серед яких домінують:

- допустимість безпосереднього контакту з харчовими продуктами;
- корозійна стійкість, особливо до вологи, кислот, цукрів та солей, що містяться у харчових сировинах;
- економічна доцільність застосування матеріалів;
- надійність, зносостійкість і довговічність деталей, які працюють під навантаженням;
- забезпечення санітарно-гігієнічних вимог, встановлених МОЗ України.

При проектуванні харчового обладнання всі контактні поверхні змішувача виготовляють із конструкційних матеріалів, дозволених для харчових виробництв та стійких до корозії. Для змішувальних ємностей, валів і лопатей застосовують переважно нержавіючі сталі аустенітного та мартенситного класів, що забезпечують високу хімічну інертність і відсутність токсичних виділень при роботі з харчовими продуктами.

Довговічність змішувача значною мірою визначається зносостійкістю робочих органів (лопатей, валів, підшипників). Під час експлуатації в парах тертя поступово зростають зазори, що призводить до порушення стабільності технологічного режиму, появи вібрацій, ударних навантажень та можливого виходу вузлів із ладу. Недостатня зносостійкість може спричинити і потрапляння металевих частинок у продукт, що є неприпустимим у харчовій галузі.

У зв'язку з цим у модернізованому змішувачі застосовуються високолеговані корозійностійкі сталі, здатні забезпечувати:

- стабільну роботу у вологому та агресивному середовищі;
- мінімальний знос робочих поверхонь;
- тривалий ресурс роботи підшипникових вузлів та валів;

- відповідність чинним санітарним нормам МОЗ України.

Таким чином, вибір конструкційних матеріалів для змішувача ґрунтується на забезпеченні максимальної довговічності обладнання, його корозійної стійкості та повної безпечності у виробництві харчових сумішей.

Таблиця 4.1

Матеріали, що застосовуються у змішувачах харчових продуктів та дозволені МОЗ України

Найменування деталі	Матеріал, марка ГОСТ	Дозвіл МОЗ України
Ємність змішувача, кришка	12X18H10T	ГОСТ 5632–72 126-14/1461-3
Опорні стійки	Ст4пс	ГОСТ 535–88 126-14/1040-3
Трубні комунікації	12X18H10T	ГОСТ 5949–75 126-14/1461-3
Лопаті робочих органів	12X13	ГОСТ 5632–72 126-14/1461-3
Вал змішувача	40ХН	ГОСТ 4543–71 08С/Б-7-128
Підшипникові корпуси	12Х21Н5Т	ГОСТ 5632–72 123-14/297-7
Приводний вал	20Х17Н2	ГОСТ 5632–72 123-12/328-7

#### 4.6. Розроблення технологічного процесу складання підшипникового вузла змішувача

Розглянуто технологію складання підшипникового вузла та встановлення його в корпус змішувача. Складання будь-якого вузла машини починають з базової деталі, яка визначає геометрію всієї збірки. В даному випадку базовою деталлю є корпус змішувача.

Для складальних одиниць застосовують технологічні схеми, у яких зліва зазначають базову деталь, а справа — готовий вузол у зібраному вигляді. Вертикальні лінії відображають послідовність складання, горизонтальні — порядок введення стандартних виробів.

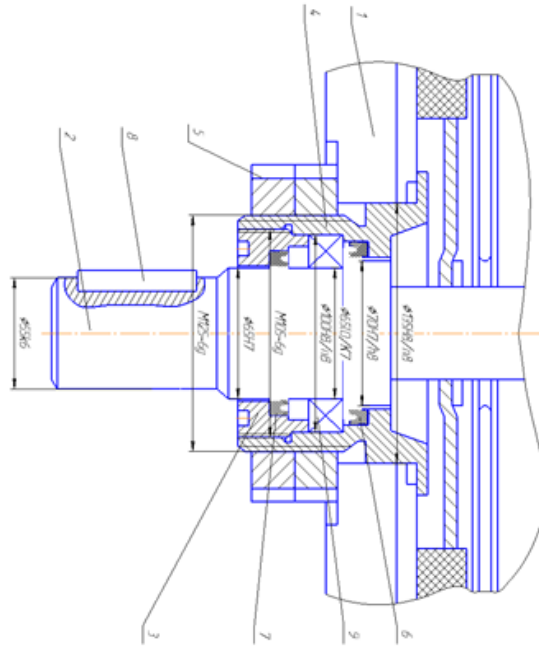


Рисунок. 4.5 – Підшипниковий вузол змішувача

Таблиця 4.2

По детальний склад підшипникового вузла змішувача

№ позиції	Найменування деталі	Кількість
1	Корпус змішувача	1
2	Вал змішувача	1
3	Кришка підшипникового вузла	1
4	Стакан підшипниковий	1
5	Гайка М125	2
6	Манжета 1-80×70-0 ГОСТ 14896–84	1
7	Манжета 1-80×65-0 ГОСТ 14896–84	1
8	Шпонка ГОСТ 10748–79	1
9	Підшипник 180113 ГОСТ 8882–75	1

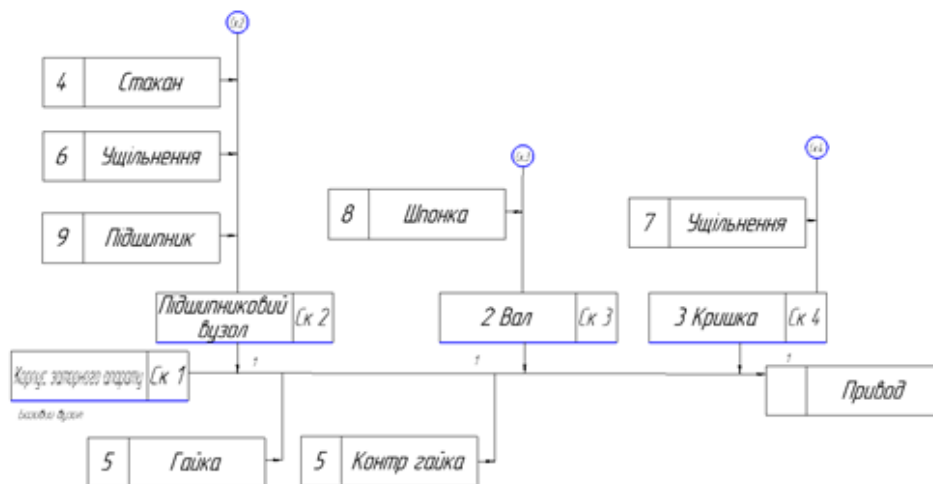


Рис. 4.6 – Технологічна схема складання підшипникового вузла змішувача

Таблиця 4.3

Технологічний маршрут складання підшипникового вузла змішувача

№ переходу Зміст операції

10	Збирання підшипникового вузла
10.1	Встановити стакан у корпус змішувача
10.2	Встановити перше ущільнення
10.3	Встановити підшипник
10.4	Встановити друге ущільнення
10.5	Зафіксувати стакан гайкою
10.6	Встановити контргайку
20	Складання та встановлення вала
20.1	Встановити шпонку
20.2	Ввести вал у стакан
30	Монтаж кришки вузла
30.1	Встановити ущільнення в кришку
30.2	Закріпити кришку на вузлі

**РОЗДІЛ 5**  
**ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ**  
**ЕТИКЕТУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ KHS RF 25-25/120-12**

**5.1. Загальні положення автоматизованого управління**

Автоматизація змішувача для багатокомпонентних харчових сумішей продуктивністю 250 кг/цикл передбачає забезпечення стабільності технологічного процесу, підвищення рівня безпеки та гарантування високої однорідності готової суміші. Автоматизована система управління (АСУ) працює за принципом інтегрованої взаємодії електромеханічних та пневматичних вузлів під контролем програмованого логічного контролера (ПЛК), який реалізує заданий алгоритм роботи змішувача.

Основними завданнями автоматизованої системи управління є:

- підтримання оптимального режиму обертання змішувального валу;
- забезпечення плавного запуску та зупинки обладнання;
- контроль рівня наповнення бункера та стану робочих органів;
- автоматичне виконання циклу завантаження → змішування → вивантаження;
- гарантування безпечних умов роботи персоналу;
- ведення діагностики та прогнозування можливих відмов.

Ключовим принципом автоматизованого управління є закрита система зворотного зв'язку, де показники роботи механізмів (струм двигуна, частота обертання, наявність наповнення тощо) безперервно порівнюються із заданими параметрами, а ПЛК автоматично коригує роботу виконавчих механізмів.

**5.2. Пульти керування та складові елементи АСУ**

Пульти керування забезпечує взаємодію оператора з автоматизованою системою та виконує функції моніторингу, регулювання і діагностики. Панель керування може бути виконана у вигляді сенсорної НМІ-панелі або кнопочового блоку із системою індикації.

Опис конструкції пульта керування



Рисунок 5.1 – Пульт керування змішувачем: сенсорна панель НМІ; кнопки «Пуск», «Стоп», «Аварійний Stop»; світлодіодні індикатори статусу; ручка-перемикач режимів «Ручний – Налаштування – Автоматичний»; ключ доступу для технічного персоналу.

#### Основні елементи системи автоматизації

Таблиця 5.1 – Елементи системи автоматизації змішувача

Елемент	Тип / марка	Призначення
1 ПЛК	Siemens S7-1200 / ОВЕН ПЛК-100	Виконання алгоритму роботи
2 Частотний перетворювач	Danfoss / Delta	Регулювання швидкості змішувального валу
3 НМІ-панель	Weintek / Siemens КТР	Інтерфейс оператора
4 Датчик рівня	Ємнісний	Контроль рівня суміші в бункері
5 Датчик положення заслінки	Кінцевий вимикач	Діагностика вивантаження
6 Температурний датчик (опція)	РТ100	Контроль нагрівання двигуна

	Елемент	Тип / марка	Призначення
7	Аварійні кнопки	NC-контакти	Негайне зупинення роботи
8	Пускач двигуна	Siemens 3RT	Комутація приводу
9	Пневмоклапан заслінки	SMC / Festo	Керування вивантаженням
10	Силовий живлення	блок 24 В DC	Живлення датчиків і контролера

### 5.3. Принципи функціонування автоматизованих модулів

Функціонування змішувача реалізується за циклом, який координується ПЛК.

#### 5.3.1. Етап завантаження

Система автоматично перевіряє:

- закриття верхньої кришки;
- стан аварійних вимикачів;
- рівень суміші в бункері;
- готовність приводу до роботи.

При надходженні сигналу «Готово до завантаження» відкривається заслінка подачі сировини. Коли датчик рівня фіксує досягнення встановленої позначки, заслінка автоматично закривається.

#### 5.3.2. Етап змішування

Частотний перетворювач плавно запускає вал змішувача. ПЛК підтримує задану частоту обертання з можливістю програмного реверсу, що підвищує інтенсивність змішування та однорідність суміші.

Програма змішування включає:

- основну фазу механічного перемішування;
- реверсивні імпульси;
- фазу «обтікання» на зниженій швидкості;
- паузи технологічної стабілізації.

### 5.3.3. Етап вивантаження

Після завершення змішування система переводиться в режим вивантаження:

- вал змішувача працює на низькій швидкості;
- ПЛК подає команду на відкриття заслінки;
- датчик положення заслінки передає інформацію про стан вивантаження.

Коли датчик рівня показує, що бункер порожній, змішувач переходить у режим очікування.

### 5.4. Правила діагностики та контролю системи

АСУ постійно аналізує роботу змішувача. Діагностичні функції охоплюють:

- контроль перевантаження двигуна за струмом;
- контроль швидкості обертання валу і відхилень від заданої;
- фіксацію відкриття огорожень;
- моніторинг тиску в пневмосистемі (для заслінки);
- контроль положення заслінки;
- контроль температури двигуна.

У разі виявлення будь-якої несправності система переходить у захисний режим із зупиненням обладнання та виведенням діагностичного повідомлення на НМІ.

Таблиця 5.2 – Основні аварійні повідомлення та реакція системи

Код	Опис аварії	Дія системи	Дія оператора
A01	Перевантаження двигун	Негайна зупинка	Перевірити механіку валу
A04	Відкриття огорожі	Блокування роботи	Закрити огорожу
A07	Немає тиску повітря	Заборона вивантаження	Перевірити компресор
A10	Відсутність сигналу датчика рівня	Відмова завантаження	Перевірити датчик



Рисунок 5.2 – Структурна схема автоматизованої системи керування змішувачем

- Пульт оператора НМІ з'єднано з ПЛК
- ПЛК керує:
  - частотним перетворювачем двигуна;
  - пневмоклапаном заслінки;
  - індикаторами стану;
- Датчики (рівня, температури, кінцеві вимикачі) передають сигнали у ПЛК
- Режим аварійної зупинки обриває живлення приводу

## РОЗДІЛ 6

### ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

#### 6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Під час експлуатації змішувача для багатокомпонентних харчових сумішей на оператора можуть діяти небезпечні та шкідливі виробничі фактори відповідно до вимог чинних стандартів з охорони праці (рис. 6.1).

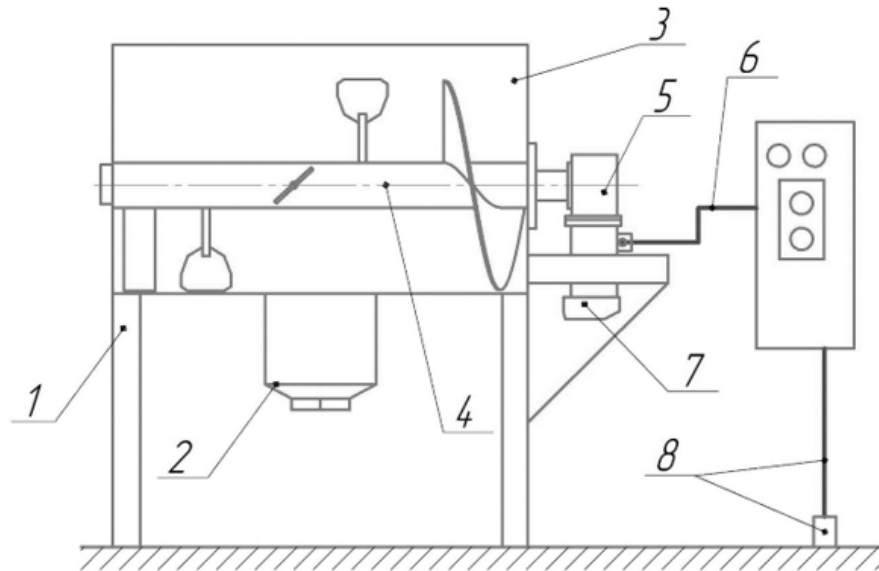


Рисунок 6.1 – Вузли змішувача, що потребують підвищеної уваги з точки зору безпеки праці оператора: 1 – рама; 2 – розвантажувальна горловина; 3 – змішувальний бункер; 4 – лопатевий робочий орган (мішалка); 5 – редуктор; 6 – електрокабель; 7 – електродвигун; 8 – заземлення.

До основних фізичних факторів належать:

- рухомі частини виробничого обладнання (лопатевий вал, муфти, привідні елементи), які створюють небезпеку затягування одягу чи травмування кінцівок;
- підвищена запиленість повітря робочої зони, що виникає під час завантаження та вивантаження сипких харчових компонентів (борошняні, цукрові, порошкоподібні добавки);

- підвищена або знижена температура поверхні обладнання та матеріалів, що можлива при роботі в неопалюваних або неповністю кондиційованих приміщеннях;

- підвищений рівень шуму на робочому місці, який створюється електродвигуном, редуктором та механічними передачами;

- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі (живлення електродвигуна 380 В), замикання якого через тіло людини може призвести до ураження електричним струмом;

- наявність гострих кромek, задирок та підвищеної шорсткості на поверхнях конструкцій, інструменту та допоміжного обладнання.

До біологічних факторів у даному випадку можуть належати:

- частинки харчової сировини та сумішей, які при тривалому вдиханні можуть подразнювати слизові оболонки дихальних шляхів.

До психофізіологічних факторів відносять:

- фізичні перевантаження при ручному виконанні операцій (завантаження важких мішків із сировиною, ручне очищення бункерів, переміщення тари тощо);

- можливе нервово-емоційне напруження при роботі в умовах підвищеної відповідальності за якість сумішей і безперервність технологічного процесу.

## **6.2 Заходи щодо захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів**

З метою захисту оператора змішувача від дії шкідливих та небезпечних виробничих факторів застосовують організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів належать:

- проведення своєчасних інструктажів з охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»;

- допуск до самостійної роботи лише працівників, які пройшли медичний огляд, виробниче навчання, вступний та первинний інструктаж на робочому місці, а також перевірку знань з охорони праці;
- організація повторних інструктажів не рідше одного разу на шість місяців, а також позапланових інструктажів у разі змін у технологічному процесі, модернізації змішувача чи виникнення нещасних випадків;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (захисні окуляри, респіратори від пилу, навушники, спецодяг, спецвзуття).

До технічних заходів відносяться:

- огороження рухомих частин змішувача (лопатевий вал, муфти, ремінні та ланцюгові передачі) з використанням стаціонарних або знімних захисних кожухів;
- встановлення сітчастих або суцільних захисних огорож у зонах можливого контакту оператора з рухомими елементами;
- застосування захисних вимикачів, автоматичних вимикачів та пристроїв захисного відключення, які спрацьовують у разі короткого замикання, замикання на корпус або перевантаження електродвигуна;
- обов'язкове заземлення металоконструкцій змішувача, електродвигуна, шаф керування та іншого електрообладнання;
- встановлення аварійної кнопки «Стоп» у доступному для оператора місці з миттєвим відключенням приводу;
- забезпечення оператора засобами захисту від шуму (навушники, вкладиші), якщо рівень шуму перевищує допустимі значення;
- організація системи місцевої та загальнообмінної вентиляції для зниження запиленості повітря.

Для розрахунку продуктивності вентилятора з видалення пилу можна використати залежність:

$$L = \frac{P}{P_1 - P_0},$$

(6.1)

де

$L$  – необхідна продуктивність вентиляції, м<sup>3</sup>/год;

$P$  – кількість пилу, що виділяється в приміщенні, г/год (за даними аналогічних виробництв, наприклад  $P=20$  г/год);

$P_1$  – допустима концентрація пилу в повітрі приміщення, мг/м<sup>3</sup>;

$P_0$  – концентрація пилу у зовнішньому повітрі (для розрахунку приймають  $P_0 \approx 0$ ).

За умови, що допустима концентрація пилу  $P_1=4$  мг/м<sup>3</sup>, одержуємо:

$$L=4 \cdot 200000=5000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

За розрахованою продуктивністю обирають, наприклад, осьовий вентилятор типу ВО 06-300 продуктивністю близько 5200 м<sup>3</sup>/год з монтажем у стіну виробничого приміщення.

### **6.3 Правила безпечного виконання робіт при приготуванні багатокомпонентних харчових сумішей**

До роботи зі змішувачем багатокомпонентних харчових сумішей допускаються особи:

- такі, що не мають медичних протипоказань;
- пройшли виробниче навчання, вступний і первинний інструктаж з охорони праці;
- отримали І групу з електробезпеки (не нижче встановленого мінімуму для даної посади).

Допуск до самостійної роботи здійснюється після стажування під керівництвом досвідченого працівника протягом не менше двох змін.

Перед початком роботи оператор повинен:

- одягнути справний спецодяг, засоби індивідуального захисту (респіратор, захисні окуляри, навушники, рукавиці), прибрати звисаючі елементи одягу, волосся заправити під головний убір;
- увімкнути освітлення та вентиляцію робочої зони;

- перевірити вільний доступ до рубильників, вимикачів та аварійної кнопки;
- оглянути стан змішувача: цілісність огорож, наявність захисних кожухів, справність заземлення, відсутність сторонніх предметів у бункері та на робочих органах;
- перевірити справність сигналізації, засобів пожежогасіння та наявність аптечки;
- здійснити пробний запуск змішувача на холостому ході, впевнитися у відсутності сторонніх шумів, надмірної вібрації, перегріву підшипників та приводних вузлів.

Під час роботи забороняється:

- працювати зі змішувачем при знятому захисному кожусі, відкритих люках або відсутньому заземленні;
- руками чи металевими предметами усувати зависання продукту в бункері або горловині — для цього використовують дерев'яний проштовхувач довжиною не менше 1 м;
- проводити очищення, підтягування кріплень, змащення, ремонт та регулювання до повної зупинки змішувача та відключення його від електромережі;
- перебувати в небезпечній зоні під час запуску та зупинки обладнання.

Після кожної зупинки необхідно очищувати змішувач та прилеглу зону від залишків продукту та пилу, стежити за герметичністю повітропроводів і справністю вентиляції.

По закінченні роботи оператор зобов'язаний:

- послідовно зупинити подачу продукту, дати можливість змішувачу працювати на холостому ході до повного вивантаження, після чого вимкнути привід;
- очистити внутрішні поверхні бункера та робочих органів від залишків суміші (з дотриманням вимог безпеки);

- прибрати робоче місце, інструмент та інвентар розмістити у відведених місцях;
- повідомити керівника дільниці про виявлені несправності;
- зняти спецодяг та засоби індивідуального захисту, здати їх на зберігання або обслуговування.

Категорично забороняється залазити всередину бункера змішувача та в інші ємності без спеціального наряду-допуску, заходів газонебезпечних робіт та страхувальних засобів.

#### **6.4 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях**

Надзвичайна ситуація це подія, яка створює загрозу життю та здоров'ю людей, може призвести до значних матеріальних збитків, зупинки виробництва та порушення нормальних умов праці. Для змішувального обладнання найбільш імовірними є техногенні НС, зокрема:

- пожежа в зоні розміщення змішувача;
- загоряння електропроводки чи електродвигуна;
- вибухонебезпечні ситуації, пов'язані з утворенням пилоповітряних сумішей (борошняний та цукровий пил).

У разі виявлення ознак пожежі (дим, полум'я, різкий запах гару) працівник зобов'язаний:

- негайно повідомити аварійно-рятувальну службу, вказавши адресу об'єкта, кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, наявність людей у приміщенні, власне прізвище;
- у разі можливості розпочати евакуацію людей та локалізацію осередку пожежі з використанням первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники, пожежні крани, пісок);
- повідомити керівника зміни або відповідальну посадову особу підприємства;
- за потреби викликати інші аварійні служби (медичну, газову та ін.).

## РОЗДІЛ 7

### МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

#### 7.1. Загальні передумови та потреба ринку

Сучасні харчові підприємства працюють в умовах високої конкуренції, жорстких вимог до якості продукції та постійного зростання вартості енергоресурсів і сировини. Особливо це стосується виробництва багатокomпонентних харчових сумішей: кондитерських начинок, сухих сумішей для хлібопечення, концентратів, приправ, функціональних добавок, сухих супів, каш миттєвого приготування тощо. Для таких продуктів критично важливими є стабільна однорідність, відтворюваність рецептури, точність дозування компонентів та можливість гнучко змінювати асортимент.

У більшості вітчизняних підприємств досі експлуатуються змішувачі застарілих конструкцій, розраховані на невеликі об'єми, з обмеженими можливостями автоматизації та недостатньою інтенсивністю змішування. Це призводить до збільшення тривалості циклу, нерівномірності розподілу дорогих функціональних компонентів, перевитрати енергії та зростання втрат при очищенні обладнання. У таких умовах модернізація змішувального обладнання стає не лише технічно, а й маркетингово обґрунтованою необхідністю.

Запропоноване удосконалення змішувача для багатокomпонентних харчових сумішей продуктивністю 250 кг/цикл спрямоване на формування конкурентної переваги підприємства за рахунок підвищення продуктивності, якості готової суміші та зниження собівартості виробництва.

#### 7.2. Цільові споживачі та сегментація ринку

Основними потенційними користувачами модернізованого змішувача є підприємства харчової промисловості, для яких характерне використання сухих і пастоподібних багатокomпонентних сумішей. До таких споживачів належать:

- підприємства кондитерської промисловості (виробництво начинок, сухих сумішей для кремів, напівфабрикатів для печива та вафель);

- хлібопекарні та комбінати, що виготовляють сухі хлібопекарські суміші, поліпшувачі, суміші для багетів, хлібів із добавками;
- виробники сухих сніданків, каш швидкого приготування, мюслі;
- підприємства, що виготовляють сухі суміші для супів, соусів, приправ, ферментованих продуктів;
- виробники вітамінно-мінеральних преміксів та функціональних харчових добавок.

З точки зору маркетингу, ринок доцільно сегментувати за такими ознаками: тип продукції (кондитерські, борошняні, функціональні суміші), масштаб виробництва (малі, середні, великі підприємства), рівень автоматизації (традиційні лінії, частково автоматизовані, сучасні високотехнологічні комплекси).

Запропонований змішувач орієнтований на малі та середні підприємства, а також на модернізацію окремих ділянок на великих заводах, де потрібні:

- середній об'єм партії (приблизно 250 кг/цикл),
- висока гнучкість налаштувань режимів змішування,
- можливість швидкої зміни рецептур та переходу з одного продукту на інший.

### **7.3. Аналіз існуючих аналогів та їх обмежень**

На ринку присутні як імпорتنі, так і вітчизняні змішувачі різного типу: стрічкові, шнекові, планетарні, лопатеві. Імпортні агрегати, як правило, характеризуються високим рівнем автоматизації, але мають значну вартість придбання, складність сервісного обслуговування та залежність від імпортних запасних частин. Вітчизняні аналоги часто відзначаються простою конструкцією, але недостатньою інтенсивністю перемішування, підвищеною енергоємністю та обмеженими можливостями адаптації до складних багатокomпонентних рецептур.

До типових недоліків існуючих змішувачів належать:

- обмежений корисний об'єм робочої ємності, що не відповідає сучасним потребам середніх виробництв;
- недостатня однорідність суміші при великій кількості дрібнодисперсних та легких компонентів;
- значні втрати продукту під час промивання та очищення обладнання;
- відсутність розвиненої системи автоматизованого контролю режимів (частоти обертання, часу змішування, роботи додаткових вузлів);
- складність інтеграції в існуючі лінії з автоматизованими системами керування.

Удосконалений змішувач для багатокomпонентних харчових сумішей продуктивністю 250 кг/цикл розроблений саме як відповідь на ці обмеження. Його конструктивні та кінематичні рішення базуються на поєднанні лопатевих робочих органів із оптимізованою формою бункера та можливістю варіювати параметри змішування, що підвищує гнучкість використання обладнання на різних ділянках харчового підприємства.

#### **7.4. Маркетингові переваги удосконаленого змішувача**

З точки зору ринку, удосконалений змішувач має низку суттєвих конкурентних переваг, які формують його привабливість для потенційних замовників.

**1. Підвищена продуктивність та ефективність процесу.** Продуктивність 250 кг/цикл дає змогу обробляти значні партії сумішей при збереженні якості. За рахунок оптимізованої геометрії бункера, раціонального розташування лопатевих робочих органів та можливості підбору режимів (частота обертання, тривалість перемішування, ступінь заповнення) забезпечується скорочення тривалості циклу та зменшення кількості «непродуктивних» операцій.

**2. Висока однорідність багатокomпонентних сумішей.** Конструкція змішувача орієнтована на роботу з рецептурами, що містять компоненти різної гранулометрії та густини (борошно, цукор, какао-порошок,

гранули, мікродобавки). Завдяки лопатевим органам, що забезпечують інтенсивний просторовий рух частинок, досягається стабільний рівень однорідності, що позитивно впливає на якість кінцевої продукції та дозволяє економніше використовувати дорогі функціональні добавки.

**3. Зниження енергоємності та експлуатаційних витрат.**  
Обґрунтований добір конструктивно-технологічних параметрів (частоти обертання, геометрії лопатей, об'єму бункера) дає змогу мінімізувати питомі енерговитрати на процес змішування. Це прямо впливає на собівартість виробництва, що стає вагомим аргументом при виборі обладнання в умовах зростання тарифів на енергоресурси.

**4. Гнучкість та адаптивність до різних видів продукції.**  
Можливість налаштування параметрів змішування, зміни тривалості циклу, використання різних режимів заповнення бункера дозволяє використовувати змішувач для широкого спектра продуктів без необхідності повної заміни обладнання. Це підвищує привабливість проєкту для підприємств, які працюють із короткими серіями та змінним асортиментом.

**5. Відповідність санітарно-гігієнічним вимогам.**  
Використання корозійностійких матеріалів, раціональних форм внутрішніх поверхонь бункера, що знижують кількість застійних зон, полегшує миття та санітарну обробку. Це важливо для харчових виробництв, де безпека продукту та відповідність нормам є ключовими факторами репутації бренду.

**6. Можливість інтеграції в автоматизовані лінії.**  
Передбачена можливість роботи змішувача в складі автоматизованих систем керування, що включають дозування компонентів, транспортування готової суміші та зв'язок із верхнім рівнем (SCADA, MES). Це створює додаткову маркетингову перевагу при реалізації комплексних рішень «під ключ».

### **Висновки до розділу 7**

Маркетинговий аналіз показує, що ринок обладнання для змішування багатокомпонентних харчових сумішей має стійку потребу в технічно

досконалих, енергоефективних та гнучких у налаштуваннях змішувача середнього об'єму. Удосконалений змішувач продуктивністю 250 кг/цикл відповідає цим вимогам як за конструктивними, так і за експлуатаційними характеристиками.

Запропоновані технічні рішення забезпечують:

- підвищення продуктивності та якості змішування;
- зниження енерговитрат і втрат сировини;
- можливість адаптації до широкого спектра харчових продуктів;
- відповідність санітарно-гігієнічним та нормативним вимогам.

Таким чином, проєкт удосконалення змішувача для багатокomпонентних харчових сумішей має не лише технічну, але й чітко виражену маркетингову доцільність, а впровадження розробленого рішення сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку харчових продуктів та обладнання для їх виробництва.

## ВИСНОВКИ

У процесі модернізації змішувача для багатокомпонентних харчових сумішей продуктивністю 250 кг/цикл було виконано комплекс інженерно-технологічних заходів, що дозволили суттєво підвищити ефективність роботи обладнання. За результатами проведених розрахунків, досліджень та конструктивних змін отримано такі висновки:

1. Модернізовано робочі органи змішувача, зокрема: змінено геометрію лопатей на S-подібну з комбінованим кутом атаки; збільшено площу захоплення матеріалу для інтенсивнішого перемішування; оптимізовано крок лопатей, що забезпечило покращення циркуляції суміші по всьому робочому об'єму.
2. Удосконалено форму та конфігурацію внутрішньої робочої камери шляхом введення направляючих ребер та раціонального профілю дна. Це дозволило: ліквідувати застійні зони; покращити вертикально-горизонтальний рух маси; забезпечити рівномірне залучення всіх компонентів у процес змішування.
3. Підвищено продуктивність приводу змішувача: запропоновано енергоефективний електродвигун класу ІЕ3; введено частотний перетворювач для гнучкого регулювання швидкості змішування.
4. Запроваджено автоматизовану систему керування на базі PLC, яка включає: сенсорну панель НМІ з відображенням режимів, часу циклу, швидкості, температури; автоматичне дозування компонентів.

Впроваджені технічні рішення забезпечують оптимальні умови для рівномірного змішування багатокомпонентних харчових сумішей, зменшують енерговитрати та підвищують автоматизацію процесу. Обладнання повністю відповідає сучасним інженерним та санітарно-гігієнічним стандартам і може бути рекомендоване для широкого промислового застосування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антошкін В. М. Обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посіб. — Київ : НУХТ, 2018. — 420 с.
2. Кулік М. С., Лещенко В. В. Технологічне обладнання харчових виробництв : підручник. — Львів : Львівська політехніка, 2020. — 368 с.
3. Якимчук М. В., Миколів І. С. Обладнання для виробництва харчових продуктів : навч. посіб. — Київ : НУХТ, 2021. — 356 с.
4. Кравченко В. С. Процеси та апарати харчових виробництв : підручник. — Київ : Кондор, 2016. — 512 с.
5. Мельник Л. Л. Процеси змішування харчових продуктів : монографія. — Київ : НУХТ, 2017. — 214 с.
6. Машина та апарати харчових виробництв : довідник / за ред. М. І. Погожих. — Київ : НУХТ, 2015. — 528 с.
7. Стружко О. Г. Процеси і обладнання для змішування сипких матеріалів. — Харків : ХНТУСГ, 2020. — 284 с.
8. Воронов В. В. Механічне змішування харчових мас : навч. посіб. — Київ : Кондор, 2019. — 240 с.
9. ДСТУ EN 1672-2:2019. Обладнання харчове. Вимоги щодо гігієни. — Київ : Мінекономрозвитку України, 2019. — 54 с.
10. ДСТУ 3135.0-95. Машина та обладнання харчової промисловості. Терміни та визначення. — Київ : Держстандарт України, 1995. — 48 с.
11. Hildebrandt, T. *Mixing in Food Processing*. — Springer, 2019. — 392 p.
12. Rahman, M. *Handbook of Food Processing Equipment*. — New York : Springer, 2016. — 722 p.
13. Harnby, N., Edwards M., Nienow A. *Mixing in the Process Industries*. — Oxford : Butterworth-Heinemann, 2018. — 432 p.
14. Paul, E. L. *Handbook of Industrial Mixing*. — New York : Wiley, 2017. — 1248 p.

15. Romeo, G. Industrial Mixers: Principles and Design. — London : Elsevier, 2020. — 310 p.
16. Brignon, G. Dry Mixing of Powders. — Paris : Tec&Doc, 2018. — 284 p.
17. Yang, R. Powder Mixing Fundamentals. — New York : CRC Press, 2021. — 356 p.
18. Боброва О. Б. Технологія отримання комбінованих харчових сумішей. — Київ : НУХТ, 2018. — 190 с.
19. Дьяченко С. П. Машины змішувальні. — Харків : ХНАМГ, 2015. — 344 с.
20. Ульріх В. С. Обладнання для змішування сипких матеріалів : навч. посіб. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — 268 с.
21. ISO 14159:2020. Safety and hygiene requirements for machinery. — Geneva : ISO, 2020. — 40 p.
22. ISO 22000:2018. Food safety management systems. — Geneva : ISO, 2018. — 44 p.
23. Smith, R. Food Mixing Technology : Processes and Applications. — Amsterdam : Elsevier, 2022. — 480 p.
24. Patel, M. Food Powders: Properties and Processing. — Boca Raton : CRC Press, 2020. — 512 p.
25. Gupta, A. Mixing and Blending in the Food Industry. — London : Woodhead Publishing, 2023. — 398 p.
26. Battista, H. Powder Technology in Food Manufacturing. — Oxford : Academic Press, 2019. — 370 p.
27. Коваль О. М. Автоматизація та керування харчовими технологічними процесами. — Київ : НУХТ, 2018. — 276 с.
28. Цюрупа Г. М. Автоматизація виробничих процесів харчових підприємств. — Київ : ЦУЛ, 2017. — 264 с.
29. Охріменко І. В. Технологічне обладнання для сухих харчових продуктів. — Харків : ХНТУСГ, 2021. — 310 с.
30. Blanc, R. Hygienic Design of Food Processing Equipment. — New York : Springer, 2020. — 248 p.

31. Kosoko, O. *Advances in Industrial Mixing Technologies*. — Berlin : Springer, 2019. — 302 p.
32. ДСТУ ISO 7202:2006. *Машини для харчової промисловості. Безпека*. — Київ : Держспоживстандарт України, 2006. — 22 с.
33. Єфімов В. Т., Сандул М. Т. *Розрахунок та проектування змішувального обладнання*. — Київ : НУХТ, 2023. — 198 с.
34. Литвиненко Ю. В. *Технологічні аспекти змішування харчових порошків*. // *Харчова наука і технологія*. — 2022. — №4. — С. 34–41.
35. Petrova M. *Optimization of Food Mixing Processes*. // *Journal of Food Engineering*. — 2021. — Vol. 298. — P. 1–12.