

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробної і харчової
промисловості»
Хорольський В.П.
« ____ » _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»
на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАНУЛЬОВАНОГО СКЛАДУ СИРОВИНИ
ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ»**

Виконав:
здобувач вищої освіти Лісовий Сергій Романович
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: доцент, к.п.н., Цвіркун Л.О.
(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
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь магістр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробної і харчової промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробної і харчової промисловості»
Хорольський В.П.

« » _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Лісовому Сергію Романовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження гранульованого складу сировини та удосконалення обладнання для подрібнення»

Керівник роботи к.п.н., Цвіркун Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від « 08 » травня 2024 р. № 59-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 06 » грудня 2024 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. Аналітичний огляд обладнання для подрібнення сировини.

3. Удосконалення молоткової дробарки.

4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для подрібнення сировини.

Удосконалена молоткова дробарка.

Графіки впливу амплітуди на процес просіювання.

Графік кумулятивного відсотка проходження сировини в залежності від розміру частинок.

6. Дата видачі завдання «1» вересня 2024 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	4.09-20.09.2024 р.
2	Аналітичний огляд обладнання для подрібнення сировини	21.09-18.10.2024 р.
3	Удосконалення молоткової дробарки	19.10-08.11.2024 р.
4	Аналіз результатів досліджень	09.11-15.11.2024 р.
5	Висновки по роботі	16.11-22.11.2024 р.
6	Оформлення роботи і подання до захисту	23.11-26.11.2024 р.

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Лісовий С.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Цвіркун Л.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура магістерської роботи. Повний обсяг магістерської роботи – 51 сторінка, в тому числі основного тексту – 45 сторінок. Робота містить: 2 таблиці, 17 рисунків. Список використаних джерел складається з 19 найменувань.

Об'єкт роботи – молоткова дробарка.

Предмет роботи – процес просіювання подрібненого матеріалу через набір сит «ситовий аналіз».

Мета роботи – дослідження гранульованого складу сировини та удосконалення обладнання для подрібнення.

У роботі зазначено, що зменшення розміру є однією з найбільш використовуваних одиничних операцій, яка набула широкого застосування в харчовій промисловості. На подрібнювальну сировину діють механічні сили, в наслідок яких відбувається зменшення розмірів більш твердих одиниць на дрібніші одиничні маси.

На основі аналізу, було зазначено, що при зменшені розміру застосовуються типи сил – стискання, удар, стирання або зсув і різання. Розглянуто принципи і механізм подрібнення сировини: зусилля стиску використовується для грубого подрібнення твердих матеріалів; ударні сили можна розглядати як сили загального призначення; сили зсуву або стирання застосовуються при тонкому подрібненні; ультратонкий помел пов'язаний з процесами, в яких досягається субмікронний діапазон частинок; різання дає певний розмір частинок і створює певну форму.

Вважається, що молоткові дробарки широко використовуються в харчовій промисловості завдяки високій продуктивності. Проте в результаті зносу і корозії отвори сита збільшуються або лопаються, тим самим пропускаючи більші, ніж потрібно частинки. Пропонується для усунення цих недоліків застосовувати вентилятор для здійснення примусової конвекції. Оскільки повітря під тиском може піднімати частинки достатнього розміру на великій відстані то вентилятор змушуватиме частинки матеріалу не забиватися в отвори екрана. Введення вентилятора в камеру фрезерування створює необхідний тиск всмоктування, який обмежує кількість дрібних частинок, що виходять.

Досліджено вплив амплітуди на процес просіювання за допомогою «ситового аналізу». Різна амплітуда може впливати на результат просіювання. Було проведено три випробування: фасоллю просіювалися протягом 5 хвилин з амплітудами 0,5 мм, 1,2 мм і 2 мм. Найбільший розмір сита досягався при амплітуді 1,2 мм. Якщо амплітуда занадто низька, частинки недостатньо високо піднімаються з дна сита, а це означає, що вони не можуть вільно переміщатися по області сита. Якщо амплітуда занадто висока, то частинки відкидаються занадто високо вгору і тим самим мають менше можливостей для порівняння з отворами сита. Імовірність проходження частинки через сітку є оптимальною, коли час підкидання відповідає періоду коливань дна сита. Найкращі результати зазвичай досягаються при амплітудах від 1,2 до 1,3 мм.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: енергетична ефективність, молоткова дробарка, ситоподібний аналіз, обладнання для подрібнення сировини.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ СИРОВИНИ	7
1.1 Методи зменшення розміру сировини у харчовій промисловості	7
1.2 Обладнання для подрібнення	11
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ	23
2.1 Енергетична ефективність при зменшенні розмірів сировини	23
2.2 Удосконалення молоткової дробарки	27
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	31
3.1 Методи вимірювання розподілу частинок за розміром: ситоподібний аналіз	31
3.2 Дослідження гранульованого складу подрібненої сировини за допомогою ситоподібного аналізу	33
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	46

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Лісовий</i>			Дослідження гранульованого складу сировини та удосконалення обладнання для подрібнення	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Цвіркун</i>					5	1
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗДО			
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що зменшення розміру є однією з найбільш використовуваних одиничних операцій, яка набула широкого застосування в харчовій промисловості. На подрібнювальну сировину діють механічні сили, в наслідок яких відбувається зменшення розмірів більш твердих одиниць на дрібніші одиничні маси. Найбільш поширені методи, що використовуються в промисловості, включають використання дробарок і млинів.

Мета та задачі дослідження. Метою магістерської роботи є дослідження гранульованого складу сировини та удосконалення обладнання для подрібнення.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що при зменшенні розміру застосовуються типи сил – стискання, удар, стирання або зсув і різання. Розглянуто принципи і механізм подрібнення сировини: зусилля стиску використовується для грубого подрібнення твердих матеріалів; ударні сили можна розглядати як сили загального призначення; сили зсуву або стирання застосовуються при тонкому подрібненні; ультратонкий помел пов'язаний з процесами, в яких досягається субмікронний діапазон частинок; різання дає певний розмір частинок і створює певну форму.

Вважається, що молоткові дробарки широко використовуються в харчовій промисловості завдяки своїм перевагам: висока продуктивність і гнучкість подрібнення великої кількості різноманітної сировини. Проте в результаті зносу і корозії отвори сита збільшуються або лопаються, тим самим пропускаючи більші, ніж потрібно, частинки. Пропонується, щоб усунути ці дефекти, застосовувати вентилятор для здійснення примусової конвекції та швидкого висихання сировини. Оскільки повітря під тиском може піднімати частинки достатнього розміру на великі відстані то вентилятор змушуватиме частинки матеріалу не забиватися в отвори екрана. Введення вентилятора в камеру фрезерування створює необхідний тиск всмоктування, який обмежує кількість дрібних частинок, що виходять.

Досліджено вплив амплітуди на процес просіювання за допомогою «ситового аналізу». Різна амплітуда може впливати на результат просіювання. Було проведено три випробування: фасолі просіювалися протягом 5 хвилин з амплітудами 0,5 мм, 1,2 мм і 2 мм. Найбільший розмір сита досягався при амплітуді 1,2 мм. Якщо амплітуда занадто низька, частинки недостатньо високо піднімаються з дна сита, а це означає, що вони не можуть вільно переміщатися по області сита. Якщо амплітуда занадто висока, то частинки відкидаються занадто високо вгору і тим самим мають менше можливостей для порівняння з отворами сита. Імовірність проходження частинки через сітку є оптимальною, коли час підкидання відповідає періоду коливань дна сита. Найкращі результати зазвичай досягаються при амплітудах від 1,2 до 1,3 мм.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Лісовий</i>			Дослідження гранульованого складу сировини та удосконалення обладнання для подрібнення	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Цвіркун</i>					6	1
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ СИРОВИНИ

1.1 Методи зменшення розміру сировини у харчовій промисловості

Зменшення розміру є однією з найбільш використовуваних одиничних операцій широкого застосування в харчовій промисловості. На подрібнювальну сировину діють механічні сили, в наслідок яких відбувається зменшення розмірів більш твердих одиниць на дрібніші одиничні маси. Найбільш поширені методи, що використовуються в промисловості, включають використання дробарок і млинів. Незважаючи на те, що в даний час доступно багато різних машин для зменшення розміру, ключовим є знання про властивості оброблюваного матеріалу.

Розмір частинок є одним з найважливіших факторів, що впливають на технологічну здатність сировини, включаючи їх змішувальні, текучі та ущільнювальні властивості. Зменшення розміру частинок є значним для збільшення площі поверхні та властивості потоку. Частинки більшого розміру стикаються з проблемами розчинності, оскільки їм потрібно більше часу для розчинення. У деяких особливих випадках частинки не розчиняються в будь-яких середовищах. У таких випадках частинки повинні розчинитися в суспензії. Важливість розміру частинок в абсорбції полягає в тому, що зі зменшенням розміру частинок відбувається збільшення площі поверхні частинки, що призводить до збільшення самої абсорбції [4]. Процес зменшення більш твердих одиничних мас за допомогою різних методів, таких як шокова дробарка, валкова дробарка, молоткова дробарка та кульовий млин на менші або дрібніші частинки називається зменшенням розміру. Процес зменшення розмірів, також відомий як зменшення або подрібнення, в основному досягається двома методами – осадженням і механічним. Осадження передбачає використання розчинення у відповідному розчиннику, а механічний процес передбачає підпорядкування механічним силам за допомогою шліфувальних машин.

На зменшення розмірів впливають різні фактори. До них відносяться різні фізичні властивості, такі як вміст вологи, твердість, липкість, в'язкість, ковзкість, абразивність тощо. Інші властивості матеріалу, такі як груба і насипна щільність продукту, структура матеріалу, плинність, форма і розмір також впливають на зменшення розмірів [1, 4, 5]. Основною метою зменшення розмірів є збільшення площі поверхні частинок. До інших переваг зменшення розмірів можна віднести посилене і рівномірне змішування завдяки вузькому діапазону розмірів частинок, швидкій швидкості абсорбції, зниженій швидкості седиментації, поліпшеному фізичному вигляду і підвищеній стабільності в разі

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Лісовий</i>				Дослідження гранульованого складу сировини та удосконалення обладнання для подрібнення	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						7	16
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

емульсій.

Термін зменшення розміру застосовується до всіх способів за допомогою яких частинки твердих речовин розрізаються або розбиваються на більш дрібні шматки. У всіх технологічних галузях тверді речовини зменшуються в розмірах і формі різними методами для різних цілей. Зменшення розмірів здійснюється механічним шляхом без зміни хімічних властивостей матеріалів. Під час операції зменшення розміру частинки подрібнюються або зменшуються до необхідного розміру [1, 2]. При цьому однорідність розмірів і форми окремих частинок одержуваного продукту бажана, але важко досягнута. Зменшення розміру іноді призводить до підвищення реакційної здатності твердих речовин, допомагає відділенню небажаних інгредієнтів і зменшує об'єм волокнистих матеріалів для більш легкої обробки.

Дробарки та подрібнювачі – це обладнання, яке в основному використовується для зменшення розмірів сільськогосподарської продукції. Редуктор ідеального розміру повинен відповідати наступним умовам, а саме: велика потужність має давати продукт попереднього бажаного розміру або діапазон розмірів, мала потреба в споживаній потужності на одиницю оброблюваного продукту та проста і безперебійна робота. Зазвичай виконання будь-якого фрезерування.

Обладнання порівнюється з урахуванням ідеальної роботи в стандартній комплектації. Характеристики фактичного обладнання порівнюються з характеристиками ідеального агрегату. Зменшення розмірів призводить до утворення дрібних частинок, які можуть знадобитися або для більшої площі поверхні, або через їх певну форму, розмір і кількість. Кількість енергії, необхідної для створення більш дрібних частинок, є одним з параметрів ефективності роботи [1, 2]. Другим параметром є бажана однорідність розмірів. Фактична одиниця рідко дає продукт однорідного розміру. Незалежно від однорідності розміру корму, мелений продукт складається з суміші частинок різного розміру. У деякому обладнанні є положення про контроль величини найбільших частинок, як у молоткової дробарки, але дрібний розмір не піддається контролю.

Зменшення розміру є процес роботи одиниці і операції включають: шліфування, стиснення та ударні сили. Типами задіяних сил є сили стискання, удару та стирання (зсув). Під час зменшення розміру матеріал, що піддається належному навантаженню, і внутрішні деформації, що виникають, призводять до деформації або руйнуванню матеріалу. До факторів, що впливають на ступінь деформації, відносять твердість матеріалу, структуру матеріалів, кількість тепла, що виділяється в матеріалі і його схильність до розтріскування [4]. Крім того, більш тверді матеріали вимагають більшої енергії для руйнування. Характер матеріалів визначає тип впливу, який необхідний для зменшення розміру. Наприклад, м'які матеріали вимагають зсувних зусиль, а для волокнистих матеріалів необхідна комбінація сил зсуву та удару. Сили, що задіяні у зменшення розміру сировини наведено в таблиці 1.1.


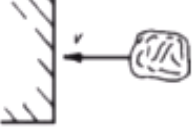
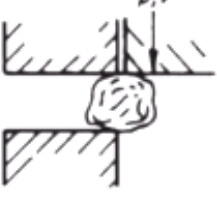

На основі вище зазначеного можна стверджувати:

1. Типи сил, які зазвичай використовуються в харчових процесах – стискання, удар, стирання або зсув і різання.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Під час операції подрібнення, зазвичай, діє більше ніж один тип сили.
3. Дроблення, подрібнення та помел застосовуються у виробництві цукрової пудри, борошна, гірчиці та какао.

Таблиця 1.1 – Сили, що задіяні у зменшенні розміру сировини [3]

Сила	Принципова схема	Приклад обладнання
Компресійна		Валкова дробарка
Ударна		Молотковий млин
Стирання або зсуву		Дисковий млин
Ріжуча		Роторний ножовий різак

Розглянемо принцип і механізм подрібнення сировини:

- зусилля стиску використовується для грубого подрібнення твердих матеріалів;
- ударні сили можна розглядати як сили загального призначення;
- сили зсуву або стирання застосовуються при тонкому подрібненні, коли розмір продуктів може досягати мікрометрового діапазону;
- ультратонкий помел пов'язаний з процесами, в яких досягається субмікронний діапазон частинок;
- різання дає певний розмір частинок і створює певну форму.

Деякі з поширених механічних методів зменшення розміру перераховані наступним чином: обладнання для різання – широко використовується в харчовій промисловості для нарізки овочевих або м'ясних продуктів. Обладнання для подрібнення – до них відносяться як подрібнювачі, так і дробарки. Шліфувальні машини використовують сили удару та зсуву для зменшення розміру. Прикладами можуть служити молоткові дробарки, роликові млини. Дробарки часто можна побачити у використанні в промисловості цукрової тростини, де цукрова тростина піддається силам стиснення.

Обладнання для гомогенізації – дві рідини, що не змішуються, з'єднуються разом в емульсію, тим самим розсіюючи частинки. Під час цього рідина проштовхується через вузьке сопло, що призводить до зсуву, удару, турбулентності та стискаючих сил, що діють на частинки в рідині.

Тверді речовини можуть розбиватися різними способами, але в машинах для зменшення розміру зазвичай використовуються лише чотири з них: стиснення, удар, стирання або тертя та різання. Молоток, напилек і ножиці є прикладами цих чотирьох типів дій. Іноді зменшення розміру є результатом стирання частинки однією або декількома іншими частинками або інтенсивного зсуву в підтримуючій рідині. У загальному випадку стиснення використовується для грубого відновлення твердих речовин, щоб дати відносно невелику кількість дрібних фракцій. Вплив дають грубі, середні або дрібні вироби. При стиранні виходять дуже тонкі вироби з м'яких, неабразивних матеріалів. Різання дає певний розмір частинок, а іноді й певну форму з невеликою кількістю дрібних деталей або без них.

1. Роздавлювання або розколювання – на матеріал прикладається зовнішня сила, що перевищує його міцність, матеріал зазнає невдачі через його розрив у багатьох напрямках. Частинки, що утворюються після дроблення, мають неправильну форму і розмір. Тип матеріалу і спосіб прикладання сили впливає на характеристики нових поверхонь і частинок. Продовольче зерно, борошно, крупи і шрот, мелені корми для худоби виготовляються методом дроблення.

2. Дроблення також використовується для вилучення олії з олійних культур і соку з цукрової тростини.

3. Удар – коли матеріал піддається раптовому удару сили, що перевищує його міцність, він виходить з ладу, як і розколювання горіха за допомогою молотка. Робота ударної дробарки є прикладом прикладання динамічної сили ударним методом.

4. Стискання – процес зменшення розміру, який поєднує різання та дроблення. Вузли для стрижки складаються з ножа і бруска. Якщо кромка ножа або ріжуча кромка досить тонка і гостра, процес зменшення розміру наближається до процесу різання, тоді як товста і тупа ріжуча кромка працює як дробарка. У хорошому стригальному апараті ніж зазвичай досить товстий, щоб подолати удар, що виникає в результаті удару матеріалу. В ідеальному ріжучому апараті зазор між бруском і ножом повинен бути якомога меншим, а ніж – максимально гострим і тонким.

5. Різання – процес зменшення розміру досягається шляхом проштовхування гострого і тонкого ножа через матеріал. В результаті цього відбувається мінімальна деформація і розрив матеріалу, а створена нова поверхня більш-менш не пошкоджується. Ідеальним ріжучим пристроєм є ніж відмінної гостроти, і він повинен бути настільки тонким, наскільки це практично можливо. Розмір овочів і фруктів зменшують за рахунок нарізки.

Переваги зменшення розміру:

- покращене змішування та мінімізована сегрегація;
- покращена хімічна реакційна здатність;

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- зменшена площа поверхні;
- швидке розчинення та збільшення абсорбції;
- повільніша швидкість осідання та кремування у випадку суспензій та емульсій.

1.2 Обладнання для подрібнення

Зменшення розміру – це процес перетворення більш твердих одиничних мас на менші або дрібніші частинки з використанням різних методів, таких як щоківі дробарки, валкові дробарки, молоткові млини та кульові млини. Тут в основному застосовуються принципи виснаження і впливу. Зменшення розмірів, яке також називають зменшенням або подрібненням, досягається в основному двома методами: осадженням і механічним. Осадження тягне за собою розчинення у відповідному розчиннику, тоді як механічна фаза тягне за собою підпорядкування механічним силам за допомогою шліфувальних машин. На зменшення розміру впливає кілька факторів. Серед них вологість, твердість, липкість, ударна в'язкість, ковзкість, абразивність та інші фізичні якості [1-6]. Інші параметри матеріалу, включаючи грубу та об'ємну щільність продукту, структуру матеріалу, текучість, форму та розмір, впливають на зменшення розміру. Основною метою зменшення розміру частинок є максимізація площі поверхні частинок. Інші переваги зменшення розміру включають покращене та рівномірне змішування порошків завдяки обмеженому діапазону розмірів частинок, більш швидке всмоктування, зменшення седиментації, покращений зовнішній вигляд та вищу стабільність у випадку емульсій.

Частини обладнання для зменшення розміру в загальному мають бункер, фрезерну камеру та розвантажувальний жолоб. Вони є трьома основними компонентами апарату для зменшення розміру (рис. 1.1).

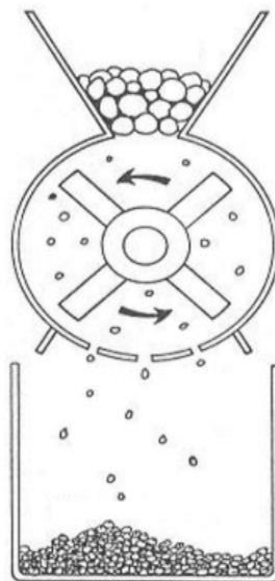


Рисунок 1.1 – Основні частини апаратури для зменшення розмірів (три основні компоненти: бункер, фрезерна камера, розвантажувальний жолоб) [5]

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Шліфування, стиснення та ударні сили є прикладами одиничних дій, які використовуються для зменшення розміру. Сили стиснення, удару та стирання є одними із задіяних сил. Під час зменшення розміру матеріал піддається напрузі, а внутрішні деформації, що виникають, призводять до деформації або руйнування матеріалу. Твердість матеріалу, його структура, кількість тепла, що виділяється в матеріалі, і його схильність до розтріскування – фактори, які впливають на ступінь деформації. Більш тверді матеріали також потребують більше енергії для руйнування [5]. Вид впливу, який необхідний для зменшення розміру, визначається характером матеріалів. М'які матеріали, наприклад, вимагають зусиль зсуву, тоді як волокнисті матеріали вимагають поєднання зсувних сил і удару.

Устаткування для зменшення розмірів поділяється на дробарки, млини, подрібнювачі, надтонкі подрібнювачі та різальні машини. Дробарки виконують важку роботу з розбивання великих шматків твердого матеріалу на більш дрібні. Подрібнювачі перетворюють подрібнювальну сировину в порошок. Ультратонкий подрібнювач приймає частинки розміром не більше 6 мм. Розмір продукту зазвичай становить від 1 до 50 мкм. Фрези надають частинкам певного розміру і форми, довжиною від 2 до 10 мм.

Дробарки – це машини для грубого подрібнення великої кількості сухих речовин. Основними видами є щоків дробарки, гладкокатні дробарки, а також зубчасто-валкові дробарки. Дякі з них працюють за рахунок стиснення і можуть розбивати великі шматки дуже твердих матеріалів, як при первинному, так і при вторинному відновленні. Зубчасто-валкові дробарки розривають сировину для подрібнення. Вони обробляють більш м'яку сировину.

У щоків дробарці подача сировини подається між двома щелепами, встановленими таким чином, щоб утворити V-подібну відкриту у верхній частині. Одна щелепа нерухома або ковадло, яка розташована майже вертикально і не рухається. Інша, розгойдується щелепою, здійснює зворотно-поступальний рух в горизонтальній площині [1, 2]. Щоків дробарка наведена на рисунку рис. 1.2.

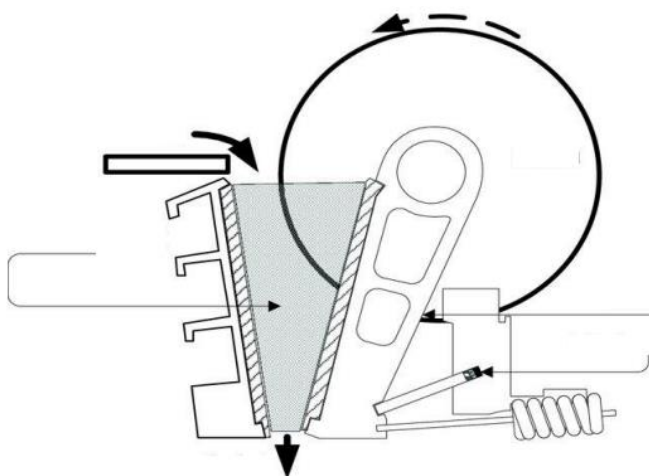


Рисунок 1.2 – V-подібна щоків дробарка

Він утворює кут від 20° до 30° щелепою ковадла. Ексцентрик приводить його в рух так, що він прикладає велику силу стиснення до сировини, що

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

потрапила між щелепами. Щелепні грані пласкі або злегка опуклі. Вони можуть мати неглибокі горизонтальні канавки. Великі грудки, що потрапили між верхніми частинами щелеп, розбиваються, падають у вузький простір нижче і повторно роздавлюються при наступному змиканні щелеп. Після достатнього зменшення вони випадають з нижньої частини машини. Щелепи відкриваються і закриваються від 250 до 400 разів на хвилину [1, 2]. Точка повороту знаходиться у верхній частині рухомої щелепи або вище верхньої частини щелеп на центральній лінії щелепного отвору. Найбільша кількість рухів припадає на нижню частину V, а це означає, що дробарка такого типу має невелику схильність до задухи. Деякі машини з отвором подачі 1,8 на 2 м можуть приймати породи діаметром 1,8 м і дробити 1200 тон/год до максимального розміру продукту 250 мм. Менші вторинні дробарки зменшують розмір частинок попередньо подрібненого корму від 6 до 50 мм при набагато нижчих показниках пропускної здатності.

Гіраторну дробарку можна розглядати як шоківу дробарку з круглими щелепами, між якими матеріал постійно подрібнюється в певний момент. Конічна дробильна головка крутиться всередині воронкоподібної оболонки, яка відкрита зверху. Дробильна головка здійснюється на важкому валу, яка шарнірно закріплена у верхній частині машини. Ексцентрик приводить в рух нижній кінець валу. Отже, в будь-якій точці на периферії обсадної труби днище дробильної головки переміщається в напрямку нерухомої стінки, а потім від неї. Тверді частинки, що потрапили в V-подібний простір між головою і кожухом, розбиваються і розбиваються до тих пір, поки не вийдуть з дна. Дробильна головка вільно обертається на валу і повільно обертається через тертя з матеріалом, що подрібнюється.

Швидкість дробильної головки зазвичай становить від 125 до 425 обертів на хвилину. Оскільки якась частина дробильної головки працює постійно то вивантаження з гіраторію є безперервним, а не переривчастим, як у шоківій дробарці. Навантаження на мотор практично рівномірне; потрібно менше обслуговування, ніж у шоківій дробарки; потреба в потужності на тонну подрібненого матеріалу менша [1, 2]. Найбільші гіраторії обробляють до 4500 т/год. Продуктивність гіраційної дробарки змінюється в залежності від налаштування щелепи, ударної міцності подачі та швидкості обертання машини. Міцність практично не залежить від міцності на стиск матеріалу, що подрібнюється.

Фрези стирання забезпечують стирання частинки м'яких твердих речовин, які труться між рифленими пласкими гранями обертових круглих дисків. Вісь дисків, зазвичай, горизонтальна, а іноді вертикальна. В однохідному млині один диск нерухомий, а інший обертається. У двоходовій машині обидва диски приводяться в рух з великою швидкістю в протилежних напрямках. Подача надходить через отвір в маточині одного з дисків. Вона проходить назовні через вузьку щілину між дисками і вивантажується з периферії в нерухомий кожух [1, 2]. Ширина проміжку в межах регулюється. Як мінімум одна шліфувальна пластина встановлена на пружині, щоб диски могли відокремитися при попаданні в млин матеріалу, що не б'ється. Млини з різним малюнком канавок, гофри або зуб'я на дисках виконують різноманітні

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

операції, включаючи шліфування, крескування, гранулювання та подрібнення і навіть деякі операції, які зовсім не пов'язані зі зменшенням розміру, наприклад, змішування.

Термін «шліфувальна машина» описує різноманітні машини для зменшення розміру для проміжних цілей. Продукт з дробарки часто подається в подрібнювач, в якому перетворюється в порошок. Основними типами комерційних шліфувальних машин є молоткові млини та ударні пристрої, вальцювально-компресійні машини тощо.

Млини містять диски з бурстоуну або скельного наждака для відновлення твердих речовин, таких як спеції, крохмаль, порошки. Металеві диски зазвичай виготовляються з білого заліза, хоча для агресивних матеріалів іноді необхідні диски з нержавіючої сталі. Двоходові млини, як правило, подрібнюють до більш дрібних продуктів, ніж одноканальні млини, але обробляють м'якшу сировину. Повітря часто всмоктується через млин, щоб видалити продукт. Диски можна охолоджувати водою або охолодженим розсолем, щоб відвести тепло, що виділяється під час операції відновлення. Охолодження необхідне для чутливих до тепла твердих речовин, таких як спеції, які в іншому випадку були б зруйновані. Диски одноколіїної фрези мають діаметр від 250 до 1400 мм. Поворот зі швидкістю від 350 до 700 об/хв. Диски в двоходових млинах обертаються швидше, при 1200 до 7000 об/хв. Продукт попередньо подрібнюється до максимального розміру частинок близько 12 мм і повинен надходити з рівномірною контрольованою швидкістю [1, 2]. Фрези на стиранні подрібнюють від 1 до 8 т/год продуктів, які будуть проходити 200-сітчасте сито. Необхідна енергія сильно залежить від характеру подачі та ступеня її скорочення і вона набагато вища, ніж у млинах і дробарках, описаних досі. Типові значення становлять від 8 до 80 кВт·год на тонну продукту. Типи млинів, що застосовуються для подрібнення наведено на рисунку 1.3.

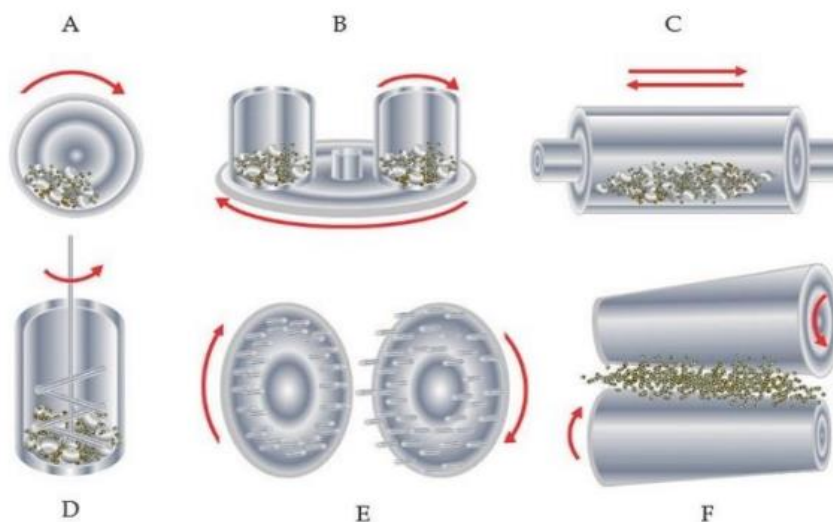


Рисунок 1.3 – Типи млинів, що застосовуються для подрібнення

На рисунку 1.3 представлено: А – кульовий млин, В – планетарний млин, С – вібраційний млин, Д – перемішаючий кульовий млин, Е – штифтовий млин, Ф – прокатний стан.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Млини мають циліндричну оболонку, що повільно повертається навколо горизонтальної осі і заповнюється приблизно до половини свого об'єму твердим помольним середовищем, утворює галтувальний млин. Оболонка зазвичай сталева, футерована пластиною з високовуглецевої сталі, порцеляни, кремнеземистої породи або гуми. Середовищем для подрібнення є металеві стрижні в стрижневому млині, відрізки ланцюга або кульки з металу, гуми або дерева в кульовому млині, крем'яні камінчики або порцелянові чи цирконові кулі в гальковому млині. По середньому і тонкому відновленню абразивних матеріалів фрези не мають собі рівних.

Молоткові млини та ударні пристрої – містять високошвидкісний ротор, що обертається всередині циліндричного корпусу. Вал зазвичай розташований горизонтально. Продукт, що опускається в верхню частину кожуха, ламається і випадає через нижній отвір. У молотковій дробарці частинки розбиваються наборами поворотних молотків, які прикріплені до диска ротора. Частинка продукту, що потрапляє в зону подрібнення, не може уникнути удару молотками. Він розлітається на шматки, які летять об нерухому пластину ковадла всередині корпусу і розбиваються на ще більш дрібні фрагменти [1, 2]. Молотковий млин наведено на рисунку 1.4.

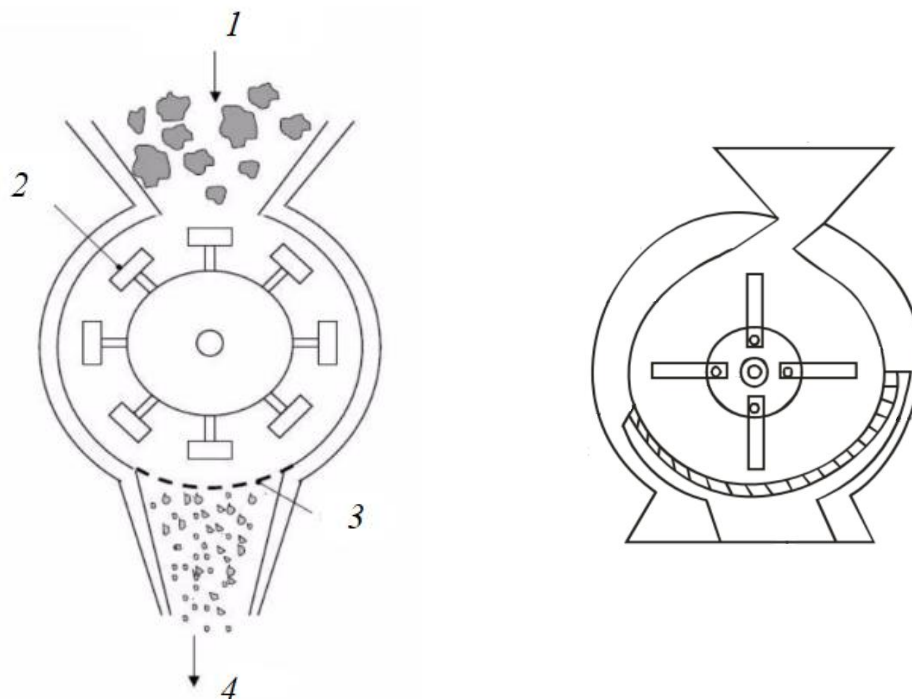


Рисунок 1.4 – Молотковий млин

На рисунку 1.4 позначено: 1 – сировина для подрібнення, 2 – молоток, 3 – екран, 4 – готовий продукт.

Вони, в свою чергу, розтираються молотками в порошок і проштовхуються через решітку або сітку, яка закриває випускний отвір. На одному валу часто встановлено кілька дисків ротора, діаметром від 150 до 450 мм, кожен з яких несе від чотирьох до восьми поворотних молотків. Молотки можуть являти собою прямі металеві бруски з односторонніми або збільшеними

кінцями або з кінцями, заточеними до ріжучої кромки. Проміжні молоткові дробарки дають продукт розміром частинок від 25 мм до 20 меш. У молоткових дробарках для тонкого зниження периферійна частота обертання наконечників молотка може досягати 110 м/с. Вони зменшують швидкість від 0,1 до 15 т/год до розмірів тонших, ніж 200 меш. Молоткові млини подрібнюють майже будь-які тверді волокнисті речовини. Для тонкої редуції вони обмежуються більш м'якими матеріалами.

Валкові дробарки складаються з двох однакових за розміром і згладжених валків, які обертаються з однаковою швидкістю, один за годинниковою стрілкою, а інший проти годинникової стрілки. Два ролики мають відповідну вагу та обертаються на горизонтальних осях, які є паралельними. Залежно від сфери використання, валки також можуть бути зубчастими. Ключовим фактором, що впливає на ступінь зменшення розмірів, є коефіцієнт тертя між речовиною, що підлягає зменшенню і поверхнею ролика. У рулонній дробарці можна вмістити більші частинки, оскільки на зменшення розміру впливають удари, зсув і стиснення – всі вони діють узгоджено. На рисунку 1.5 наведено валкову дробарку.

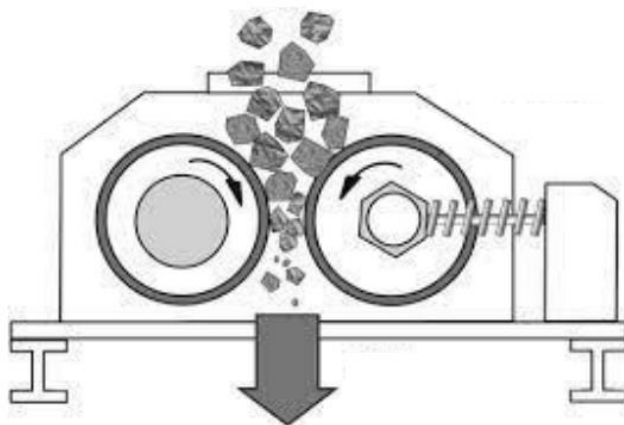


Рисунок 1.5 – Валкова дробарка

Валкові дробарки мають два важких гладкокатних металевих валка, що обертаються на паралельних горизонтальних осях і є робочими елементами гладкокатної дробарки. Частинки сировини, що потрапили між валками, розбиваються при стисненні і випадають нижче. Валки повертаються назустріч один одному з однаковою швидкістю. Швидкість валка коливаються від 50 до 300 об/хв. Кількість частинок, які можуть бути відірвані валками, залежить від коефіцієнта тертя між частинкою і поверхнею валка, але в більшості випадків його можна оцінити з простого співвідношення [1, 2]. Розмір частинок продукту залежить від відстані між валками, як і продуктивність даної машини. Дробарки з гладким валком дають мало дрібної фракції і практично не дають негабариту. Найбільш ефективно вони працюють коли налаштовані на коефіцієнт зменшення 3 або 4 до 1, тобто, максимальний діаметр частинок матеріалу становить одну третину або одну четверту діаметра продукту. Зусилля, що діють на рулон, дуже великі, від 8700 до 70 000 Н/см ширини рулону. Щоб пропустити матеріал, що не б'ється, не пошкодивши машину, як мінімум один рулон повинен бути підпружинений.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У багатьох валкових дробарках грані рулонів несуть гофри, розривні бруски або зуб'я. Такі дробарки можуть містити два валки, як в гладкокатних дробарках, або тільки один валок, що працює проти нерухомої вигнутої рубальної пластини. Машини, відомі як дезінтегратори, містять два рифлених валка, що обертаються з різною швидкістю, які розривають подачу, або невеликий швидкісний валок з поперечними розривними брусками на лицьовій стороні, що повертається в бік великого повільношвидкісного гладкого валка. Деякі дробильні валки для грубих матеріалів несуть важкі пірамідальні зуб'я.

В інших конструкціях використовується велика кількість тонкозубчастих дисків, які розпилюють плити або листи матеріалу. Зубчасті дробарки набагато універсальніші, ніж гладкокатні, в межах обмеження, що вони не можуть обробляти дуже тверді речовини. Вони працюють за рахунок стиснення, удару та зсуву, а не лише за рахунок стиснення, як це роблять гладкокатні машини. Вони не обмежені проблемою прищиплення, властивою гладким валкам, і тому можуть зменшувати набагато більші частинки.

У млинах періодичної дії відміряна кількість твердої речовини, що підлягає подрібненню і завантажується в млин через отвір в оболонці. Отвір закривають і включають млин на кілька годин. Потім його зупиняють, а продукт вивантажують. У млині безперервної дії тверда речовина неухильно протікає через обертову оболонку, заходячи одним кінцем через порожнисту цапфу і виходячи на інший кінець через цапфу або через периферійні отвори в обичайці [1, 2]. У таких млинах шліфувальні елементи виносяться вгору по стінці оболонки майже до верху, звідки вони потрапляють на частинки, що знаходяться під нею. Енергія, витрачена на підйом шліфувальних агрегатів, витрачається на зменшення розміру частинок. У деяких галтувальних млинах, наприклад у стрижневих млинах, більша частина скорочення здійснюється за рахунок стиснення прокатки та стирання, коли стрижні ковзають вниз і перекочуються один на одного. Шліфувальні стрижні зазвичай сталеві, діаметром від 25 до 125 мм, з кількома розмірами, які завжди присутні на будь-якому млині. Штанги подовжують всю довжину млина. Від викручування їх іноді утримують конічні кінці на шкаралупі. Стрижневі млини є проміжними подрібнювачами, що зменшують подачу 20 мм до можливо 10 сітки, часто готують продукт з дробарки для остаточного скорочення в кульовому млині. З них виходить продукт з невеликими габаритами.

Кульовий млин складається з діоксиду цирконію, сталевій порожнистій циліндричній обертовій оболонці, яка покрита порцеляною або пластиною з високовуглецевої сталі. Раковина може бути заповнена сталевими кульками або камінням до половини її обсягу (рис. 1.6). Кульки однорідні за вагою, але розрізняються за розміром, в залежності від кількості використовуваного матеріалу. Зменшення розміру викликано тим, що кульки сточуються об речовину, що підлягає подрібненню. Розмір кулі, швидкість обертання оболонки і швидкість подачі впливають на розмір частинок і форму матеріалу, що підлягає подрібненню [5]. Коли оболонка повертається, відцентрові сили всередині оболонки рухають кулю вздовж стінки млина, куди вона опускається під дією гравітаційної сили, коли вона досягає певної висоти. Це гарантує шліфування матеріалу.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Завдяки контрольованому середовищу в кульовому млині тонке подрібнення широкого спектру матеріалів і подрібнення небезпечних речовин є одними з додаткових переваг кульових млинів.

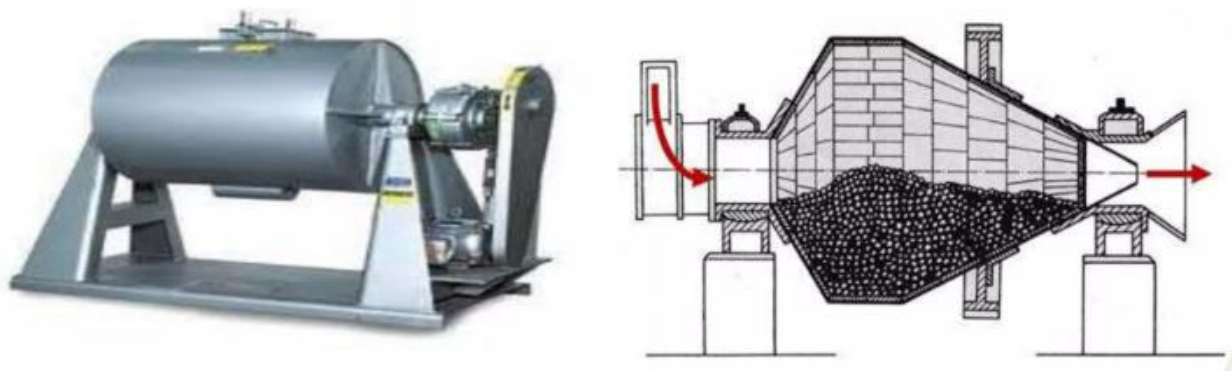


Рисунок 1.6 – Кульовий млин

У кульковому млині або гальковому млині більша частина зменшення виконується ударом, коли кульки або камінчики падають з-під верхньої частини раковини. У великому кульковому млині оболонка може бути 3 м в діаметрі і 4,25 м в довжину. Кульки мають діаметр від 25 до 125 мм. Галька в гальковому млині має розмір від 50 до 175 мм. Трубчастий млин – це безперервний млин з довгою циліндричною оболонкою, в якій матеріал подрібнюється від 2 до 5 разів довше, ніж у коротшому кульковому млині. Трубчасті млини відмінно підходять для подрібнення до дуже дрібних порошків за один прохід, де кількість споживаної енергії не має першорядного значення [1, 2, 4, 5]. Установка щільних поперечних перегородок в трубчастому млині перетворює його в відсіковий млин. В одному відсіку можуть бути великі кульки, в іншому – маленькі кульки, а в третьому – камінчики. Таке розділення шліфувальних тіл на елементи різного розміру та ваги значно допомагає уникнути марної роботи, оскільки великі, важкі кулі розбивають лише великі частинки, не заважаючи дрібним фракціям. Маленькі, легкі кульки потрапляють тільки на дрібні частинки, на не великі грудки вони не можуть розбитися.

Подача надходить зліва через конус під кутом 60° в зону первинного шліфування, де діаметр оболонки максимальний. Виріб виходить через конус під кутом 30° вправо. Млин такого типу містить кульки різного розміру, всі вони зношуються і стають меншими під час роботи млина. Періодично додаються нові великі кулі. При обертанні обичайки такого млина великі кулі переміщуються до точки максимального діаметра, а маленькі до розвантаження. Початкове розбиття частинок подачі, таким чином, здійснюється за рахунок падіння найбільших кульок на найбільшу відстань. Дрібні частинки подрібнюються маленькими кульками, опускаючись на набагато меншу відстань. Кількість витраченої енергії відповідає складності операції розриву, збільшуючи ефективність млина.

Прокатно-компресійні машини сприяють тому, що тверді частинки вловлюються та подрібнюються між рухомим елементом і забоем кільця або

корпусу. Найбільш поширеними типами є розпилувачі з прокатними кільцями, чашкові млини та роликові млини. Вертикальні циліндричні ролики з великою силою притискаються назовні до нерухомого ковадла кільця або кориди. Вони рухаються на помірних швидкостях по круговій траєкторії. Плуги піднімають тверді грудки з підлоги млина і направляють їх між кільцем і валками, де і відбувається скорочення. Продукт змітається з млина потоком повітря в сепаратор класифікатора, з якого частинки негабариту повертаються на млин для подальшого скорочення. У деяких роликових млинах чаша або кільце приводиться в рух. Ролики обертаються на нерухомих осях, які можуть бути вертикальними або горизонтальними. Вони подрібнюють до 50 т/год. При використанні класифікації продукт може досягати 99 відсотків через 200-сітчастий екран.

Набір поворотних молотків утримується між двома дисками ротора, як і в звичайній молотковій дробарці. Крім молотків вал ротора несе в себе два вентилятора, які втягують повітря через млин в напрямку, і виводяться в повітроводи, що ведуть в колектори для продукту. На дисках ротора розташовані короткі радіальні лопатки для відділення негабаритних частинок від частинок прийнятної розміру [1, 2]. У камері подрібнення частинкам твердого тіла надається висока швидкість обертання. Грубі частинки концентруються уздовж стінки камери через відцентрову силу, що діє на них. Повітряний потік переносить більш дрібні частинки всередину від зони шліфування до валу. Лопатки сепаратора мають властивість викидати частинки назовні. Чи пройде дана частинка між лопатками сепаратора і вийде до розряду, залежить від того, яка сила переважає опір, що чиниться повітрям, або відцентрова сила, що діє лопатками. Пропускаються прийнятно дрібні частинки. Занадто великі частинки відкидаються назад для подальшого зменшення в камері подрібнення. Зміна частоти обертання ротора або розмірів і числа лопаток сепаратора змінює максимальний розмір частинок продукту. Млини такого типу знижують швидкість від 1 або 2 тони/год до середнього розміру частинок від 1 до 20 мкм з потребою в енергії близько 40 кВт·год/метрична тонна.

Млини з рідинною енергією. У цих млинах частинки підвішені у високошвидкісному газовому потоці. У деяких конструкціях газ тече по круговій або еліптичній траєкторії. В інших є струмені, які протистоять один одному або енергійно перемішують киплячу ложу. Деяке скорочення відбувається коли частинки вдаряються об стінки обмежувальної камери або труться об них, але вважається, що більша частина скорочення викликана стиранням між частинками. Внутрішня класифікація утримує більші частинки в млині до тих пір, поки вони не зменшаться до потрібного розміру. В якості суспендованого газу зазвичай виступає стиснене повітря або перегріта пара, що подається під тиском 7 атм через сопла, що подають напругу. Камера подрібнення являє собою овальну петлю з труби діаметром від 25 до 200 мм і висотою від 1,2 до 2,4 м. Подача надходить в нижню частину петлі через інжектор Вентурі.

Коли газовий потік обтікає цей вигин з великою швидкістю, більш грубі частинки викидаються назовні до зовнішньої стінки, а дрібні біля внутрішньої

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

стілки. Розвантажувальний отвір у внутрішній стінці в цьому місці веде до циклонного сепаратора і збірника мішків для продукту. Класифікація підтримується складною схемою вихору, що утворюється в газовому потоці на вигині в петлі труби [1, 2]. Млини з рідинною енергією можуть приймати частинки подачі розміром до 12 мм, але вони більш ефективні, коли частинки подачі не перевищують 100 меш. Вони зменшують до 1 тони/год нелипкої твердої речовини до усереднення частинок до 10 діаметром, використовуючи від 1 до 4 кг пари або від 6 до 9 кг повітря на кілограм продукту. Петльові фрези можуть обробляти до 6000 кг/год.

Багато комерційних порошків повинні містити частинки розміром від 1 до 20 мкм, причому, практично всі частинки проходять стандартний екран із 325 сітками, який має отвори шириною 44 мкм. Млини, які відновлюють тверді речовини до таких дрібних частинок, називаються надтонкими шліфувальними машинами. Ультратонке подрібнення сухого порошку виконується шліфувальними машинами, такими як високошвидкісні молоткові дробарки, які забезпечені внутрішньою або зовнішньою класифікацією, а також рідинно-енергетичними або струменевими млинами. Надтонке мокре подрібнення проводиться в перемішаних млинах [1, 2, 4]. Для деяких операцій надтонкого подрібнення доступні нероторні млини невеликої партії, що містять тверде середовище помелу. Середовище складається з твердих елементів, таких як кульки, гранули або піщинки. Ці млини являють собою вертикальні посудини ємністю від 4 до 1200 л, заповнені рідиною, в якій знаходиться помольне середовище. У деяких конструкціях заряд перемішується за допомогою багаторукого робочого колеса, а в інших, які використовуються спеціально для подрібнення твердих матеріалів, зворотно-поступальна центральна колона «вібрує» вміст посудини приблизно на 20 Гц. Зверху впускається концентрована кормова суспензія, а продукт (з деякою кількістю рідини) виводиться через сито вниз.

У колоїдному млині інтенсивний зсув рідини у високошвидкісному потоці використовується для розсіювання частинок або крапель рідини з утворенням стабільної суспензії або емульсії. Часто фактичне зменшення розміру млина незначне. Основна дія полягає в руйнуванні слабо зв'язаних скупчень або агрегатів. Сиропи, молоко, пюре, мазі, фарби та жири – це типові продукти, оброблені таким чином. Хімічні добавки часто стають в нагоді для стабілізації дисперсії [1, 2]. У більшості колоїдних млинів рідина, що подається, перекачується між близько розташованими поверхнями, одна з яких рухається відносно іншої зі швидкістю 50 м/с і більше. Рідина проходить через вузькі проміжки між дископодібним ротором і кожухом. Часто для відводу тепла, що виділяється, потрібне охолодження. Продуктивність колоїдних млинів відносно невелика і коливається від 2 або 3 л/хв для малих млинів до 440 л/хв для найбільших агрегатів.

Різальні машини забезпечують зменшення сировини, яке не можливе методом стиснення, ударом або стиранням, наприклад, коли рослинна сировина має бути зведена до частинок фіксованих розмірів. Цим вимогам відповідають пристрої, які ріжуть, подрібнюють або розривають матеріал в продукт з потрібними характеристиками. Згадані вище пилкоподібні дробарки виконують

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

більшу частину своєї роботи таким чином. Різальні машини включають в себе поворотні ножові різачки і гранулятори [1, 2]. Поворотний ножовий різак містить горизонтальний ротор, що обертається зі швидкістю від 200 до 900 об/хв у циліндричній камері. На роторі розташовані від 2 до 12 літаючих ножів з кромками із загартованої сталі або стеліту, що проходять з близьким зазором над 1-7 нерухомими станинами ножів. Частинки матеріалу, що надходять в камеру зверху, розрізаються кілька сотень разів на хвилину і виходять на дно через сито з отворами від 5 до 8 мм. Літаючі ножі розташовуються паралельно, а іноді, в залежності від властивостей матеріалу, ріжуть під кутом. Роторні фрези і гранулятори схожі за конструкцією. Гранулятор дає більш-менш нерівні шматки. З різця можуть вийти кубики, тонкі квадрати або ромби.

На сьогодні існує безліч видів інструментів для зменшення розміру. Процес зменшення розмірів є одним з основних для харчової промисловості. В даний час в наявності велика кількість обладнання для зменшення розмірів з різною потужністю і розмірами. Сировина може оброблятися найрізноманітнішими методами. Характер сировини, що підлягає переробці, також так само важливий, як і вибір обладнання для зменшення розміру. Зменшення розміру допомагає досягти рівномірного змішування, однорідності та ідеальної подачі матеріалів.

На основі вище зазначеного можна вважати, що зменшення розміру є однією з найбільш використовуваних одиничних операцій широкого застосування в харчовій промисловості. На подрібнювальну сировину діють механічні сили, в наслідок яких відбувається зменшення розмірів більш твердих одиниць на дрібніші одиничні маси. Найбільш поширені методи, що використовуються в промисловості, включають використання дробарок і млинів. Незважаючи на те, що в даний час доступно багато різних машин для зменшення розміру, ключовим є знання про властивості оброблюваного матеріалу.

Зазначено, що зменшення розміру є важливою операцією агрегату для полегшення обробки харчових продуктів. Операція подрібнення забезпечує бажану однорідність розмірів. Фактична одиниця зрідка дає продукт однорідного розміру. Незалежно від однорідності розміру сировини, мелений продукт складається з суміші частинок різного розміру. У деякому обладнанні є положення про контроль величини найбільших частинок, як у молоткової дробарки, але дрібний розмір не піддається контролю.

Розглянуто чотири методи зменшення розміру – це дроблення, удар, стирання і різання. Процес зменшення розмірів, також відомий як зменшення або подрібнення, в основному досягається двома методами – осадженням і механічним. Осадження передбачає використання розчинення у відповідному розчиннику, а механічний процес передбачає підпорядкування механічним силам за допомогою шліфувальних машин.

На зменшення розмірів впливають різні фактори. До них відносяться різні фізичні властивості, такі як вміст вологи, твердість, липкість, в'язкість, ковзкість, абразивність тощо. Інші властивості матеріалу, такі як груба і насипна щільність продукту, структура матеріалу, плинність, форма і розмір, також впливають на зменшення розмірів. Основною метою зменшення розмірів

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

є збільшення площі поверхні частинок. До інших переваг зменшення розмірів можна віднести посилене і рівномірне змішування завдяки вузькому діапазону розмірів частинок, швидкій швидкості абсорбції, зниженій швидкості седиментації, поліпшеному фізичному вигляду і підвищеній стабільності в разі емульсій.

Вважається, що під час зменшення розміру матеріал, що піддається, піддається належному навантаженню, і внутрішні деформації, що виникають, призводять до деформації або руйнування матеріалу. До факторів, що впливають на ступінь деформації, відносять твердість матеріалу, структуру матеріалів, кількість тепла, що виділяється в матеріалі і його схильність до розтріскування. Крім того, більш тверді матеріали вимагають більшої енергії для руйнування. Характер матеріалів визначає тип впливу, необхідний для зменшення розміру. Наприклад, м'які матеріали вимагають зсувних зусиль, а для волокнистих матеріалів необхідна комбінація сил зсуву та удару.

Типи сил, які зазвичай використовуються в харчових процесах – стискання, удар, стирання або зсув і різання є ключовими у процесі подрібнення. Під час операції подрібнення зазвичай діє більше ніж один тип сили. Дроблення, подрібнення та помел застосовуються у виробництві цукрової пудри, борошна, гірчиці та какао.

Розглянуто принципи і механізм подрібнення сировини:

- зусилля стиску використовується для грубого подрібнення твердих матеріалів;
- ударні сили можна розглядати як сили загального призначення;
- сили зсуву або стирання застосовуються при тонкому подрібненні, коли розмір продуктів може досягати мікрометрового діапазону;
- ультратонкий помел пов'язаний з процесами, в яких досягається субмікронний діапазон частинок;
- різання дає певний розмір частинок і створює певну форму.

На сьогодні існує безліч видів інструментів для зменшення розміру. Процес зменшення розмірів є одним з основних для харчової промисловості. В даний час в наявності велика кількість обладнання для зменшення розмірів з різною потужністю і розмірами. Характер сировини, що підлягає переробці, також так само важливий, як і вибір обладнання для зменшення розміру. Зменшення розміру допомагає досягти рівномірного змішування, однорідності та ідеальної подачі матеріалів.

Сконцентровано увагу на двох основних параметрах, які враховуються при проектуванні або підборі обладнання для зменшення розмірів. По-перше, це енергія, яка необхідна для зменшення розміру. Чим дрібніший кінцевий розмір частинок, тим більшою буде потреба в енергії. Іншим основним параметром є якість кінцевого продукту, яке виражається в термінах гранулометричного складу. Модуль дрібної маси обчислюється на основі розподілу частинок за розміром, отриманого в результаті екранного аналізу кінцевого продукту. Найбільш поширеним методом класифікації подрібненого продукту є просіювання подрібненого матеріалу через набір сит, яке також називають «ситовим аналізом». Він вказує на однорідність розмірів частинок в кінцевому продукті.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

2.1 Енергетична ефективність при зменшенні розмірів сировини

На сьогодні актуальним є раціональне використання енергетичних ресурсів. Нераціональне використання енергії призводить до економічних втрат. В умовах тенденції до зростання цін на енергоносії протягом останніх кількох років більшість підприємств орієнтуються на зниження енергоспоживання з метою зниження собівартості кінцевого продукту. Процес дроблення широко використовується в харчовій промисловості. Основним методом первинної підготовки сировини є подрібнення. Дроблення є першим і найважливішим етапом підготовки сировини до подальшої переробки. Від якості дроблення залежить якість наступних стадій обробки (сушіння, зберігання тощо). Основною метою цього етапу є відділення (розкриття) зерен з подальшим їх подрібненням.

Підвищення ефективності дроблення є нагальною проблемою галузі. Істотним недоліком обладнання для подрібнення сировини є їх низька енергоефективність. Подрібнення є дуже енергоспоживаємим процесом, тому важливо використовувати енергію ефективно. Характерною особливістю дробарок є їх безперервна функція. Бажаний ступінь зменшення сировини повинен підтримуватися, при цьому обсяг матеріалу, що подається, постійно контролюється. Відношення поверхневої енергії, що утворюється при дробленні, до енергії, поглиненої твердим тілом, і є ефективність дроблення, η_c . Якщо e_s – поверхнева енергія на одиницю площі, то в метрах помножити на кг сили на квадратний метр, а A_{wb} і A_{wa} – площі на одиницю маси сировини, відповідно, енергія, що поглинається одиницею маси матеріалу, дорівнює [1]:

$$W_n = \frac{e_s (A_{wb} - A_{wa})}{\eta_c}$$

Поверхнева енергія, що утворюється при руйнуванні, мала в порівнянні з загальною механічною енергією, запасеною в матеріалі в момент розриву, і більша частина останньої перетворюється в теплоту. Тому, ефективність дроблення низька. Типова ефективність дроблення коливається від 0,06 до 1 відсотка. Енергія, що поглинається W_n , менша, ніж та, що подається на машину. Частина сумарної енергії W витрачається на подолання тертя в підшипниках та інших рухомих частинах, а решта доступна для дроблення. Відношення поглиненої енергії до вхідної енергії становить, η_m , механічний ККД. Тоді, якщо W – споживана енергія, то:

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Лісовий				Дослідження гранульованого складу сировини та удосконалення обладнання для подрібнення	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Цвіркун						23	8
Н. Контр.	Омельченко					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.	Хорольський							

$$W = \frac{W_n}{\eta_m} = \frac{e_s (A_{wb} - A_{wa})}{\eta_m \eta_c}$$

Кількість споживаної електроенергії є важливим параметром при подрібненні, тому фактори, які контролюють цю вартість, є важливими. Під час зменшення розмірів частинки живильного матеріалу спочатку спотворюються і деформуються. Робота, яка необхідна для їх деформації, тимчасово зберігається в твердому тілі у вигляді механічної енергії напруги, подібно до того, як механічна енергія може зберігатися в згорнутій пружині. Коли до напружених частинок прикладається додаткова сила, вони деформуються понад свою граничну міцність і раптово розриваються на фрагменти. Утворюється нова поверхня. Оскільки одиниця площі твердого тіла має певну кількість поверхневої енергії, то створення нової поверхні вимагає роботи, яка забезпечується вивільненням енергії напруги коли частинка розбивається. При збереженні енергії вся енергія напруги, що перевищує створену нову поверхневу енергію, повинна з'явитися у вигляді тепла. Якщо m – швидкість подачі, то потужність P , яка необхідна машині, дорівнює [1]:

$$P = W\dot{m} = \frac{\dot{m}e_s (A_{wb} - A_{wa})}{\eta_c \eta_m}$$

Середній розмір частинок суміші визначається декількома різними способами. Найбільш використовуваним є середній об'ємно-поверхневий діаметр D_s , який пов'язаний з питомою площею поверхні A_w . Вона визначається наступним рівнянням:

$$\bar{D}_s \equiv \frac{6}{\phi_s A_w \rho_p}$$

де ϕ_s – хаотичність частинок;
 ρ_p – густина частинки, кг/м³.

Узагальнемо рівняння [1]:

$$P = \frac{6\dot{m}e_s}{\eta_c \eta_m \rho_p} \left(\frac{1}{\phi \bar{D}_{sb}} - \frac{1}{\phi \bar{D}_{sa}} \right)$$

де D_{sa} – середній діаметр подачі;
 D_{sb} – середній діаметр продукту.

Закон Рітінгера. Закон дроблення, запропонований Рітінгером у 1867 році, стверджує, що робота, яка необхідна для дроблення, пропорційна створеній новій поверхні. Цей закон, який насправді є не більше ніж гіпотезою,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

еквівалентний твердженню, що ефективність дроблення η_c , постійна і для даної машини і матеріалу подачі не залежить від розмірів матеріалу M_d продукту. Якщо сферичності ϕ_a і ϕ_b рівні, а механічний ККД постійний, то різні константи в рівнянні можна об'єднати в єдину константу K_r , відому як постійна Ріттінгера і закон Ріттінгера, записаний як [4]:

$$\frac{P}{\dot{m}} = K_r \left(\frac{1}{\bar{D}_{sb}} - \frac{1}{\bar{D}_{sa}} \right)$$

Закон Кіка. У 1885 році Кік запропонував інший закон, заснований на аналізі напруги пластичної деформації в межах пружної межі, який стверджує, що робота, яка необхідна для дроблення даної маси матеріалу, є постійною при тому ж коефіцієнті відновлення, тобто, відношенні початкового розміру частинки до кінцевого розміру частинок. Звідси випливає зв'язок:

$$\frac{P}{\dot{m}} = K_k \ln \frac{\bar{D}_{sa}}{\bar{D}_{sb}}$$

де K_k – константа.

Закон Кіка, так і закон Ріттінгера застосовні в обмежених діапазонах розмірів частинок, за умови, що K_k і K_r визначаються експериментально за допомогою випробувань в машині того типу, який буде використовуватися, і з матеріалом, який потрібно подрібнити. Таким чином, вони мають обмежену корисність і представляють в основному історичний інтерес.

Закон дроблення Бонда та індекс роботи. Деяко реалістичніший метод оцінки потужності, необхідної для дроблення та подрібнення, був запропонований Бондом у 1952 році. Бонд постулював, що робота, яка необхідна для формування частинок розміру D_p з дуже великого матеріалу, пропорційна квадратному кореню з відношенням поверхня-об'єм продукту [4]:

$$\frac{P}{\dot{m}} = \frac{K_b}{\sqrt{D_p}}$$

де K_b – константа, яка залежить від типу машини і від матеріалу, що подрібнюється.

Енергія, яка необхідна для зменшення розміру є важливим параметром. Чим дрібніший кінцевий розмір частинок, тим більшою буде потреба в енергії. Ріттінгер, Кік і Бонд запропонували різні емпіричні рівняння для оцінки потреби в енергії при зменшенні розміру. Слід докласти зусиль для використання одного або декількох з цих рівнянь для забезпечення ефективного виконання операції зменшення розміру.

Розглянуто закони зменшення розміру:

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Закон Кікса стверджує, що енергія, яка необхідна для зменшення розміру частинок, прямо пропорційна відношенню початкового розміру до кінцевого розміру матеріалу.

2. Закон Рітінгера стверджує, що енергія, яка необхідна для зменшення розміру, пропорційна зміні площі поверхні сировини.

3. Закон Бонда свідчить, що робота, яка необхідна для утворення частинок необхідного розміру, пропорційна квадратному кореню з поверхневого і об'ємного відношення продукту.

На основі вище зазначеного слід відзначити, що основні властивості, які пов'язані з енергією для зменшення розміру сировини:

– шліфування не є дуже ефективним процесом із традиційних агрегатних операцій;

– велика частина вхідної енергії втрачається на деформацію частинок у межах їх пружності та тертя між частинками;

– велика кількість цієї витраченої енергії вивільняється у вигляді тепла, яке, у свою чергу, може бути причиною теплового пошкодження сировини;

– подрібнення є дуже енергоспоживаємим процесом, тому важливо використовувати енергію ефективно.

Автоматизація будь-якого технологічного процесу, зокрема процесу дроблення, передбачає створення системи, яка керує процесом без прямого втручання людини або залишає прийняття найважливіших рішень людині. Таким чином, автоматизація процесів подрібнення підвищує продуктивність та енергоефективність за рахунок мінімізації втручання людини в процес, тим самим зменшуючи людські помилки [16, 18]. На цьому етапі неможливо повністю автоматизувати процеси подрібнення на підприємствах. Оператори, як і раніше, мають значний вплив на процес, тому слід враховувати, що одним із ключових аспектів втрати оператором контролю є відсутність глибоких знань динаміки процесу. Отже, щоб звести помилки в середовищі ручного управління до мінімуму, дані з пристроїв повинні бути представлені в зрозумілій формі. Це забезпечить ефективне прийняття рішень та підвищить загальну ефективність. Використання автоматизованої системи дозволяє підвищити продуктивність і підвищити якість кінцевої продукції. Це також призвело до зменшення кількості зупинок через перевантаження по струму дробарок, високого рівня у впускному бункері, низького рівня в завантажувальному бункері, переміщення тощо [18]. Автори виявили, що затримок при ручній роботі на 55% більше, ніж при роботі установки з автоматизованою системою. Система управління та моніторингу процесу призводить до збільшення потужності на 1–16%, збільшення відновлення до 1%, менше втручання оператора і термін окупності менше шести місяців.

Найважливішими функціями цифрової системи для дробарки є безперервний контроль роботи подрібнювального обладнання під час роботи, а також генерація сигналу для контролю продуктивності дробарки. Дробарка має електронний архів з усіма збоями і робочими параметрами [17, 18]. Система забезпечує значне підвищення зручності роботи оператора за рахунок надання однокористувацького інтерфейсу для управління дробаркою з центральної станції оператора. Сигнал від апаратури обробляється за допомогою часо-

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

частотного аналізу і представляється у форматі зображення. Потім він подається на вхід нейронної мережі, яка аналізує виробничий процес. Новий підхід до локального виявлення несправностей в обертових машинах заснований на захопленні вібраційних сигналів і їх обробці. Система автоматичного управління не може ефективно працювати без постійного збору даних з машини. Датчики є невід’ємною частиною замкнутого управління, так як якість вимірювання безпосередньо впливає на працездатність системи управління. Краща якість вимірювань призводить до більш точного контролю [18]. Запропонований метод контролю рівня завантажувального бункера. Запропоновано новий метод з адаптивною оцінкою стану зі зміною в часі для кращого контролю рівня за допомогою ультразвукового датчика. Для контролю рівня також був застосований контролер PI, який подає сигнал, а контролер управляє швидкістю подачі для підтримки оптимального рівня завантаження бункера.

Інші дослідники запропонували автоматичну систему управління процесом для шокової дробарки. Це дозволило б покращити та інтенсифікувати виробничий процес при одночасному зменшенні людського втручання за рахунок вирішення проблем виробничого процесу. Запропонована система використовує ультразвуковий датчик зі змінною швидкістю обертання двигуна для контролю швидкості вібрації сита, що передає дробарці, для отримання контролю швидкості подачі. Це допомагає вирішити проблеми з перевантаженням у дробарці. Над екраном встановлена електромагнітна планка для уловлювання будь-яких частинок заліза, що містяться в сировині [18]. Таким чином, це є рішенням вимушеної зупинки процесу дроблення, а також призводить до скорочення часу технічного обслуговування та зниження витрат. Крім того, бункери для зберігання кінцевих продуктів були розроблені таким чином, щоб відповідати щоденній продуктивності дробарки. Рівень в бункері контролюється за допомогою ультразвукового датчика, що вирішує питання витрат кінцевого продукту. Для перевірки отриманої системи була розроблена тривимірна модель. Результати моделювання підтвердили переваги, які досягнуті за рахунок збільшення швидкості подачі приблизно на 1,5% і кількості кінцевого продукту приблизно на 2,5%.

2.2 Удосконалення молоткової дробарки

Молоткові дробарки широко використовуються в харчовій промисловості завдяки своїм перевагам: висока продуктивність і гнучкість подрібнення великої кількості різноманітної сировини. Умовно вони діють за принципами удару і подрібнення. Обладнання складається із вузла ротора, на якому встановлені хитні молотки та екрану. Вал ротора цього млина може бути розташований вертикально або горизонтально, але перевага віддається горизонтальному розміщенню [16, 17, 19]. Вал несе елементи, відомі як молотки або бітери. Молотки виготовлені в кількох формах, таких як T-подібний елемент, стрижні або кільця, шарнірні до валу або до дисків, закріплених на валу. Молотки можуть вільно розгойдуватися замість того, щоб бути жорстко прикріпленими, щоб поглинати ударні навантаження, що

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

виникають при контакті з дуже твердими речовинами або матеріалом. Молоткова дробарка наведена на рисунку 2.1.

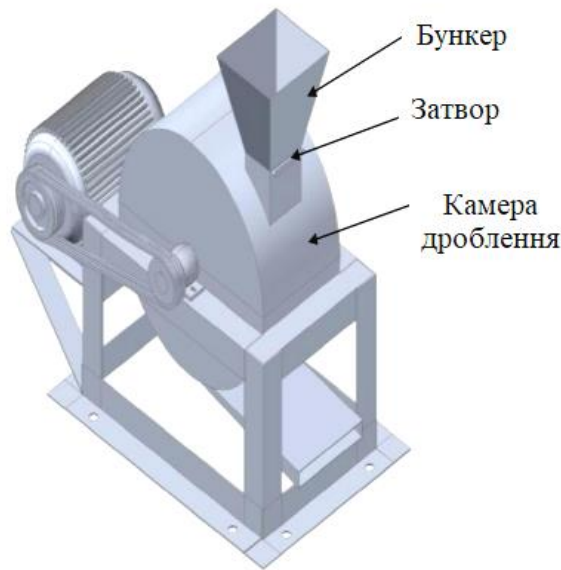


Рисунок 2.1 – Молоткова дробарка

Молоткові дробарки працюють на високій швидкості для досягнення дрібного подрібнення та розпаду матеріалів, що вводяться. Шліфування досягається за рахунок удару і стиранню між частинками матеріалу, що подрібнюється, корпусом і шліфувальними елементами. Коли матеріал, що подрібнюється, подається в камеру шліфування, по ньому спочатку вдаряють обертові молотки, а потім кидають на перфоровану пластину. Тому матеріал шліфується під дією багаторазових ударів ударних елементів, зіткнень з грохотами і стінками шліфувальної камери, а також ударів частинок об частинки [16, 17, 19]. Як тільки розмір частинок матеріалу зменшиться до розміру менше, ніж у отворів сита, він проходить через сито і відокремиться через вихідний отвір млина. Дрібність частинок регулюється застосуванням сит різного розміру вічок. Схематично молоткова дробарка представлена на рисунку 2.2.

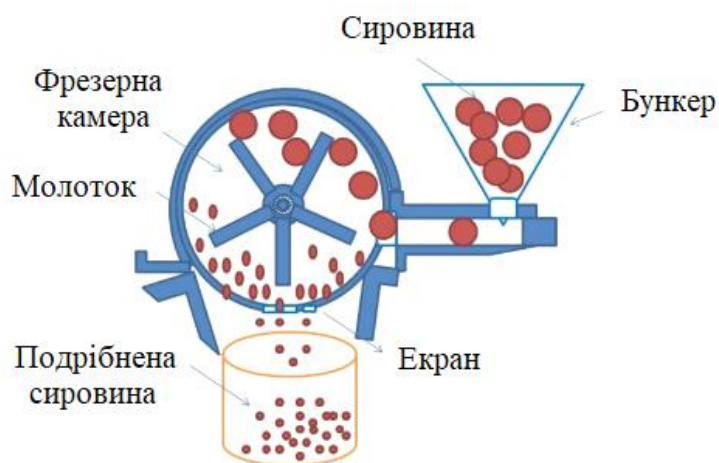


Рисунок 2.2 – Молоткова дробарка

У результаті зносу і корозії отвори сита збільшуються або лопаються, тим самим пропускаючи більші, ніж потрібно, частинки. Щоб усунути цей дефект, для екрану краще застосовувати матеріал із нержавіючої сталі, який є стійким до зносу та корозії. Знову ж таки, після декількох годин роботи молоткової дробарки отвори сита забиваються, тим самим знижуючи її ефективність і продуктивність [16, 19]. Також мокрі матеріали стають еластичними і тому поглинають більшу частину ударної енергії молотка, не ламаючись. Це також знижує ефективність молоткових дробарок. Щоб усунути ці дефекти пропонується застосовувати вентилятор для здійснення примусової конвекції та швидкого висихання сировини. Оскільки повітря під тиском може піднімати частинки достатнього розміру на великі відстані, вентилятор змушує частинки матеріалу не забиватися в отвори екрану. Крім того, деякі частинки, що утворюються молотковими млинами, мають форму пилу і втрачаються в атмосферу, яка забруднює навколишнє середовище. Вони також становлять серйозну небезпеку для здоров'я людей, які керують молотковими млинами, оскільки потрапляють у легені, вуха, очі тощо. Введення вентилятора в камеру фрезерування створює необхідний тиск всмоктування, який обмежує кількість дрібних частинок, що виходять.

Молоткова дробарка наведена на рисунку 2.3. Основними компонентами конструкції молоткового млина є: вал, шків, ремінь, електродвигун, підшипники, пластини з нержавіючої сталі, кутники з м'якої сталі.

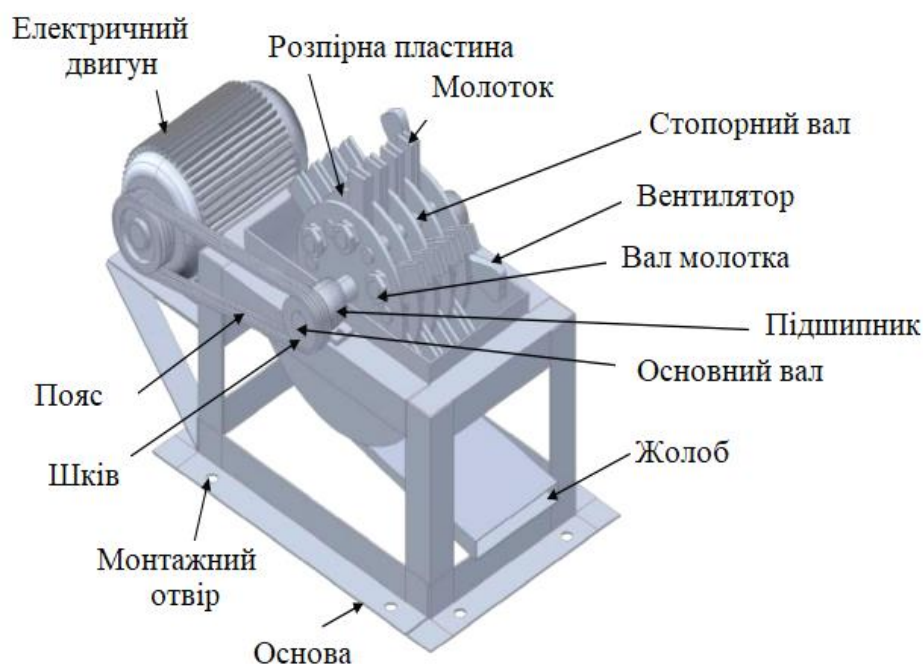


Рисунок 2.3 – Удосконалена молоткова дробарка

Був введений контроль подачі для запобігання перевантаження дробильної камери. Це було досягнуто за рахунок використання механічних засобів для управління періодичним відкриттям і закриттям затвора завантажувального бункера в камеру.

На основі вище зазначеного можна вважати, що на сьогодні актуальним є раціональне використання енергетичних ресурсів. Нераціональне використання енергії призводить до економічних втрат. В умовах тенденції до зростання цін на енергоносії протягом останніх кількох років більшість підприємств орієнтуються на зниження енергоспоживання з метою зниження собівартості кінцевого продукту. Дроблення є першим і найважливішим етапом підготовки сировини до подальшої переробки. Від якості дроблення залежить якість наступних стадій обробки (сушіння, зберігання тощо). Основною метою цього етапу є відділення (розкриття) зерен з подальшим їх подрібненням.

Підвищення ефективності дроблення є нагальною проблемою галузі. Істотним недоліком обладнання для подрібнення сировини є їх низька енергоефективність. Подрібнення є дуже енергоспоживаємим процесом, тому важливо використовувати енергію ефективно. Характерною особливістю дробарок є їх безперервна функція. Бажаний ступінь зменшення сировини повинен підтримуватися, при цьому обсяг матеріалу, що подається, постійно контролюється.

Розглянуто закони зменшення розміру:

1. Закон Кікса стверджує, що енергія, яка необхідна для зменшення розміру частинок, прямо пропорційна відношенню початкового розміру до кінцевого розміру матеріалу.

2. Закон Рітінгера стверджує, що енергія, яка необхідна для зменшення розміру, пропорційна зміні площі поверхні сировини.

3. Закон Бонда свідчить, що робота, яка необхідна для утворення частинок необхідного розміру, пропорційна квадратному кореню з поверхневого і об'ємного відношення продукту.

Вважається, що автоматизація будь-якого технологічного процесу, зокрема процесу дроблення, передбачає створення системи, яка керує процесом без прямого втручання людини або залишає прийняття найважливіших рішень людині. Таким чином, автоматизація процесів подрібнення підвищує продуктивність та енергоефективність за рахунок мінімізації втручання людини в процес, тим самим зменшуючи людські помилки.

Зазначено, що молоткові дробарки широко використовуються в харчовій промисловості завдяки своїм перевагам: висока продуктивність і гнучкість подрібнення великої кількості різноманітної сировини. Проте в результаті зносу і корозії отвори сита збільшуються або лопаються, тим самим пропускаючи більші, ніж потрібно, частинки. Щоб усунути ці дефекти пропонується застосовувати вентилятор для здійснення примусової конвекції та швидкого висихання сировини. Оскільки повітря під тиском може піднімати частинки достатнього розміру на великі відстані, вентилятор змушуватиме частинки матеріалу не забиватися в отвори екрана. Крім того, деякі частинки, що утворюються молотковими млинами, мають форму пилу і втрачаються в атмосферу, яка забруднює навколишнє середовище. Вони також становлять серйозну небезпеку для здоров'я людей, які керують молотковими млинами, оскільки потрапляють у легені, вуха, очі тощо. Введення вентилятора в камеру фрезерування створює необхідний тиск всмоктування, який обмежує кількість дрібних частинок, що виходять.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методи вимірювання розподілу частинок за розміром: ситоподібний аналіз

Ситоподібний аналіз широко використовується для опису продукту особливо високої вартості. Продукт може бути описаний як високоякісний, якщо тестове вимірювання встановить, що бажані властивості лежать в межах даного допуску. Якщо виміряні значення відхиляються занадто сильно, якість нижча. Багато матеріалів, як природних, так і штучних, зустрічаються в дисперсній формі (матеріал, який не утворює однорідної єдності, а розділений на елементи, які можуть бути відокремлені один від одного, наприклад, купа піску). Розміри частинок і їх розподіл в межах матеріальної величини, тобто фракцій частинок різного розміру, мають вирішальний вплив на фізичні та хімічні властивості.

Для характеристики сипучих товарів різних форм і розмірів необхідне знання їх гранулометричного складу. Розподіл частинок за розміром, тобто кількість частинок різного розміру, відповідає за важливі фізичні та хімічні властивості, такі як розчинність, сипучість і поверхнева реакція. У багатьох галузях промисловості, таких як харчова промисловість, традиційний аналіз сита є стандартом для виробництва та контролю якості порошків та гранул. До переваг ситового аналізу можна віднести простоту обробки, низькі інвестиційні витрати, точні та відтворювані результати за порівняно короткий час та можливість розділення частинок за розміром фракцій [10-15]. Тому цей метод є прийнятним альтернативним методом аналізу з використанням лазерного світла або обробки зображень. Щоб гарантувати високий ступінь відтворюваності та надійності, шейкери та аксесуари для сит повинні відповідати вимогам національних та міжнародних стандартів. Це означає, що тестові сита, шейкери для сит і всі інші вимірювальні прилади (наприклад, ваги), які використовуються для характеристики розподілу частинок, повинні бути відкалібровані в рамках системи управління якістю. Крім того, необхідно проводити підготовку зразків з великою обережністю. Тільки тоді можна досягти результатів просіювання, які дозволяють достовірно охарактеризувати той чи інший продукт.

Ситоподібний аналіз або тест на градацію є важливим методом оцінки гранульованого матеріалу за розміром. Розмір частинок впливає на такі властивості матеріалу, як потік і поведінка транспортування (для сипучих матеріалів), реакційна здатність, абразивність, розчинність, поведінка екстракції та реакції, смак, стисливість та багато іншого [10]. Тому визначення розміру частинок після подрібнення має важливе значення для широкого

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Лісовий</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>					31	12
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>						

спектру галузей промисловості, таких як харчова промисловість для оптимізації процесів проектування та забезпечення якості та безпеки кінцевої продукції.

Для вимірювання розподілу частинок за розміром можуть застосовуватися різні методи, залежно від матеріалу зразка, очікуваних розмірів частинок та мети дослідження. До них відносяться прямий аналіз зображень, статичний або динамічний, статичне розсіювання світла, також зване лазерною дифракцією, динамічне розсіювання світла і ситоподібний аналіз [10-15]. Методи аналізу гранулометричного складу та їх пропускна здатність наведена в таблиці 3.1. Загальні методи аналізу розмірів і розподілу частинок:

– Метод вибору для визначення розмірів і розподілу частинок залежить від цільової речовини та очікуваних розмірів частинок.

– Методи гранулометричного складу:

– аналіз сита;

– прямий аналіз зображень, статичних або динамічних;

– статичне розсіювання світла, також зване лазерною дифракцією;

– динамічне розсіювання світла.

Ситоподібний аналіз є традиційним і найбільш використовуваним методом для вимірювання розподілу частинок за розміром.

Таблиця 3.1 – Методи аналізу гранулометричного складу

Методи аналізу гранулометричного складу	Типові розміру частинок
– Аналіз сита:	
– сухе просіювання	40 мкм – 125 мм
– вологе просіювання	20 мкм – 20 мм
– розсіювання повітряного струменя	10 мкм – 0,2 мм
Статичний аналіз зображень	0,5 мкм – 1,5 мм
Динамічний аналіз зображень	1 мкм – 30 мм
Статичне розсіювання світла або лазерна дифракція	10 нм – 4 мм
Динамічне розсіювання світла	1 нм – 10 мкм

Ситоподібний аналіз є традиційним методом визначення гранулометричного складу. Тверді частинки розміром від 125 мм до 20 мкм можна швидко та ефективно вимірювати сухим або вологим просіюванням за допомогою стандартних тестових сит. Ситоподібний аналіз зазначений у ряді національних та міжнародних стандартів як обов'язковий метод випробування для різноманітних аналітичних та промислових процесів.

Прямий аналіз зображень дозволяє визначити фізичні властивості окремих частинок (розмір, форма, морфологія поверхні). Принципова відмінність між динамічним і статичним аналізом зображень полягає в тому, що при аналізі статичних зображень частинки розташовуються на носії і не переміщуються щодо камери під час захоплення, наприклад, у мікроскопа, тоді як при динамічному аналізі зображень частинки рухаються повз детектор [10-15]. *Статичний аналіз зображень* в основному використовується для вимірювання вузьких розподілів розмірів, з акцентом на характеристиці дуже дрібних частинок. Він надає зображення частинок з високою роздільною

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

здатністю, які дозволяють надзвичайно точно описати розмір і форму, але це займає багато часу.

Динамічний аналіз зображень – метод характеристики частинок на основі чисел, застосовний до зразків, розмір яких перевищує приблизно 1 мкм. Сучасний метод характеристики розміру частинок, який ідеально підходить для рутинних вимірювань сипучих товарів, порошків, гранул і суспензій. У багатьох галузях вже замінив традиційний аналіз сита [10-15]. *Статичне розсіювання світла* або *лазерна дифракція* може визначати розподіл на основі об'єму, фармацевтичні препарати та у рідинах та суспензіях. Лазерна дифракція є найбільш поширеним методом визначення розподілу частинок за розміром, відмінним від традиційного ситового аналізу. Він заснований на відхиленні лазерного променя ансамблем частинок, розсіяних або в рідині, або в повітряному потоці. *Динамічне розсіювання світла* засноване на броунівському русі дисперсних частинок у розчині. Техніка для вимірювання розміру та розподілу за розміром молекул і частинок, як правило, в субмікронному діапазоні.

До переваг ситового аналізу можна віднести: він простий у використанні, вимагає мінімальних інвестиційних витрат, дає точні та відтворювані результати за порівняно короткий час, а також має можливість розділяти фракції за розміром частинок. Процедура аналізу сита шляхом диференціального зважування сита є виснажливим і схильним до помилок процесом. Використання точного балансу зі зручними функціями та цифровим управлінням даними може швидко окупитися.

3.2 Дослідження гранульованого складу подрібненої сировини за допомогою ситоподібного аналізу

Лабораторне сито в основному використовується в лабораторії для класифікації та вимірювання порошків, сипучих частинок і суспензій. Різні розміри зразків відокремлюють через сита різного розміру. Методом можна швидко і ефективно вимірювати розмір твердих частинок від 125 мм до 20 мкм. Застосовуються спеціальні сита з отворами менше 20 мкм, але слід розуміти, що чим дрібніше сито, тим більша ймовірність того, що певні види твердих частинок заб'ють або закупорять порожнини сита. Однак, «мікро» просіювання до 5 мкм можливе за допомогою спеціальних методик. Лабораторне сито може укладати 8 шарів ситової рамки (включаючи дно сита), які можуть точно розділяти вид гранульованого матеріалу на 2-7 сегментів частинок одночасно. Діаметри лабораторних сит включають 75 мм, 100 мм, 200 мм, 300 мм, а розмір осередків від 4 мм до 38 мкм. При укладанні на ситошейкер верхнє тестове сито має найбільше число сітки, а нижнє тестове сито має найменше число сітки. На рисунку 3.1 представлено лабораторне сито.

Під час просіювання відома вага зразка піддається горизонтальному або вертикальному переміщенню відповідно до обраної методики. Він розміщується на верхній частині групи вкладених сит (верхнє сито має найбільші отвори для сита, а розміри отворів сита зменшуються з кожним ситом до днища, яке має найменший розмір отвору сита для вказаного типу

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу) і струшується механічними засобами протягом певного періоду часу. Це викликає відносний рух між частинками і ситом. Залежно від їх розміру, окремі частинки або проходять через сігчасті сита або утримуються на поверхні сита, що уможливило перевірку імовірності проходження частинки через сито. Сітку визначають за співвідношенням розміру частинок до отворів сита, орієнтацією частинок і кількістю взаємодії між частинками і отворами сітки. Сировина процесу зменшення розмірів визначається в термінах гранулометричного розподілу.



Рисунок 3.1 – Лабораторне сито

Криві розподілу частинок за розміром створюються шляхом побудови графіка кумулятивного відсотка проходження в залежності від розміру частинок і шляхом побудови графіка відсотка збереженої маси в порівнянні з розміром частинок. Для розрахунків і більшості порівнянь необхідний повний аналіз розміру частинок. Визначення розміру частинок стало критично важливим застосуванням у харчовій промисловості та багатьох інших галузях.

Розмір, форма, щільність і розподіл частинок впливають на фізичні властивості сировини. Наприклад, зазвичай використовується просіювання лікарської речовини, яка близька до специфікації розміру частинок і це можна задовольнити, видаливши негабаритні частинки. Сито або просіювач є необхідною частиною кожного процесу фармацевтичного виробництва, особливо в міру того, як якість і цілісність продукції. Використання сита дозволяє позбутися від негабаритних забруднень для того, щоб готові інгредієнти гарантували якість продукції під час виробництва та перед відправкою або використанням.

Крім аналізу сита, процес просіювання також включає підготовчі етапи, такі як відбір проб, поділ зразка (якщо необхідно) і вибір тестових сит. Після

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

процесу просіювання дані оцінюються, матеріал для зразків відновлюється, а сита очищаються і висушуються. Для отримання результатів просіювання важливо, щоб усі етапи процесу просіювання виконувалися за допомогою точних і надійних інструментів (сито, шейкер, ваги). Програмне забезпечення для оцінки значно скорочує час, який необхідний для запису та оцінки даних, а також допомагає мінімізувати помилки передачі даних.

Важливість відбору проб показана на рисунку 3.2. Навіть якщо аналіз проведений правильно, випадковий відбір проб призводить до різних результатів, які не можна відтворити, хоча зразки отримані з одного і того ж вихідного матеріалу. Три різні зразки, які взяті з однієї вихідної сировини, показують варіації до 20% для фракції менше 2 мм.

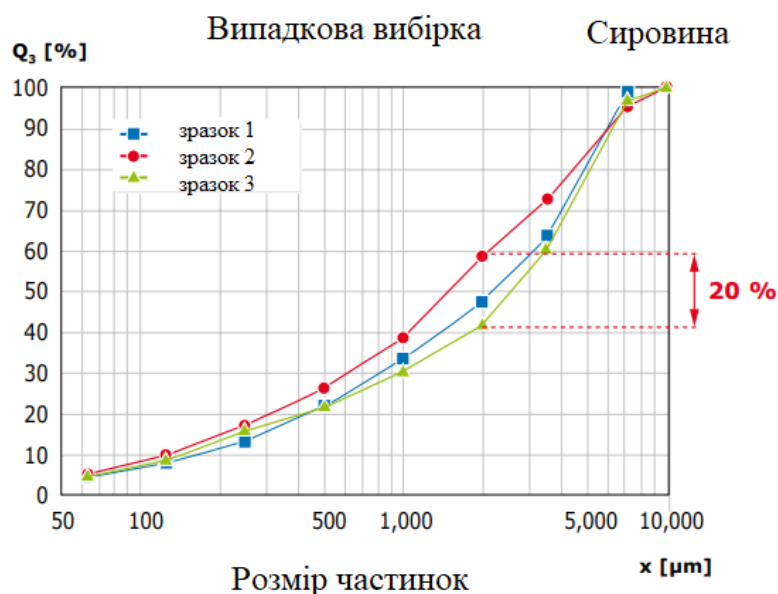


Рисунок 3.2 – Випадкова вибірка [14]

Тому важливо, щоб відбір проб проводився з максимальною ретельністю. Основною вимогою до відтворюваного ситового аналізу є вилучення репрезентативної підвибірки з основної маси. Репрезентативність означає, що властивості підвибірки, в даному випадку розподіл частинки за розміром, повинні бути ідентичні властивостям основної маси. Відбір проб великих обсягів сипучих матеріалів може бути досить складним. Щоб отримати репрезентативну підвибірку необхідно взяти зразки з різних місць і змішати їх разом [10-15]. Отриманий об'ємний зразок часто перевищує кількість матеріалу, який може обробити шейкер для сита. Максимальна партія залежить від різних факторів, таких як кількість і розмір сит, максимальний розмір зерна і ширина розподілу зразка. Стандарт DIN 66165 передбачає більш детальну інформацію, наприклад, максимальну кількість зерна великого розміру, яка повинна залишатися на квадратному дециметрі ситового дна. Негабаритне зерно на ситі з розміром вічок 1 мм, наприклад, не повинно бути більше 20 см³ на квадратний дециметр. Для сита 200 мм це дорівнює 63 см³ негабариту, для сита 400 мм це 252 см³. Максимальна партія не повинна перевищувати

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

подвійного обсягу величини негабариту, тобто сито діаметром 200 мм з розміром вічок 1 мм не повинно заповнюватися більш ніж 126 см^3 зразкового матеріалу. Помноживши ці значення на насипну щільність можна отримати відповідні маси.

Сфера, яка проходить через сито, має діаметр менше 1 мм. Для частинок неправильної форми, наприклад, фасолі або чечевиці, все складніше. На відміну від сировини правильної форми ці частинки проходять через сито лише тоді, коли мають певну орієнтацію. Під час просіювання частинка потрапляє на ситову сітку до тих пір, поки не пройде зі своїм найменшим проекційним екраном через отвір. Проекційна поверхня являє собою двовимірну «тінь» частинок [14]. Сировина подовженої форми проходить через ситову сітку, якщо діаметр її базальної площини менше 1 мм, незалежно від її довжини. Таким чином, еквівалентний діаметр частинки становить менше 1 мм. Еквівалентний діаметр несферичної частинки дорівнює діаметру сферичної частинки, яка виявляє ідентичні властивості. Частинки неправильної форми розглядаються як сфери, розмір яких можна звизити за допомогою просіювання. Порівняння подовженої сировини і сфероподібної сировини наведено на рисунку 3.3.

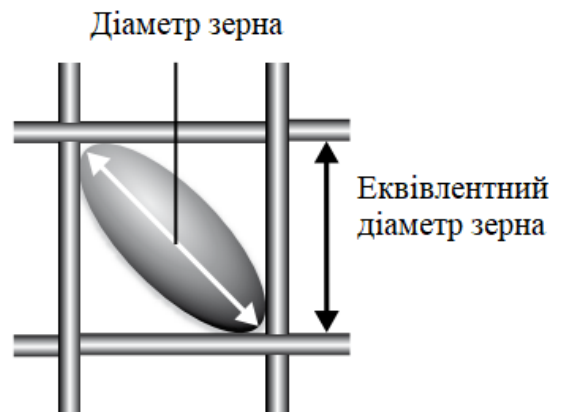
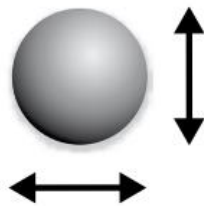
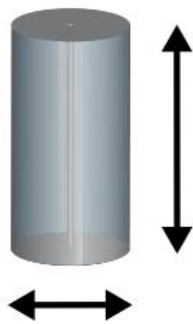


Рисунок 3.3 – Порівняння подовженої сировини і сфероподібної [14]

Рисунок 3.4 – Частинка чечевиці може проходити через сітку сита з діагональною орієнтацією (діаметр > еквівалентний діаметр) [14]

Пласкі або сочевицеподібні частинки зерна можуть проходити через ситову сітку по діагоналі (рис. 3.4). Це означає, що еквівалентний діаметр частинки менший за діаметр її поверхні, але більший за її товщину.

Вибір сит залежить від кількості проб, а також від гранулометричного складу. Розміри осередків стека сита повинні охоплювати повний розмірний ряд зразка через рівні проміжки часу. Чим ширше розмірний ряд зразка, тим більше сит слід використовувати. Стандарти можуть допомогти визначити відповідні розміри сітки.

Для здійснення аналізу сита необхідно початку зважити порожні сита. Зразок також повинен бути зважений, щоб гарантувати, що матеріальні втрати можуть бути визнані або виключені. Для оцінки процесу просіювання необхідно визначити розмір (фракцію) на дні кожного сита з урахуванням обсягу і маси. Найбільш поширеним методом є зважування фракцій. Кожне

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

сито зважують за розміром, з якого потім віднімають вагу порожнього сита. Після цього матеріал зразка можна витягти з сит. Отримання окремих фракцій є значною перевагою ситового аналізу в порівнянні з більшістю оптичних вимірювальних систем. Дробини є не тільки аналітичними величинами, але і фізично доступними.

Просіювання за допомогою набору сит/ситового штабеля. У загальному випадку для визначення гранулометричного складу використовується просіювання за допомогою ситометричного складу. Для цього необхідно:

- з'єднати стек сита зі збірником;
- визначити вагу порожнього сита;
- покласти сита зі збільшенням розміру сітки на збірний піддон;
- зважити зразок і покласти його на крайнє верхнє сито (найбільший розмір сітки);
- покласти всю стопку сита, заповнену матеріалом для зразків, на сітчастий шейкер і закріпити;
- встановити відповідну амплітуду та час просіювання на сітчастому шейкері та запустити шейкер для сита;
- коли час просіювання закінчиться, кожне сито і збірний контейнер зважити;
- визначити масу кожної фракції (після просіювання мінус порожня вага)
- здійснити відповідне оцінювання.

Зазвичай процеси просіювання проводяться з сухим матеріалом. Однак, коли сухе просіювання не може забезпечити належний ступінь розділення між окремими фракціями, а якість просіювання не може бути покращена за допомогою допоміжних засобів для просіювання, потрібне вологе просіювання. Крім ситового набору, для вологого розсіювання потрібна притискна кришка з розпилювальною насадкою, а також колектор з вихідним отвором [12, 14]. Процес просіювання підтримується водою з розпилювальної насадки, яка розташована над самим верхнім ситом. Вода виходить з ситового штабеля, несучи останню фракцію через вихідний отвір в збірнику. Полоскання проводиться до тих пір, поки рідина, що виходить з вихідного отвору каструлі, не перестане мутніти твердими частинками.

Ідеальні параметри часу просіювання та амплітуди/швидкості залежать від сировини, яку потрібно просіяти. Параметри мають вирішальний вплив на результат просіювання. Як правило, національні та міжнародні стандарти та внутрішні нормативні акти надають велику кількість інформації для конкретного продукту про аналізи сит та відповідні параметри. Якщо таку основну інформацію отримати неможливо, то найкращий час і амплітуду просіювання доводиться визначати експериментальним шляхом.

У роботі було досліджено вплив амплітуди на процес просіювання. На рисунку 3.5 показано, як різна амплітуда може впливати на результат просіювання. Було проведено три випробування: фасоллю просіювали протягом 5 хвилин з амплітудами 0,5 мм, 1,2 мм і 2 мм. Найбільший розмір сита досягався при амплітуді 1,2 мм. Цьому результату є просте пояснення: якщо амплітуда занадто низька, частинки недостатньо високо піднімаються з дна сита, а це означає, що вони не можуть вільно орієнтуватися або вільно

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

переміщатися по області сита. Якщо амплітуда занадто висока, то частинки відкидаються занадто високо вгору і тим самим мають менше можливостей для порівняння з отворами сита.

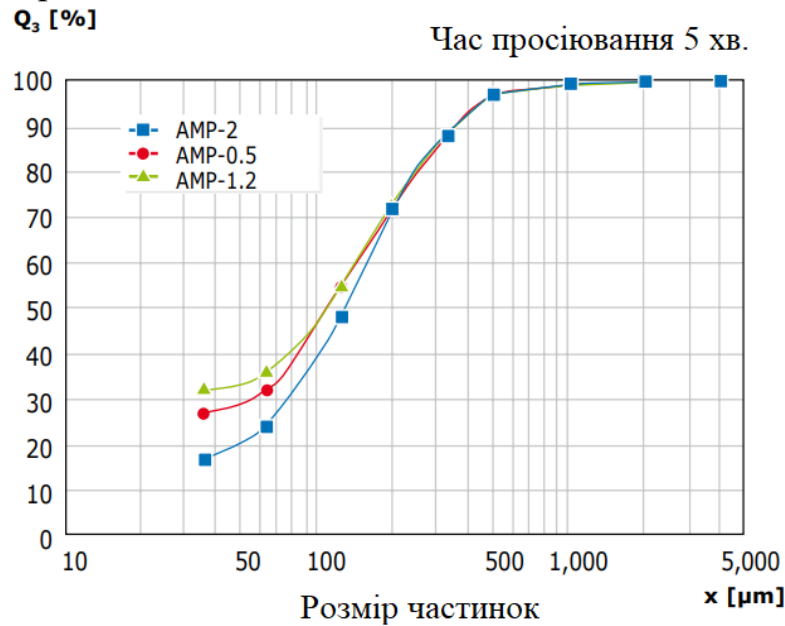


Рисунок 3.5 – Вплив амплітуди на процес просіювання

Імовірність проходження частинки через сітку є оптимальною, коли час підкидання відповідає періоду коливань дна сита (рис. 3.6). У такому випадку просіюваний матеріал буде переміщатися з іншою орієнтацією в інший отвір сита кожного разу, коли дно сита піднімається. Такий стан називається статистичним резонансом [11, 14, 15]. Найкращі результати зазвичай досягаються при амплітудах від 1,2 до 1,3 мм. Оптимальний час просіювання відповідно до DIN 66165 досягається, якщо після однієї хвилини просіювання через сито проходить менше 0,1% кількості сировини.

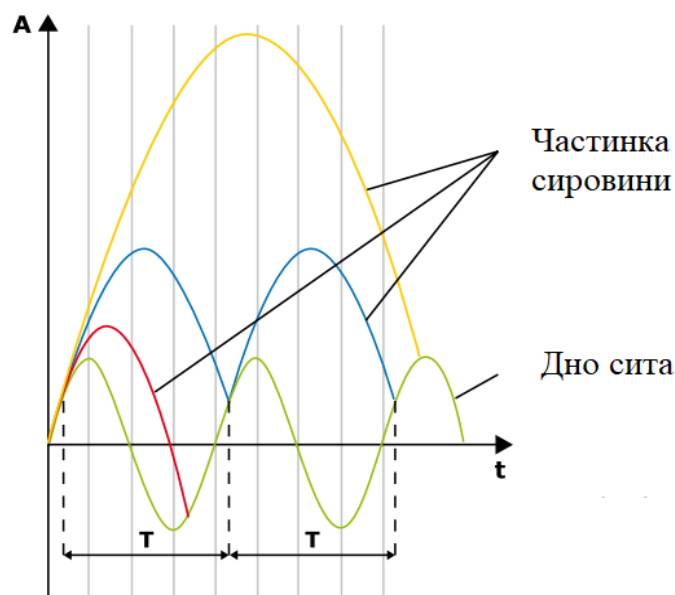


Рисунок 3.6 – Рух частинок сировини по відношенню до ситового дна

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

де A – амплітуда;

t – час просіювання;

T – період коливання одного сита дна.

На рисунку 3.6 представлено: синій графік – частинка знаходиться в статистичному резонансі з дном сита; червоний графік – частинка падає вниз занадто швидко; жовтий графік – частинка підкидається вгору занадто високо.

Для проведення аналізу сита необхідно дотримуватися поетапної процедури, починаючи від підготовки проб і закінчуючи отриманням кінцевих результатів. Ця процедура передбачає обробку як дрібних, так і грубих заповнювачів, забезпечуючи всебічний аналіз розмірів частинок. Такий системний підхід допомагає забезпечити точність і надійність аналізу розподілу частинок за розмірами.

1. Підготовка зразків. Перед проведенням ситового аналізу необхідно отримати достатню кількість зразка заповнювача з джерела. Правильна підготовка зразків має важливе значення для забезпечення того, щоб зразок був однорідним, а частинки заповнювача мали однаковий розмір, що в кінцевому підсумку призводить до точних результатів випробувань. Щоб підготувати зразок для аналізу на сито, необхідно:

– перемішати зразок, щоб забезпечити однорідність;

– зменшити зразок до тестованого розміру;

– визначити загальну масу зразка (зменшення заповнювача до відповідного розміру для тестування в ситових аналізах необхідне для забезпечення ефективного проходження зразка через сита). Змішування заповнювача перед проведенням аналізу сита також має вирішальне значення для забезпечення того, щоб зразок був репрезентативним для матеріалу, що тестується.

2. Процес просіювання. З підготовленим зразком можна починати ініціацію процесу просіювання. Для цього необхідно:

– виміряти зразок відомої ваги;

– висипати пробу в сито з найбільшим розміром вічок, яке розміщене зверху;

– кожне нижнє сито в колонці має менші отвори, ніж те, що вище. В основі знаходиться приймач;

– помістити колонку в механічний шейкер та запустити процес струшування, щоб виставити весь матеріал на маленькі отвори в ситі. Це дозволяє пропустити частинки з розміром меншим, ніж у отворів, через наступний шар;

– після струшування необхідно ретельно зважити матеріал, що залишився на кожному ситі;

– розділити масу зразка на кожному ситі на загальну масу, щоб розрахувати відсоток маси, що залишилася.

Отримані дані забезпечать визначення гранулометричного складу зразка.

3. Аналіз результатів. Щоб проаналізувати результати аналізу сита, спочатку необхідно розрахувати відсоток, що залишився на кожному ситі.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділити вагу залишкової сировини на сумарну вагу сита та кумулятивний відсоток проходження.

Криві розподілу частинок за розміром створюються шляхом побудови графіка кумулятивного відсотка проходження в залежності від розміру частинок і шляхом побудови графіка відсотка збереженої маси в порівнянні з розміром частинок. Для розрахунків і більшості порівнянь необхідний повний аналіз розміру частинок. Графік допомагає визначити величину та розподіл частинок у зразку. Розуміння результатів ситового аналізу дозволяє інженерам і дослідникам приймати обґрунтовані рішення на основі розподілу частинок за розміром.

У роботі в якості зразка використовувалися макаронні вироби. Перед ситовим аналізом макаронні вироби подрібнювали в порошок за допомогою обладнання для зменшення розміру. 400 грамів проби було подано в обладнання редуктора. Було вилучено порошкоподібний зразок, що призвів до ефективності 101,81%. Зразок, який використовувався в аналізі сита, був сумішшю мелених макаронних виробів і інших частинок.

Мелені макарони спочатку були зважені і 230,30 грама було використано для ситового аналізу. У верхньому ситі з розміром вічок 2000 мкм зберігалася 25,56 г сухих частинок, які становлять 11,14% від загальної вибірки. На ситі затрималося кілька частинок, які мають розміри більше 2000 мкм. Звідси випливає, що зразок не був подрібнений інтенсивно і однорідно. З іншого боку, велика частина подрібнена в порошок. Суха проба зберігалася на другому ситі з розміром вічок 707 мкм, що становило 49,17% загальної вибірки. Відсоток маси збереженого зразка в порівнянні з розміром частинок показаний на рисунку 3.7.

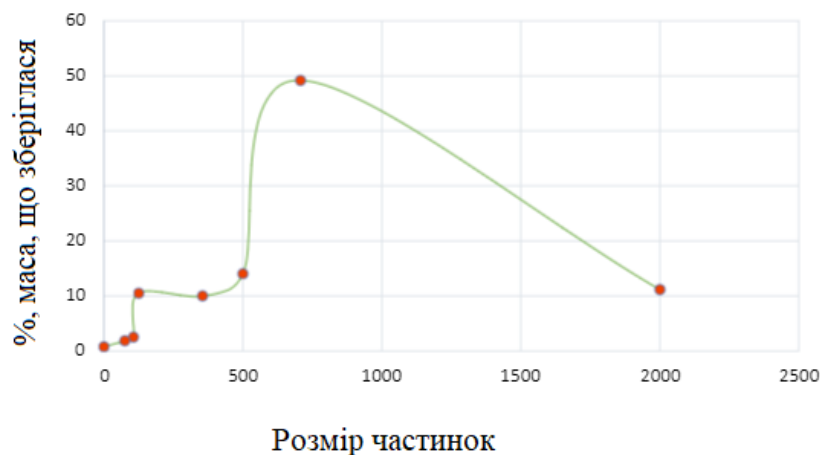


Рисунок 3.7 – Відсоток маси збереженого зразка в порівнянні з розміром частинок

Як видно з рисунку, дійсно більша частина зразка збереглася на цьому ситі. Це означає, що більшість частинок зразка мають розмір частинок менше 2000 мкм, але більше 707 мкм. Всі сита з розмірами вічок 500 мкм, 355 мкм, 125 мкм, 106 мкм і 75 мкм. Встановлено, що нижнє сито зберігає певну кількість зразків. Результати показали, що частинка розміри якої менше 7 чт сита з розміром вічок 75 мкм були присутні в порошкоподібному вигляді макаронних

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зразків. Було виявлено відсоток маси, що збереглася в кожному ситі, включаючи нижній піддон і становить 14,04%, 9,99%, 10,50%, 2,52%, 1,86% та 0,76% відповідно. За допомогою аналізу сита можна отримати гранулометричний склад конкретного зразка. У ньому наводиться інформація про занадто великі або занадто малі частинки. Це також дозволяє отримати рівномірно розподілений зразок, що дуже важливо в промисловості, особливо в аналізах харчових продуктів [11, 12, 14]. На рисунку 3.8 зображено криву розподілу частинок, яка отримана шляхом побудови кумулятивного графіка. Відсоток проходження в порівнянні з розміром частинок.

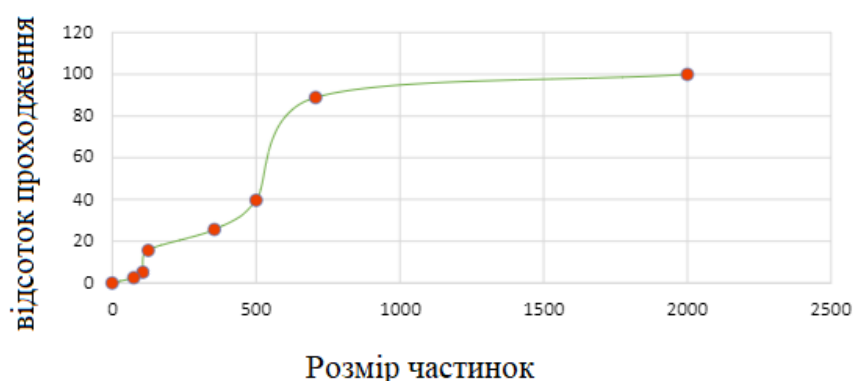


Рисунок 3.8 – Відсоток проходження сировини в порівнянні з розміром частинок

Як видно на графіку, крива має тенденцію до зростання, що вказує на те, що проходить менша кількість частинок через сито в міру зменшення розміру частинок. Є більший відсоток частинок, які проходять через сита, що мають більші розміри осередків. За результатами експерименту впливає, що маса порошкоподібного зразку до аналізу сита становить 230,30 грама, який мав лише 229,41 грама після. Зразок було поміщено у механічний шейкер на 5 хвилин і був зважений. Кореляція становила приблизно 0,89 грамів у зразку, що, можливо, було пов'язано з тим, що деякі частинки були висипані з сита під час зважування окремих сит.

На основі вище зазначеного можна зазначити, що для вимірювання розподілу частинок за розміром можуть застосовуватися різні методи, залежно від матеріалу зразка, очікуваних розмірів частинок та мети дослідження. До них відносяться прямий аналіз зображень, статичний або динамічний, статичне розсіювання світла, також зване лазерною дифракцією, динамічне розсіювання світла і ситоподібний аналіз.

Ситоподібний аналіз є традиційним методом визначення гранулометричного складу. Тверді частинки розміром від 125 мкм до 20 мкм можна швидко та ефективно вимірювати сухим або вологим просіюванням за допомогою стандартних тестових сит. Ситоподібний аналіз зазначений у ряді національних та міжнародних стандартів як обов'язковий метод випробування

для різноманітних аналітичних та промислових процесів.

До переваг ситового аналізу можна віднести: він простий у використанні, вимагає мінімальних інвестиційних витрат, дає точні та відтворені результати за порівняно короткий час, а також має можливість розділяти фракції за розміром частинок. Процедура аналізу сита шляхом диференціального зважування сита є виснажливим і схильним до помилок процесом. Використання точного балансу зі зручними функціями та цифровим управлінням даними може швидко окупитися.

Ситовий аналіз визначає гранульований склад матеріалу за розміром шляхом пропускання зразка через сита з різними розмірами. Метод дозволяє виявити механічні властивості зразка. Тест на аналіз сита відокремлює частинки на основі зернистих властивостей. Метод полягає в тому, що після розміщення зразка на поверхні для просіювання більш дрібні частинки піддаються горизонтальному або вертикальному руху. Цей рух змушує одні частинки проходити через сітку, а інші залишатися на поверхні. Щоб взяти пробу для аналізу сита, необхідно зважувати всі сита окремо і виміряти масу кожного сита та залишкової сировини після зупинки струшувача. Аналіз сита використовує різні типи сит для вимірювання розподілу частинок за розміром. Ситоподібний аналіз має кілька обмежень і проблем, включаючи точність для дрібних частинок, несумісність з певними матеріалами при вологому просіюванні та припущення круглої форми частинок.

У роботі було досліджено вплив амплітуди на процес просіювання. Різна амплітуда може впливати на результат просіювання. Було проведено три випробування: фасолі просіювали протягом 5 хвилин з амплітудами 0,5 мм, 1,2 мм і 2 мм. Найбільший розмір сита досягався при амплітуді 1,2 мм. Цьому результату є просте пояснення: якщо амплітуда занадто низька, частинки недостатньо високо піднімаються з дна сита, а це означає, що вони не можуть вільно орієнтуватися або вільно переміщатися по області сита. Якщо амплітуда занадто висока, то частинки відкидаються занадто високо вгору і тим самим мають менше можливостей для порівняння з отворами сита.

Імовірність проходження частинки через сітку є оптимальною, коли час підкидання відповідає періоду коливань дна сита. У такому випадку просіюваний матеріал буде переміщатися з іншою орієнтацією в інший отвір сита кожного разу, коли дно сита піднімається. Такий стан називається статистичним резонансом. Найкращі результати зазвичай досягаються при амплітудах від 1,2 до 1,3 мм. Оптимальний час просіювання відповідно до DIN 66165 досягається, якщо після однієї хвилини просіювання через сито проходить менше 0,1% кількості сировини.

Побудовано графік кумулятивного відсотка проходження сировини в залежності від розміру частинок і збереженої маси в порівнянні з розміром частинок. Графік допомагає визначити величину та розподіл частинок у зразку. Розуміння результатів ситового аналізу дозволяє інженерам приймати обґрунтовані рішення на основі розподілу частинок за розміром.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена удосконаленню обладнання для подрібнення рослинної сировини. У роботі зазначено, що зменшення розміру є однією з найбільш використовуваних одиничних операцій, яка набула широкого застосування в харчовій промисловості. На подрібнювальну сировину діють механічні сили, в наслідок яких відбувається зменшення розмірів більш твердих одиниць на дрібніші одиничні маси. Найбільш поширені методи, що використовуються в промисловості, включають використання дробарок і млинів. Незважаючи на те, що в даний час доступно багато різних машин для зменшення розміру, ключовим є знання про властивості оброблюваної сировини.

У першому розділі здійснено аналітичний огляд обладнання для подрібнення рослинної сировини. Зазначено, що при зменшенні розміру застосовуються типи сил – стискання, удар, стирання або зсув і різання. Розглянуто принципи і механізм подрібнення сировини: зусилля стиску використовується для грубого подрібнення твердих матеріалів; ударні сили можна розглядати як сили загального призначення; сили зсуву або стирання застосовуються при тонкому подрібненні, коли розмір продуктів може досягати мікрометрового діапазону; ультратонкий помел пов'язаний з процесами, в яких досягається субмікронний діапазон частинок; різання дає певний розмір частинок і створює певну форму.

На сьогодні існує безліч видів інструментів для зменшення розміру: дробарки молоткові, валкові, кульові млини тощо. Процес зменшення розмірів є одним з основних для харчової промисловості. Зазначено, що існує два основних параметри, які враховуються при проектуванні або підборі обладнання для зменшення розмірів. По-перше, це енергія, яка необхідна для зменшення розміру, чим дрібніший кінцевий розмір частинок, тим більшою буде потреба в енергії. Іншим основним параметром є якість кінцевого продукту, яка виражається в термінах гранулометричного складу.

Другий розділ присвячено удосконаленню молоткової дробарки. Вважається, що на сьогодні необхідним є раціональне використання енергетичних ресурсів. Нераціональне використання енергії призводить до економічних втрат. В умовах тенденції до зростання цін на енергоносії протягом останніх кількох років більшість підприємств орієнтуються на зниження енергоспоживання з метою зниження собівартості кінцевого продукту. Дроблення є першим і найважливішим етапом підготовки сировини до подальшої переробки. Від якості дроблення залежить якість наступних стадій обробки (сушіння, зберігання тощо).

Подрібнення є дуже енергоспоживаємим процесом, тому важливо використовувати енергію ефективно. Характерною особливістю дробарок є їх

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Лісовий</i>				Дослідження гранульованого складу сировини та удосконалення обладнання для подрібнення	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						43	2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

безперервна функція. Бажаний ступінь зменшення сировини повинен підтримуватися, при цьому обсяг матеріалу, що подається, постійно контролюється. Крім того, автоматизація будь-якого технологічного процесу, зокрема процесу дроблення, передбачає створення системи, яка керує процесом без прямого втручання людини або залишає прийняття найважливіших рішень людині. Таким чином, автоматизація процесів подрібнення підвищує продуктивність та енергоефективність за рахунок мінімізації втручання людини в процес, тим самим зменшуючи людські помилки.

Зазначено, що молоткові дробарки широко використовуються в харчовій промисловості завдяки своїм перевагам: висока продуктивність і гнучкість подрібнення великої кількості різноманітної сировини. Проте в результаті зносу і корозії отвори сита збільшуються або лопаються, тим самим пропускаючи більші, ніж потрібно частинки. Щоб усунути ці дефекти пропонується застосовувати вентилятор для здійснення примусової конвекції та швидкого висихання сировини. Оскільки повітря під тиском може піднімати частинки достатнього розміру на великі відстані, вентилятор змушуватиме частинки матеріалу не забиватися в отвори екрана. Введення вентилятора в камеру фрезерування створює необхідний тиск всмоктування, який обмежує кількість дрібних частинок, що виходять.

У третьому розділі зазначено, що для вимірювання розподілу частинок за розміром можуть застосовуватися різні методи, залежно від матеріалу зразка, очікуваних розмірів частинок та мети дослідження. До них відносяться прямий аналіз зображень, статичний або динамічний, статичне розсіювання світла, також зване лазерною дифракцією, динамічне розсіювання світла і ситоподібний аналіз.

Досліджено вплив амплітуди на процес просіювання за допомогою «ситового аналізу». Різна амплітуда може впливати на результат просіювання. Було проведено три випробування: фасолі просіювали протягом 5 хвилин з амплітудами 0,5 мм, 1,2 мм і 2 мм. Найбільший розмір сита досягався при амплітуді 1,2 мм. Якщо амплітуда занадто низька, частинки недостатньо високо піднімаються з дна сита, а це означає, що вони не можуть вільно орієнтуватися або вільно переміщатися по області сита. Якщо амплітуда занадто висока, то частинки відкидаються занадто високо вгору і тим самим мають менше можливостей для порівняння з отворами сита.

Імовірність проходження частинки через сітку є оптимальною, коли час підкидання відповідає періоду коливань дна сита. У такому випадку просіюваний матеріал буде переміщатися з іншою орієнтацією в інший отвір сита кожного разу, коли дно сита піднімається. Такий стан називається статистичним резонансом. Найкращі результати зазвичай досягаються при амплітудах від 1,2 до 1,3 мм.

Побудовано графік кумулятивного відсотка проходження сировини в залежності від розміру частинок і збереженої маси в порівнянні з розміром частинок. Графік допомагає визначити величину та розподіл частинок у зразку. Розуміння результатів ситового аналізу дозволяє інженерам приймати обґрунтовані рішення на основі розподілу частинок за розміром.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Henderson S.M., Perry R.L. Agricultural process engineering. AVI Publishing Co. West Port Connecticut. 2005. 300 p.
2. McCabe W.L., Smith J.C., Harriott P. Unit operations of chemical engineering. McGraw Hill, New York. 2007. 280 p.
3. Unit operation in food processing. URL: <https://www.slideshare.net/slideshow/size-reduction-112520604/112520604#40>.
4. Kumar A. A Review on the Technology of Size Reduction Equipment // International Journal of ChemTech Research. Vol.13. 2020. P. 48-54.
5. Mohammad Alrbaihat. Review of Size Reduction techniques Using Mechanochemistry Approach // Egyptian Journal of Chemistry. Vol.65. 2022. P. 551-558.
6. Аналіз процесу подрібнення матеріалів у харчовій галузі. Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/samojchuk-23.pdf>.
7. Процеси і апарати харчових виробництв / За редакцією А.М. Поперечного. К. Центр учбової літератури. 2007. 301 с.
8. Шалугін В.С. Процеси та апарати промислових технологій. К.: Центр учбової літератури. 2008. 392 с
9. Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси / К.О. Самойчук, В.Г. Тарасенко, В.О. Верхованцева, Н.О. Паляничка, О.О. Червоткіна. К. : ПрофКнига, 2021. 466 с.
10. Sieve analysis URL: https://www.mt.com/us/en/home/applications/Laboratory_weighing/sieve-analysis.html#overviewaf.
11. Size reduction and sieve analysis. URL: https://www.academia.edu/33189300/Size_Reduction_and_Sieve_Analysis.
12. An overview of sieving. URL: <https://particletechlabs.com/ptl-press/overview-of-sieve-analysis/>
13. Sieve Analysis taking a close look at quality. URL: <https://www.academia.edu/26540270/>.
14. Sieve Analysis: A Guide to Grain Size Distribution. URL: <https://particletechlabs.com/ptl-press/overview>.
15. Ситовий аналіз у лабораторіях, методика ситового аналізу. Режим доступу: <https://analit-pribor.com.ua/uk/developments/sytovyj-analiz-u-laboratornij-praktyczni-prosiyuvannya-materialu-sytamy-u-laboratoriyah/>
16. Удосконалення способу подрібнення кормів молотковими дробарками. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/347940711>.
17. Дослідження енергоємності процесу подрібнення молоткової зернової дробарки. Режим доступу: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123459/15842/1/33.pdf>.
18. Modeling and Improving the Efficiency of Crushing Equipment. URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/15/7/1343>.
19. Development and performance evaluation of improved hammer mill. URL: https://www.researchgate.net/publication/326546889_Development_and_Performance_Evaluation_of_Improved_Hammer_Mill.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45