

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»  
Цвіркун Л.О.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ  
ЗЕРНА»**

Виконав:  
здобувач вищої освіти Гаврилов Олександр Олександрович  
(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



6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для подрібнення зерна.

Оптимізація процесу подрібнення із застосуванням штучного інтелекту.

Керування зазором валків валкової дробарки.

Оцінка якості борошна за допомогою вимірювання кольору.

6. Дата видачі завдання «23» листопада 2023 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2024-15.02.2024
2	Аналіз обладнання для подрібнення зернових культур	16.12.2024-10.03.2024
3	Удосконалення обладнання для отримання борошна	11.03.2024-15.04.2024
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2024-30.04.2024
5	Висновки по роботі	01.05.2024-12.05.2024
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2024-05.06.2024

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

(підпис)

Гаврилов О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Цвіркун Л.О.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 51 сторінка, в тому числі основного тексту – 42 сторінки. Робота містить 15 рисунків. Список використаних джерел складається з 26 найменувань.

Об'єкт роботи – дробарка для подрібнення зерна.

Предмет роботи – технологічний процес отримання борошна.

Мета роботи – удосконалення обладнання для подрібнення зерна.

У роботі зазначено, що пшениця є важливою зерновою культурою, яка має величезне значення з точки зору продовольства в усьому світі. Пшениця є переважаючим видом, що культивується в усьому світі і служить основним джерелом борошна для виробництва хліба.

На основі аналізу, було зазначено, що основною технологічною операцією переробки зерна є помел. Подрібнення зерна відбувається шляхом застосування механічних сил, які змінюють структуру зерна шляхом подолання внутрішніх сил після чого стан твердої речовини змінюється на борошно. Помел являє собою основну процедуру в круп'яній промисловості та класифікується на дві категорії: суха та мокра. Кожна категорія має свої особливості. Помел пшениці включає кілька етапів: очищення, кондиціонування, подрібнення та просіювання.

Запропоновано оптимізацію процесу подрібнення пшениці із застосуванням штучного інтелекту. Розглянуто основні параметри валкової дробарки для отримання борошна: розмір валків, кут затискання; швидкість кочення; розміщення валків; баланс між парами валків тощо.

Удосконалено спосіб захисту валкової дробарки від попадання сторонніх домішок. Коли зернова сировина потрапляє на етап подрібнення в ній можуть залишатися сторонні домішки (навіть металеві), які можуть пошкодити робочу поверхню валиків. Метод виявлення домішок в зерні включає наступні етапи: виявлення об'єкта, що не подрібнюється у потоці матеріалу; збільшення зазору між зазначеними роликками на ширину більшу за об'єкт, що не подрібнюється з обмеженою швидкістю подачі зернової сировини; зменшення зазору до зазначеної робочої ширини та повернення до робочої швидкості подачі сировини. При розширенні зазору сторонні домішки пропускаються через зазор, роликки не будуть намагатися розчавити об'єкт, що не подрібнюється, і тим самим захищені від неподрібненої сировини.

Досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору: біле, кукурудзяне, житнє. Результати кольору трьох сортів борошна було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі стандартної шкали оцінювання. Інтерпретовано результати дослідження: біле борошно ( $L^* +92,5$  білизни,  $a^* - 2,4$  зеленого кольору,  $b^* +6,9$  жовтого кольору); кукурудзяне борошно ( $L^* +72$  білизни,  $a^* - 6,5$  червоного кольору,  $b^* +54$  жовтого кольору); житнє борошно ( $L^* +63$  білизни,  $a^* - 6,8$  червоного кольору,  $b^* +22,1$  жовтого кольору).

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** подрібнення зерна, борошно, валкова дробарка, валки, оптимізація, зазор, вимірювач кольору, кут затискання.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР	7
1.1 Технологія виготовлення борошна	9
1.2 Методи помелу зернових культур	10
1.3 Обладнання для подрібнення зерна	14
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БОРОШНА	22
2.1 Оптимізації процесу помелу пшеничного борошна	22
2.2 Підвищення ефективності процесу подрібнення зерна	27
2.3 Керування зазором валків валкової дробарки	31
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
3.1 Харчова цінність злаків	34
3.2 Методи випробування пшениці на якість	35
3.3 Оцінка якості борошна за допомогою вимірювання кольору	39
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44
ДОДАТКИ	46

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Гаврилов</i>				<b>Удосконалення обладнання для подрібнення зерна</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						5	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** У роботі зазначено, що пшениця є важливою зерновою культурою, яка має величезне значення з точки зору продовольства в усьому світі. Пшениця є переважаючим видом, що культивується в усьому світі і служить основним джерелом борошна для виробництва хліба. Протягом тисячоліть люди широко споживали пшеницю і більше половини населення світу значною мірою залежить від неї, як основного джерела білків і вуглеводів.

**Мета та задачі дослідження.** Метою бакалаврської роботи є удосконалення обладнання для подрібнення зерна.

**Практична та наукова новизна.** На основі аналізу, було зазначено, що основною технологічною операцією переробки зерна є помел. Подрібнення зерна відбувається шляхом застосування механічних сил, які змінюють структуру зерна шляхом подолання внутрішніх сил після чого стан твердої речовини змінюється на борошно. Переробка зернових є важливою частиною ланцюжка виробництва харчових продуктів. Помел являє собою основну процедуру в круп'яній промисловості та класифікується на дві категорії: суха та мокра. Кожна категорія має свої особливості. Помел пшениці включає кілька етапів: очищення, кондиціонування, подрібнення та просіювання.

Запропоновано оптимізацію процесу подрібнення пшениці із застосуванням штучного інтелекту. Розглянуто основні параметри валкової дробарки для отримання борошна: розмір валків, кут затискання; швидкість кочення; розміщення валків; баланс між парами валків тощо.

Удосконалено спосіб захисту валкової дробарки від попадання сторонніх домішок. Коли зернова сировина потрапляє на етап подрібнення в ній можуть залишатися сторонні домішки (навіть металеві), які можуть пошкодити робочу поверхню валків. Метод виявлення домішок в зерні включає наступні етапи: виявлення об'єкта, що не подрібнюється у потоці матеріалу; збільшення зазору між зазначеними роликками на ширину більшу за об'єкт, що не подрібнюється з обмеженою швидкістю подачі зернової сировини; зменшення зазору до зазначеної робочої ширини та повернення до робочої швидкості подачі сировини. При розширенні зазору сторонні домішки пропускаються через зазор, роликки не будуть намагатися розчавити об'єкт, що не подрібнюється, і тим самим захищені від неподрібненої сировини.

Досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору: біле, кукурудзяне, житнє. Результати кольору трьох сортів борошна було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі стандартної шкали оцінювання. Інтерпретовано результати дослідження: біле борошно ( $L^* +92,5$  білизни,  $a^* - 2,4$  зеленого кольору,  $b^* +6,9$  жовтого кольору); кукурудзяне борошно ( $L^* +72$  білизни,  $a^* - 6,5$  червоного кольору,  $b^* +54$  жовтого кольору); житнє борошно ( $L^* +63$  білизни,  $a^* - 6,8$  червоного кольору,  $b^* +22,1$  жовтого кольору).

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Гаврилов				Удосконалення обладнання для подрібнення зерна	Лім.	Арк.	Аркушіє
Перевір.	Цвіркун						6	1
Н. Контр.	Омельченко				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
Затверд.	Цвіркун							

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

### 1.1 Технологія виготовлення борошна

Злаки – це загальний термін для злакових рослин або продовольчих культур, що охоплює широкий спектр харчових продуктів, включаючи рис, пшеницю, просо, кукурудзу та інші різні зернові та представляє найважливіший компонент раціону людини. Крупи багаті багатьма видами поживних речовин, необхідних людині, включаючи білки, крохмаль, ліпіди, мікроелементи та вітаміни, і є основним джерелом енергії для організму. Крупи відіграють ключову роль у раціоні як основні продукти харчування. Достатнє споживання злаків може регулювати механізми організму та знижувати частоту таких захворювань, як гіпертонія, діабет та судинні захворювання.

Основною технологічною операцією переробки зерна є помел, тобто подрібнення зерна таким чином, щоб його можна було легко приготувати і перетворити на привабливий харчовий продукт. Подрібнення зерна відбувається шляхом застосування механічних сил, які змінюють структуру зерна шляхом подолання внутрішніх сил зв'язування, після чого стан твердої речовини змінюється на борошно [5]. Зернова продукція переробляється в тій чи іншій формі перед тим, як її фактично споживають. Одним з важливих процесів, пов'язаних з нехімічними змінами в повній мірі, є перетворення зібраного зерна на борошно.

Подрібнення зерна практикувалося з дуже давніх часів, коли при виробництві шроту для вживання в їжу використовувалося пристосування, що нагадує товчач і ступку. Першими млинами були модифікації цього пристрою, в яких зерно пропускалося через отвір у дископодібному камені, який обертався. Поступовий розвиток цього типу млинів протягом тисячоліть призвів до еволюції кам'яного млина [3]. Так, в середині дев'ятнадцятого століття були винайдені електродвигуни і більш швидкохідні машини, такі як молоткові та товстолистові млини і вони почали замінювати традиційні каменерізки. Відносно низькообертовий дизельний двигун з водяним охолодженням може, наприклад, приводити в дію молотковий млин, виробляючи кукурудзяне борошно прийнятної якості.

Сучасні борошномельні заводи замінили жорна сталевими вальцями і використовують просіювачі і нові допоміжні машини. Сучасний помел все ще має ті ж цілі поступового зменшення розмірів для отримання борошна з максимально рівномірним розподілом частинок за розміром. Традиційно помел включає повторюване подрібнення та розділення в системі поступового відновлення, щоб відокремити різні компоненти зерна (насінневу оболонку,

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Гаврилов</i>				<b>Удосконалення обладнання для подрібнення зерна</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						7	15
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

ендосперм та зародок) для отримання борошна якомога одноріднішого розміру частинок. Нові подрібнювальні системи видаляють зовнішню оболонку насіння та алейронові шари і таким чином полегшують виробництво борошна з дуже низьким вмістом золи. При спробі оцінити якість помелу будь-якої пшениці важливі два основні фактори, пов'язані зі структурою зерна:

– потенційний вихід борошна із зерна залежить від того, скільки ендосперму присутнє відносно кількості насінневої оболонки (висівок) і зародка (зародка).

– легкість з якою ендосперм відокремлюється від висівок і зародків та перетворюється на борошно.

1. Зберігання. Після збору врожаю зерно тимчасово зберігається, перш ніж його доставлять до центру збору або зерно може бути відправлено безпосередньо до центру збору. Потім зерно транспортується до більших сховищ, які називаються елеваторами, які заповнюються зерном за допомогою прокатних стрічок.

Зберігання пов'язане з цілим рядом небезпек. Псування цвіллю, зараження шкідниками та проростання зерна (що може статися за наявності достатньої кількості вологи, наприклад, конденсат може утворюватися в металевих бункерах) є основними проблемами. Хороше зберігання є життєво важливим для мінімізації післязбиральних втрат, і хоча вміст вологи є найважливішою властивістю, що впливає на стабільність зерна під час зберігання, температура та тривалість зберігання також є важливими факторами.

2. Сушка. Важливим етапом перед зберіганням є сушка, щоб видалити зайву воду з зерна. Може використовуватися цілий ряд різних типів сушарок. Високотемпературні сушарки здатні швидко висушити велику кількість зерна, але також можуть вплинути на зерно при неправильному використанні, наприклад, термічна денатурація білка злаку може вплинути на властивості кінцевого продукту [7]. На рисунку 1.1 представлено обладнання для лушення зерна і подальшого його сушіння.

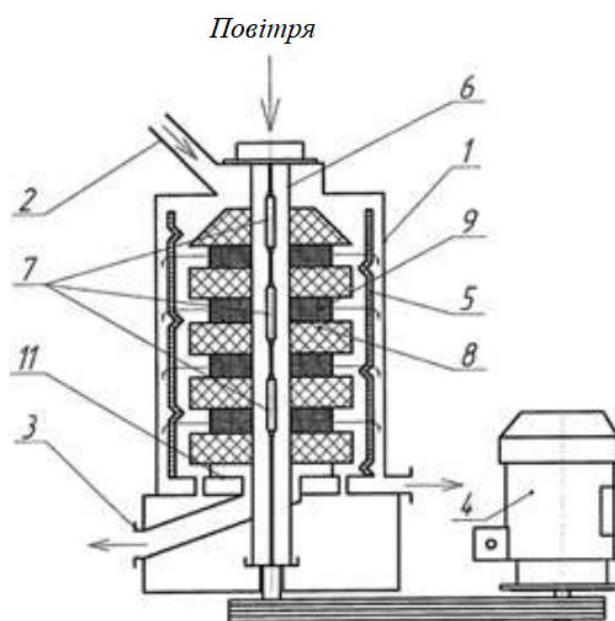


Рисунок 1.1 – Пристрій для лушення та сушіння зерна

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



На рисунку 1.1 представлено: 1 – корпус; 2 – завантажувальний патрубков; 3 – випускний патрубков; 4 – привід; 5 – ситовий циліндр; 6 – порожнистий вал; 7 – інфрачервоний випромінювач; 8 – абразивні кола; 9 – обичайка; 10 – виштамповка; 11 – вентилятор.

Також використовуються природні методи сушіння, наприклад, сушіння кукурудзяних качанів за допомогою вітрових і сонячних сушарок. Крупи також можна зберігати з більшим вмістом води, ніж зазвичай, у модифікованій атмосфері, але це доцільно лише тоді, коли кінцевий продукт не повинен мати особливих властивостей (наприклад, володіти функціональними властивостями хліба). Прикладами сховищ з модифікованою атмосферою є підземні сховища та силоси, промиті азотом. Ці способи зберігання мають додаткову перевагу у вигляді знищення комах.

3. Обробка. Зернові культури зазвичай проходять ряд процесів для виробництва різноманітних продуктів, включаючи нехарчові продукти. Помел є основним процесом, пов'язаним із зерновими культурами, особливо з хлібними зерновими культурами – пшеничними і житніми (рис. 1.2). Для різних зернових культур використовуються дещо різні методи помелу, а також може використовуватися ряд інших процесів (наприклад, екструзія та ферментація) у виробництві зернових продуктів. Крім технічних наслідків, переробка також змінює поживність зернових.

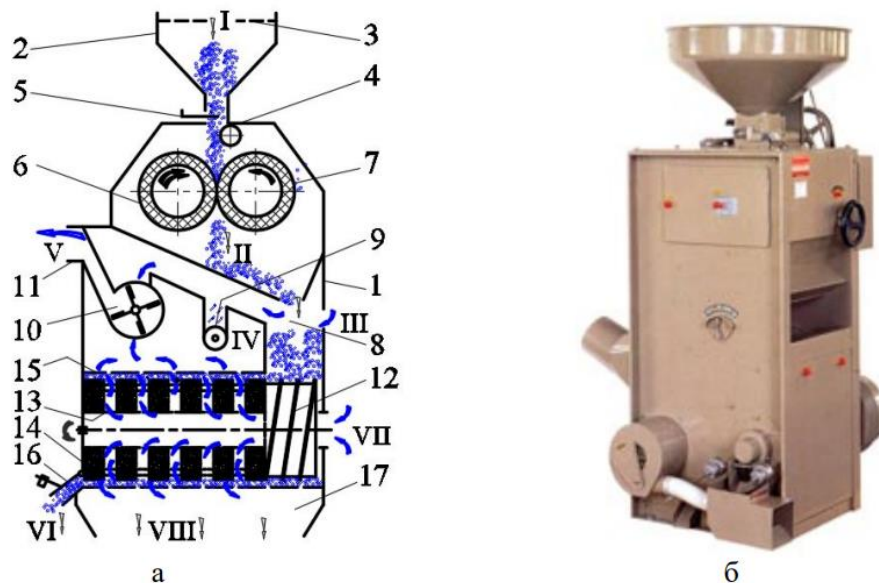


Рисунок 1.2 – Пристрій для лушення і подрібнення зерна [12]

На рисунку 1.3 представлено: 1 – корпус, 2 – бункер, 3 – сито, 4 – живильник, 5 – клапан, 6 – швидкообертотвий ролик, 7 – ролик, який повільно обертається, 8 – повітряний сепаратор, 9 – шнек для відбору незрілого зерна, 10 – вентилятор, 11 – насадка для виведення лушпиння, 12 – нагнітальний шнек, 13 – порожнистий перфорований вал, 14 – абразивні диски, 15 – ситова оболонка, 16 – вантажний клапан, 17 – збірник, I - VIII – технологічні потоки.

Фрезерування – процес в основному можна охарактеризувати як подрібнення, просіювання, сепарацію та повторне шліфування. Ці кроки повторюються, щоб витягти певну частину зерна – ендосперм. Перед початком помелу зерна злаку очищають. Більшість сучасного обладнання використовує відмінності в розмірах, формі, кольорі, розчинності, питомій вазі та реакції на магнітну силу, щоб відокремити сторонній матеріал від зерен. Перед подрібненням в крупу можна додати воду в якій крупі дають відпочити перед помелом. Це дозволяє поглинати воду зернами, зміцнюючи околоплодник і зародок, щоб вони не розколювалися під час подрібнення. Якщо під час відпуску також застосовується тепло (щоб пом'якшити ендосперм і полегшити його подрібнення), то цей процес називається кондиціонуванням. Щоб забезпечити отримання однорідного продукту, перед помелом можна змішувати різні зерна, що називається подрібненням.

Під час фрезерування відбувається кілька технологічних змін. По-перше, можуть відбутися механічні зміни крохмалю, які можуть підвищити рівень активності ферментів. Ступінь цієї зміни буде залежати від якості зерна і параметрів помелу [4, 7]. Як правило, чим твердіше зерно, тим більший ступінь змін. По-друге, можуть відбутися зміни в білках всередині зерен. Під час помелу температура може досягати 50–60°C, що може денатурувати білки злаків. Це може призвести до меншого виходу вологої клейковини, що зменшує водопоглинаючу здатність борошна. Щоб цього не допустити, уникають надмірного нагрівання фрезерованого матеріалу.

4. Після помелу борошно закладають на зберігання або витримують. Якщо це відбувається при нормальних атмосферних умовах, нормальній температурі і нормальній вологості це може благотворно позначитися на якості борошна. Під час витримки колір борошна зміниться з кремового на білий, у нього з'являться кращі хлібопекарські властивості (поліпшується якість клейковини і зменшується її розтяжність). Хоча витримка пшеничного борошна може тривати до 6 тижнів, основні зміни відбуваються протягом перших 10-12 днів після помелу. Житнє борошно старіє швидше і тому витримується менший час (всього близько 2 тижнів). При зберіганні рис піддається «після стиглому дозріванню», ряду біохімічних змін, які можуть впливати на такі властивості, як час варіння і липкість.

## 1.2 Методи помелу зернових культур

Останніми роками споживчий попит на якісне зерно зростає все вище і вище, з метою не тільки збереження більшої кількості поживних речовин, але й скорочення кількості етапів обробки. Крупи містять багато крохмалю, який можна використовувати в чистому або борошняному вигляді. Обробка зернових культур досить складна. Основною технологічною операцією є помел, тобто подрібнення зерна таким чином, щоб його можна було легко приготувати і перетворити на привабливий харчовий продукт. Переробка зернових є важливою частиною ланцюжка виробництва харчових продуктів. Помел являє собою основну процедуру в круп'яній промисловості та класифікується на дві категорії: суха та мокра. Кожна категорія має свої особливості.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Помел пшениці є найважливішим процесом у виробництві багатьох видів борошна, які є відмінною сировиною для приготування різних видів зернових продуктів. Крупи зазвичай не їдять сирими, а застосовують різні види помелу (сухий і вологий) в залежності від самої крупи і від звичаїв споживання споживачем. Пшеницю можна подрібнювати навіть за допомогою сучасних автоматизованих систем зі сталевими циліндрами з подальшим очищенням повітря та численним просіюванням для відділення ендосперму від зовнішніх оболонок та зародка.

Кукурудзу часто подрібнюють мокрим способом, але також практикується сухий помел, особливо в країнах, що розвиваються. Кукурудза схильна більше дихати під час зберігання і, якщо не вжити запобіжних заходів, може підвищитися температура при неправильному зберіганні. Більшість інших злаків подрібнюють в сухому стані. Деякі зерна злаків шліфують, видаляючи більшу частину висівок і зародків та залишаючи ендосперм.

Сухе подрібнення відокремлює зовнішні волокнисті сировини та зародки, які вважаються побічними продуктами зернового ендосперму. За допомогою сухого подрібнення (абразивної техніки) поступово видаляється насіннева оболонка (сім'яник і околоплодик), а також зародок для отримання шліфованого зерна (рису, вівса та ячменю) та побічних продуктів з високою концентрацією біологічно активних сполук [5, 8]. З іншого боку, мокрий помел в основному використовується для виробництва крохмалю і клейковини, маючи в якості супутніх продуктів тверді речовини (багаті цінними поживними речовинами), зародки (призначені для олійно-дробильної промисловості) і висівки. Солодження – це процес, призначений для виробництва пива та інших алкогольних напоїв, коли ферментовані цукри та крохмаль зерна (найчастіше ячменю) споживаються ферментами, залишаючи після себе пивну дробину.

Сухий помел зернових культур є одним з найдавніших методів борошномельної промисловості для забезпечення подрібнених фракцій зернових культур. Очищення важливе, оскільки, як правило, зерно, отримане навалом, містить зернові домішки, які залежать від типу крупи. Основними зерновими домішками є зморщене зерно, інші злаки, зерна пошкоджені шкідниками, зерна, в яких зародок знебарвлений, пророслі зерна, різні домішки, такі як сторонне насіння, пошкоджені зерна, сторонні речовини, лушпиння, гниле зерно та інша небажана сировина [1]. Для очищення використовується таке обладнання, як магнітний сепаратор, який видаляє частинки чорних металів, дискові або ситові сепаратори, які видаляють майже все інше, занадто велике або занадто дрібне, щоб бути бажаним зерном (наприклад, солому), аспіратор для видалення більш легких домішок (наприклад, пил), відстійник, який відокремлює матеріали з різною щільністю (наприклад, каміння), але такого ж розміру, як і бажане зерно, сортувальники кольорів тощо.

Темперування – це процес, під час якого ядра змочуються контрольованим додаванням води, щоб внутрішній ендосперм став м'якшим, а висівки твердішими. Процес спрямований на запобігання розпаду висівок, сприяє поступовому відділенню під час помелу, а також підвищує ефективність просіювання. Зерна тримають у відповідних ємностях протягом певного

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

періоду часу, щоб забезпечити повне зволоження. Як правило, час замочування і температура зерен можуть змінюватися в залежності від типу зерна, сорту, а також початкового рівня вологості. Для твердих або склоподібних ядер, таких як тверді сорти, процес виконується в два послідовні етапи. Кінцевий час вологості та кондиціонування, необхідний для твердої пшениці, вищий, ніж для м'якої пшениці [1, 5]. Інші злаки, такі як жито мають м'якший ендосперм порівняно з твердою пшеницею та мають нижчий вміст вологи. Зерна кукурудзи можуть потребувати до трьох ступенів зволоження, щоб досягти бажаної кінцевої вологості (18%-27%). Розмір і форма зерна, спосіб прилипання зовнішніх шарів до ендосперму, твердість – це характеристики зерна, що мають велике значення в процесі помелу. Сухий помел складається з двох процесів: подрібнення і просіювання.

Мокрий помел на відміну від сухого помелу полягає в подрібненні замоченого зерна з подальшим відділенням хімічних сполук зерна (крохмалю, білків, клітковини та олій). Мокрий помел, переважно кукурудзи, спрямований на вилучення максимально можливої кількості непошкоджених гранул крохмалю. Тому крохмаль є основним продуктом мокрого помелу. Його виробляють у вигляді звичайного або воскоподібного крохмалю. У харчовій промисловості крохмаль використовується в основному для виробництва сиропів. Інші модифіковані крохмалі, в якості загусників, хлібобулочних і кондитерських виробів, супів, дитячого харчування, пивоварних добавок. З економічної точки зору, перетворення крохмалю, одержуваного в основному при мокрому помелі кукурудзи, в підсолоджувачі і етанолі являє собою його основне застосування. Фармацевтична промисловість також є кінцевим споживачем продуктів, отриманих з крохмалю [1, 4, 6]. Крім того, крохмаль знаходить багато нехарчових застосувань у текстильній промисловості, таких як пакувальний матеріал, у виробництві клеїв тощо. Процес мокрого помелу включає різні фізичні, хімічні, біохімічні та механічні операції. Процес використовується в промислових цілях в основному для кукурудзи і в другу чергу для пшениці, але його також можна успішно застосувати і до інших зернових культур, таких як ячмінь і овес. При цьому кожне зерно злаку можна перемолоти мокрим способом, якщо провести відповідну модифікацію обладнання або обробку. Подібно до сухого помелу, очищення зерна є першим етапом процесу мокрого помелу всіх зернових культур. Наступним важливим етапом є замочування, за яким слідує подрібнення замочених ядер.

Нові технології переробки зернових не тільки підвищують врожайність зерна і захищають його поживні речовини, але і сприяють поліпшенню текстури основного кінцевого продукту, сенсорних якостей та інших функціональних характеристик. Фізичні властивості харчових продуктів тісно пов'язані з типом використовуваної технології обробки і відповідні технології обробки дозволяють виробляти зернові харчові продукти з різними характеристиками. Існують ключові технічні проблеми з якими стикається традиційна переробка зернових, такі як втрата поживних речовин і недостатнє використання, які стримують розробку та використання зернових продуктів (наприклад, цільнозерновий хліб, приготований на пару або коричневий рис). Тому потрібні все більш досконалі технології обробки.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Паровий вибух – це нова технологія для більш безпечної та ефективної обробки зерна, яка стрімко розвивається в останні роки. Після того, як сировина нагрівається до 180-235<sup>0</sup>С за допомогою пари, тиск підтримується протягом певного періоду часу, а потім раптово скидається, щоб створити другий випуск пари, щоб збільшити об'єм. Це сприяє вивільненню активних інгредієнтів у харчових матеріалах, а також модифікує макромолекули для посилення відповідних функціональних властивостей [2, 8]. Дослідження доводять, що метод парового вибуху показав хорошу здатність до набухання сировини, водоутримуючу здатність і маслоутримуючі властивості при мінімальній насипній щільності. Таким чином, його можна використовувати як сировину для високожирних хлібобулочних виробів. Метод забезпечив кращу стабільність зберігання цільнозернового борошна. Хімічні зміни в борошні грубого помелу, які викликані паровим вибухом, призвели до зміни здатності борошна утримувати розчинник і реологічні властивості (0,8 МПа є оптимальною умовою для попередньої обробки та для максимізації поживних і функціональних властивостей пшеничних висівок).

Технологія високого гідростатичного тиску зазвичай використовує воду, як середовище для передачі тиску та приймає тиск 100–1000 МПа для обробки матеріалів для досягнення цілей стерилізації, зміни активності ферментів, покращення якості, а також для задоволення попиту на свіжість та меншу обробку. Технологія широко використовується в переробці харчових продуктів (зернових і бобових), особливо в модифікації цільнозернових, борошняних і бобових білків, а також для поліпшення якості макаронних і бобових продуктів. Науковці досліджували вплив обробки тиском (150, 300, 450 і 600 МПа протягом 5, 10 або 15 хв) на реологічні, пастоподібні, термічні та функціональні властивості бобового борошна [2, 9]. Результати свідчать, що технологія прискорює процес замочування зерен пшениці і, таким чином, позитивно впливає на їх пастоподібні характеристики. Також виявлено, що водопоглинальна здатність, розчинність і здатність набухання рисового борошна, відповідно до вмісту вологи та обробки тиском, мали тенденцію збільшуватися зі збільшенням вмісту вологи та тиску і що рисове борошно, оброблене за даною технологією, мало менші гранули крохмалю та менше пустот.

Гомогенізація під високим тиском – це технологія обробки, яка змінює середній розмір частинок і мікроструктуру матеріалу через сильні зіткнення між матеріалом і гомогенізуючим клапаном на високих швидкостях. Під час цього процесу змінюються властивості сировини, такі як адсорбція та реологія. Технологія має багато переваг перед звичайними процесами шліфування: менший розмір частинок, більшу площу поверхні та в'язкість, водоутримуючу здатність та здатність до набухання. Ці властивості не тільки покращують реологічні властивості тіста, але й подовжують термін зберігання хлібобулочних виробів і покращують колір, текстуру та сенсорні властивості їжі [2]. Обробка гомогенізацією під високим тиском не тільки значно збільшує вміст прямоланцюгового крохмалю в рисовому крохмалі, але й формує більш стабільну кристалічну структуру крохмалю та короткострокову впорядковану структуру. Крім того, суспензія, яка отримана за допомогою обробки має

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середню в'язкість, що більш сприятливо для формування пропареного рисового хліба з більшим питомим об'ємом, кращою текстурою та меншою засвоюваністю крохмалю.

Обробка імпульсним електричним полем з'явилася в останні два десятиліття і є нетермічною технікою обробки при якій короткі імпульси подаються на матеріал сировини за допомогою високої напруги, яка прикладена між двома електродами. Рідкі зразки є ідеальним середовищем для обробки завдяки своїй електропровідності, однак, в останні роки було виявлено, що технологія також може змінювати структурні властивості твердих матеріалів. Науковці досліджували фізико-хімічні властивості, мікроструктуру та поведінку клейких рисових зерен [2, 7]. Сировина оброблялася різною міцністю при напруженості поля 3 кВ/см, і результати показали, що пористість поверхні рисових зерен збільшилася, а пікова в'язкість клейкого рисового борошна значно зменшилася після обробки імпульсним електричним полем.

### 1.3 Обладнання для подрібнення зерна

Технологія помелу впливає на склад усіх компонентів, які присутні у борошні, тим самим впливаючи на її поживні якості. Крім того, вони також впливають на розмір частинок, що відіграє вирішальну роль у визначенні функціональних і поживних властивостей борошна. Помел пшениці включає кілька етапів, включаючи очищення, кондиціонування, подрібнення та просіювання. Кожен етап визначає вихід і властивості борошна. Існує багато технік фрезерування, в яких використовуються різні шліфувальні та просіювальні машини. Вальцьовий помел є найбільш поширеним способом виробництва рафінованого пшеничного борошна. Цей процес полягає в поступовому відділенні ендосперму від висівок і зародка з подальшим поступовим зменшенням розміру частинок ендосперму, що супроводжується просіюванням між етапами подрібнення.

Результати помелу сильно залежать від властивостей зерна пшениці, правильної підготовки до помелу та використовуваної техніки подрібнення. Прогрес у швидких методах випробування, очищення та рафінування зерна в техніці помелу за останні роки підвищив ефективність помелу та якість борошна. Крім того, метод надтонкого помелу пшеничного борошна та побічних продуктів борошна розвинувся та був розроблений нещодавно. Як наслідок цього, виробляється багато видів борошна та порошоків висівок з унікальними властивостями та застосуванням.

Очищення пшениці є відповідальним етапом, який відбувається перед процесом помелу. Під час збирання зерна пшениці можуть забруднюватися такими домішками, як бруд, каміння, солома та інші зерна. Ці домішки можуть негативно вплинути на процес помелу, пошкодивши обладнання або знизивши якість кінцевого продукту. Очищення пшениці передбачає використання різних машин і методів для видалення цих домішок і забезпечення чистоти пшениці та готовності пшениці до помелу [11]. Ефективність процесу очищення пшениці може мати значний вплив на якість і вихід кінцевого борошняного виробу. Тому важливо виконувати цей етап обережно та ретельно, щоб досягти

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



високоякісного борошна. У міру розвитку технології очищення зерна впроваджувалися машини, які поєднували в собі різні принципи очищення, такі як просіювання, поділ щільності та аспірація. Ці комбіновані машини дозволили ефективніше очищати пшеницю на меншій площі, що допомогло знизити витрати на будівництво нових млинів або розширення існуючих. Крім того, нещодавні інновації в очищенні пшениці відновили переваги просіювання та сортування пшениці на основі її розміру з усуненням домішок. Сучасні досягнення в галузі очищення пшениці включають новітні технології та матеріали, щоб задовольнити зростаючий попит на вищу експлуатаційну потужність, кращу ефективність очищення та нижчі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування.

В останні роки прогрес в очищенні зерна пшениці був пов'язаний з використанням машин для сортування кольорів (рис. 1.3). Початкове використання сортування кольорів у переробці зерна можна простежити при його застосуванні в рисовому помелі. Ранні версії сортувальників кольорів були однотонними, покладаючись на відтінки чорного та білого кольорів для сортування зерен. Потім технологічний прогрес представив біхроматичні камери з високою роздільною здатністю поряд зі стандартними монохроматичними камерами, що дозволило проводити огляд у ширшому колірному спектрі. Ця вдосконалена технологія полегшила виявлення більш тонких дефектів і домішок у зернах. Сучасний сортувальник кольорів пшениці використовує цифрові камери для дослідження зерна та усунення домішок за допомогою стисненого повітря на основі відмінностей у кольорі.



Рисунок 1.3 – Фотосепаратор

Прогрес в очищенні зерна пшениці перед помелом приніс значні успіхи. Передові технології, такі як машини для сортування кольорів, були впроваджені для ефективного видалення знебарвлених зерен і сторонніх предметів. Необхідним є очищення зерна пшениці перед помелом для підвищення ефективності очищення та збільшення виходу борошна. Ці

досягнення підвищили загальну чистоту зерна пшениці, що призвело до покращення якості борошна та ефективності помелу.

Сортувальники кольорів використовуються для ідентифікації та видалення різних домішок та внутрішніх забруднень (рис. 1.4). Сучасні сортувальники кольорів тепер більш довговічні, компактні, вимагають менше обслуговування і споживають мінімум енергії. В результаті сортування кольорів стало зрілою і надійною технологією, яку слід розглянути для використання на будь-якому сучасному підприємстві з очищення пшениці. Крім того, оптичні сортувальники поступово витісняють традиційні дискові сепаратори та сепаратори з відступами в процесі помелу пшениці. Загалом, машини для сортування кольорів зарекомендували себе як ефективні інструменти для покращення процесу очищення пшениці.

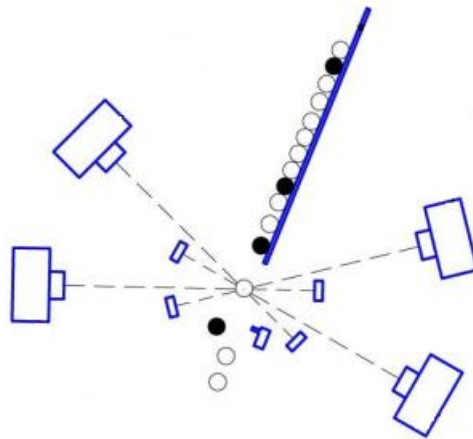


Рисунок 1.4 – Схеми оптичного розпізнавання дефектів

Вирішальним етапом підготовки пшениці до помелу є кондиціонування (темперування), яке зазвичай передбачає додавання води до пшениці та надання їй спокою в бункерах для темперування, доки волога не буде рівномірно розподілена по ядру. Цей етап має важливе значення для досягнення оптимальної текстури пшениці для помелу. Кондиціонування – це процес додавання води до пшениці для збільшення вмісту вологи в середньому до 14,5-17,0% для підвищення ефективності екстракції борошна. Рекомендована вологість зерна перед помелом сильно залежить від твердості зерна і має становити 14,5-15% для м'якої пшениці, 15,0-15,5% для напівм'якого зерна, 15,5-16,0% для напівтвердого зерна та 16-17% для твердої пшениці. Темперування служить багатьом цілям, включаючи зміцнення висівок, дозволяючи їм вбирати вологу, ставати більш пружними та важчими для подрібнення [8, 11]. Він також розм'якшує ендосперм, полегшуючи його подрібнення. Крім того, темперування сприяє відділенню висівок від ендосперму та призводить до отримання кінцевого борошна з достатнім вмістом вологи від 14% до 15%. Без кондиціонування висівки пшениці стануть крихкими та розпадутися на дрібні шматочки під час помелу, що призведе до збільшення вмісту золи у виробленому борошні та, отже, до зниження якості борошна.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Етап кондиціонування при підготовці зерна пшениці перед помелом має вирішальне значення для досягнення оптимальної текстури та підвищення ефективності екстракції борошна. Кондиціонування зміцнює висівки та розм'якшує ендосперм, сприяючи їх відділенню під час подрібнення. Без кондиціонування висівки стали б крихкими, що призвело б до збільшення вмісту золи в борошні. Сучасне зволожуюче обладнання, таке як інтенсивні демпфери, покращує диспергування води і проникнення в зерна і мінімізує час відпустки.

Сьогодні подрібнення пшениці в основному здійснюється за допомогою сучасних промислових млинів, які використовують різноманітні методи подрібнення для виробництва різних видів і сортів борошна. У наш час з'явилися різні методи фрезерування, кожен з яких має свої переваги. Вальцьовий помел є переважаючим методом, який використовується для виробництва різних видів рафінованого борошна на основі їх хімічних властивостей і передбачуваного застосування. Вальцьові млини можуть виробляти борошно стабільної якості та значно підвищили ефективність помелу пшениці [11]. Очищені і кондиціоновані зерна пшениці проходять послідовне проходження через ряд валків, що супроводжується просіюванням між кожним етапом. У класичному процесі роликового фрезерування виділяють три основні етапи: розрив, калібрування та зменшення. Система розривів є найважливішою операцією. Основною метою в системі розриву зерна є досягнення високої швидкості екстракції борошна з низькою зольністю. Мета полягає в тому, щоб розколоти ядро пшениці та вивільнити чисті частинки ендосперму більших розмірів, які будуть використовуватися для калібрування та прогрівання. Системи калібрування помелу спрямовані на перетворення проклеї та подрібнювачів на борошно. Система зменшення розмірів полягає в тому, щоб класифікувати частинки ендосперму на різні класи, що призводить до вузького діапазону розмірів частинок. Цей процес оптимізує роботу системи відновлення, яка додатково очищає частинки ендосперму і в кінцевому підсумку перетворює їх на борошно.

Вальцьовий помел пропонує універсальність у регулюванні ступеня помелу та досягненні бажаної текстури борошна. Контролюючи налаштування валків і процес просіювання, він дозволяє виробляти різні види рафінованого борошна з певними характеристиками, такими як тонкість і консистенція. Цей метод став переважаючим вибором у сучасному виробництві борошна завдяки своїй ефективності, послідовності та здатності виробляти високоякісне борошно у великих масштабах. Ще одним досягненням останніх років є автоматизована система помелу, що відіграє вирішальну роль у полегшенні дистанційних операцій, дозволяючи плавно регулювати зазор між валками під час переходу між різними пшеничними сумішами. Крім того, сучасні вальцьові млини оснащені передовою сенсорною технологією, яка дозволяє вимірювати силу помелу. Разом із даними про швидкість потоку це забезпечує підтримання стабільної продуктивності шліфування, що призводить до виробництва незмінно високоякісних кінцевих продуктів. Крім того, подвійне подрібнення млинових потоків без проміжного просіювання, відоме як восьмивалкова система помелу, є сучасною технологією подрібнення, яка забезпечує

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

можливості для значного зниження капітальних витрат у порівнянні зі звичайними системами помелу пшеничного борошна.

Крім традиційної техніки подрібнення пшеничних валків для зменшення розміру частинок зернового борошна та покращення фізико-хімічних характеристик дрібного порошку, що має значний вплив на якість продуктів на основі борошна, часто використовується надтонкий помел. Основною метою ультратонкого шліфування є збільшення площі поверхні та реакційної здатності матеріалу, що призводить до покращення властивостей та продуктивності. Нещодавні дослідження показують, що методи надтонкого помелу можуть значно покращити якість цільнозернового борошна, значно зменшуючи розмір частинок порошку, які зазвичай становлять менше 40 мкм. Цей процес також впливає на властивості пшеничного борошна, такі як збільшення водопоглинання та зміна реологічних властивостей тіста, що в кінцевому підсумку впливає на властивості зернових виробів. Крім того, ультратонкий помел використовується для зменшення розміру частинок борошна, при цьому струменевий помел виробляє дрібні частинки (< 10 мкм), які мають високу розчинність, що призводить до більш смачних продуктів.

Для ультратонкого фрезерування використовується кілька методів, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Найбільш поширеними є струменеве і кульове фрезерування. Струменеве фрезерування зазвичай використовується для отримання частинок розміром від 1 до 10 мкм. Струменеве фрезерування використовує високошвидкісні струмені стисненого повітря або газу для надання кінетичної енергії частинкам, змушуючи їх стикатися та розпадатися [7, 11]. У міру зменшення розміру частинок борошна при струменевому помелі спостерігалось помітне збільшення пошкодженого крохмалю. Однак, коли розмір частинок борошна досягав середнього розміру 21 мкм за допомогою струменевого помелу, рівень пошкодженого крохмалю був порівнянний з тим, що досягався традиційними методами помелу. Крім того, зменшення розміру частинок борошна за допомогою струменевого помелу призводило до різних змін у реологічній поведінці тіста. Ці зміни включали підвищення еластичності, стійкості до деформації, твердості, а також зменшення видимої ентальпії клейстеризації крохмалю та швидкості релаксації тіста. Ці відмінності в реології тіста можуть призвести до отримання борошна з широким спектром функціональних властивостей, що дозволяє виробляти індивідуальні хлібобулочні вироби з різноманітними властивостями обробки тіста та високоякісними кінцевими продуктами. Струменевий помел також може бути корисною технікою у виробництві цільнозернового борошна.

Сьогодні на підприємствах використовуються різноманітні подрібнювачі струменевого типу, що відрізняються один від одного за використаним способом перенесення енергії. Найчастіше застосовувана класифікація розглянутого обладнання передбачає розподіл подібного оснащення за категоріями залежно від характеристик, властивих робочій камері. Виділяються такі види агрегатів:

- апарати, в яких реалізована камера орієнтована горизонтально;
- подрібнювальне оснащення, що характеризується вертикальною камерою;

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- подрібнювачі комбінованого типу;
- оснащення, у якому робоча камера є протиточною.

На рисунку 1.5 представлено схему подрібнювального млина струминного типу.

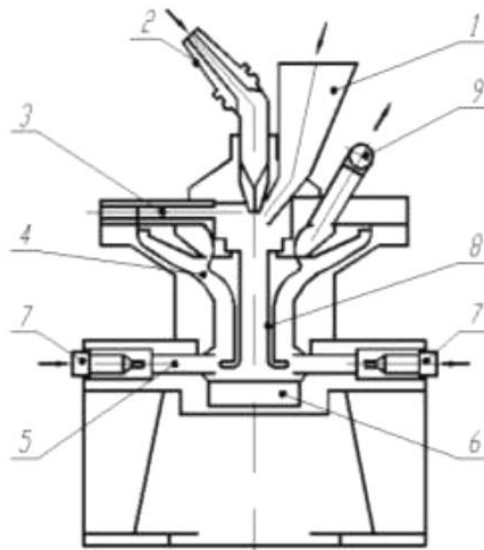


Рисунок 1.5 – Подрібнювач струминного типу

На рисунку 1.5 представлено: 1 – матеріал, що піддається подрібненню; 2 – насосне обладнання; 3 – сепаруюча камера; 4 – камера для сортування сировини; 5 – камера, що подрібнює; 6 – стінка об яку ударяється сировина; 7 – сопло; 8 – дифузорне обладнання; 9 – вивантаження відпрацьованої сировини.

Інший вид подрібнювального обладнання представлено на рисунку 1.6. Воно відрізняється геометричними розмірами і має продуктивність від 0,5 до 1200 кг сировини на годину. При цьому розміри частинок, що отримуються в результаті обробки, знаходяться в діапазоні від 1-2 мкм до 2-3 мм.

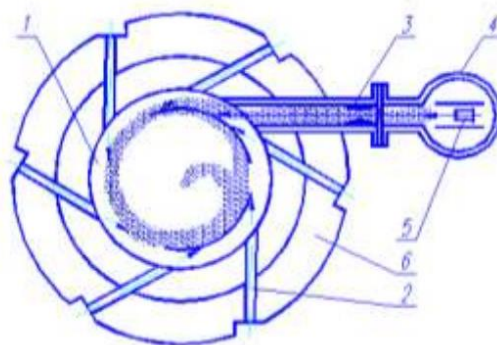


Рисунок 1.6 – Подрібнювальне обладнання для зерна

На рисунку 1.6 представлено: 1 – робоча камера; 2 – сопла, через яких проходить газ; 3 – сопло; 4 – бункер; 5 – сопло, через яке в камеру потрапляє сировина, яка підлягає обробці; 6 – корпус.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Частинки з невеликими геометричними розмірами, які чинять опір повітрю, що впливає на них більше, ніж відцентрова сила, підхоплюються створюваним вихором, після чого переміщуються в непаруючу камеру. Частинки, які рухаються вздовж сортувальної камери, залишають млин, при цьому найбільші з цих частинок проходять повторне подрібнення.

Ще одним методом, який можна використовувати для зменшення розміру частинок борошна є кульовий помел. У техніці кульового фрезерування матеріали подрібнюються в обертовій циліндричній камері за допомогою шліфувальних середовищ, таких як кульки (рис. 1.7). Зіткнення середовища з частинками призводить до зменшення розміру. Процес подрібнення значно зменшує розмір гранул ендосперму приблизно до 30 мкм і збільшує вміст пошкодженого крохмалю, що вказує на позитивну кореляцію між часом подрібнення та пошкодженням крохмалю [6, 11]. Дослідження показало, що використання технології кульового шліфування протягом 40 хвилин призвело до зменшення розміру частинок з 85,9 мкм до 32,3 мкм. Додатково спостерігалось підвищення білизни клейковини. Ці результати свідчать про те, що технологія кульового подрібнення покращує функціональні характеристики пшеничної клейковини та розширює спектр її можливого застосування.

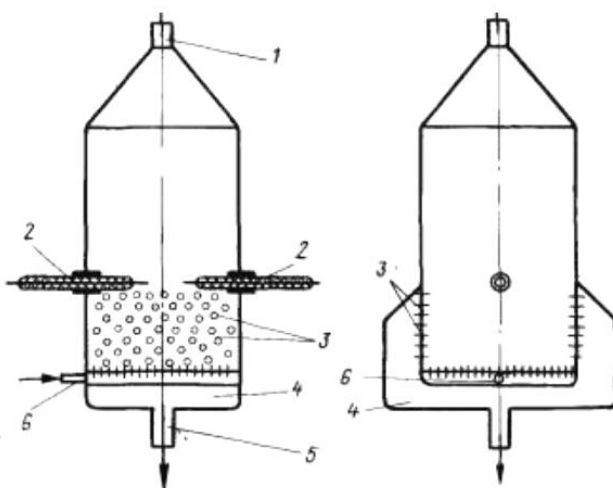


Рисунок 1.7 – Пристрій для дроблення зерна (кульовий помел)

На рисунку 1.7 представлено: 1 – подання сировини; 2 – електроди; 3 – сітка вихідних отворів для обробленого матеріалу; 4 – приймальний бункер для оброблюваного матеріалу; 5 – вивідний патрубок; 6 – підведення газу.

Таким чином, ультратонкий помел значно змінює хлібопекарські властивості пшеничних виробів і дозволяє виробляти пшеничне борошно з унікальними властивостями.

На основі вище зазначеного можна вважати, що основною технологічною операцією переробки зерна є помел, тобто подрібнення зерна таким чином, щоб його можна було легко приготувати і перетворити на привабливий харчовий продукт. Подрібнення зерна відбувається шляхом застосування механічних сил, які змінюють структуру зерна шляхом подолання внутрішніх сил зв'язування,

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

після чого стан твердої речовини змінюється на борошно. Зернова продукція переробляється в тій чи іншій формі перед тим, як її фактично споживають. Одним з важливих процесів, пов'язаних з нехімічними змінами в повній мірі, є перетворення зібраного зерна на борошно. Переробка зернових є важливою частиною ланцюжка виробництва харчових продуктів. Помел являє собою основну процедуру в круп'яній промисловості та класифікується на дві категорії: суха та мокра. Кожна категорія має свої особливості.

Технологія помелу впливає на склад усіх компонентів, присутніх у борошні, тим самим впливаючи на її поживні якості. Впливає на розмір частинок, що відіграє вирішальну роль у визначенні функціональних і поживних властивостей борошна. Помел пшениці включає кілька етапів, включаючи очищення, кондиціонування, подрібнення та просіювання. Кожен етап визначає вихід і властивості борошна. Існує багато технік фрезерування в яких використовуються різні шліфувальні та просіювальні машини.

Вальцьовий помел є найбільш поширеним способом виробництва пшеничного борошна. Цей процес полягає в поступовому відділенні ендосперму від висівок і зародка з подальшим поступовим зменшенням розміру частинок ендосперму, що супроводжується просіюванням між етапами подрібнення. Для ультратонкого фрезерування використовується кілька методів, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Найбільш поширеними є струменеве і кульове фрезерування. Струменеве фрезерування зазвичай використовується для отримання частинок розміром від 1 до 10 мкм. Струменеве фрезерування використовує високошвидкісні струмені стисненого повітря або газу для надання кінетичної енергії частинкам, змушуючи їх стикатися та розпадатися.

Зазначено, що впровадження нових технологій та технології візуалізації дозволяє швидко та точно вимірювати фізико-хімічні властивості зерна, які визначають цінність помелу. Помел пшениці розвивається з часом. І сучасні млини є високоавтоматизованими, ефективними та здатними виробляти велику кількість високоякісного борошна. Традиційні методи помелу удосконалюються сучасним обладнанням та процесами, що призводить до покращення якості борошна та підвищення ефективності. Впровадження автоматизованих фрезерних систем призвело до кращого контролю якості, зменшення відходів і збільшення пропускної здатності. Крім того, дослідження в галузі борошномельного виробництва призвели до розробки нових методів помелу, таких як надтонкий помел, які виробляють борошно з чудовими фізико-хімічними властивостями, що призводить до більш високої якості харчових продуктів. Загалом прогрес у помелі пшеничного борошна був значним, що призвело до виробництва більш стабільного, високоякісного борошна, яке служить необхідним інгредієнтом у широкому спектрі харчових продуктів.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БОРОШНА

### 2.1 Оптимізації процесу помелу пшеничного борошна

Помел пшеничного борошна є одним з найдавніших процесів, який діє і сьогодні. Методи та засоби вдосконалювалися протягом століть. Процес помелу пшеничного борошна відбувається за лінійним і безперервним потоком [19]. Його можна розбити на 3 фази, а саме: очищення, відпустка та фрезерування. Процес очищення усуває всі домішки та сторонні матеріали, які присутні в пшеничній партії та можуть погіршити якість борошна або з часом пошкодити обладнання. Потім відбувається процес відпуску, щоб кондиціонувати пшеницю для оптимальної продуктивності в процесі помелу. Зерна пшениці подрібнюються в багатоступінчастому середовищі, яке відбувається послідовно до отримання борошна. Проте на кожному етапі виробничого ланцюжка існують проблеми. Використання методів штучного інтелекту пропонує рішення та нові перспективи для досягнення різних цілей у процесі виробництва борошна.

Штучний інтелект став революційним інструментом у різних галузях, включаючи харчову промисловість. У секторі помелу пшениці застосування штучного інтелекту пропонує величезний потенціал для оптимізації операцій, підвищення якості продукції та підвищення ефективності. Помел пшениці відіграє вирішальну роль у харчовій промисловості та слугує основним процесом перетворення сирих зерен пшениці в різні борошняні вироби, які використовуються у випічці, кулінарії та виробництві харчових продуктів. Традиційні операції з помелу пшениці включають кілька етапів, включаючи очищення, кондиціонування, помел і рафінування, кожен з яких вимагає точного контролю та оптимізації для досягнення бажаних результатів. Зі швидким розвитком технологій штучного інтелекту зростає інтерес до використання штучного інтелекту для оптимізації та вдосконалення цих процесів.

Алгоритми машинного навчання широко використовуються в помелі пшениці для прогнозного моделювання, оптимізації процесів і контролю якості. Аналізуючи дані про властивості зерна, параметри помелу та характеристики продукту, моделі машинного навчання можуть виявляти закономірності та кореляції для оптимізації налаштувань помелу та прогнозування результатів з більшою точністю [23]. Методи штучного інтелекту є перспективними у процесі аналізу зображень, дозволяють автоматизувати перевірку та класифікацію зерен пшениці, розпізнавати забруднювачі та частинки борошна. Крім того, системи на основі штучного інтелекту, оснащені можливостями

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Гаврилов</i>				<b>Удосконалення обладнання для подрібнення зерна</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						22	12
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

комп'ютерного зору, які можуть виявляти дефекти, сторонні матеріали та домішки в режимі реального часу, сприяючи своєчасному втручанню підтримки якості та безпеки продукції.

У процесі помелу, крім якості борошна, є й інші параметри, які забезпечують оптимальну роботу подрібнювального обладнання, такі як економія енергії, оптимізація ресурсів та продуктивність млина. Кожен параметр включає ключові цілі, які можуть бути досягнуті та вирішені за допомогою штучного інтелекту. На рисунку 2.1 запропоновано оптимізацію процесу подрібнення пшениці із застосуванням штучного інтелекту.



Рисунок 2.1 – Оптимізація процесу подрібнення із застосуванням штучного інтелекту

Для забезпечення стабільної якості виготовлення борошна важливо правильно налаштувати параметри машини, рецептури пшениці та знати якість сировини, що зберігається на складі. Щоб заощадити енергію та підвищити прибутковість млина необхідно зменшити пікового споживання та налаштування машин [15, 19]. Оптимізація ресурсів можлива завдяки підвищенню ефективності логістики, підтримці прийняття рішень операторами

та кращому управлінню запасами пшениці. Що стосується продуктивності млина, впровадження підходу до профілактичного обслуговування на основі даних, зібраних у режимі реального часу, коригування параметрів виробництва та стратегій скорочення часу роботи за допомогою методів штучного інтелекту пропонують рішення для оптимізації цього виміру. Дії ключових цілей можуть бути задіяні в декількох вимірах, в залежності від кінцевої поставленої мети. Це, наприклад, випадок оптимізації налаштування машини, в якій ми намагаємося знайти найкращі параметри для досягнення нашої мети. Кожен з чотирьох вимірів буде більш детально пояснений в наступних підрозділах.

1. Енергозбереження. Потреба в енергії у процесах подрібнення сипучих матеріалів у яких домінує технологічна стінка, що виникає в багатодискових і багатобарабанних подрібнювачах, залежить головним чином від одиничного значення технологічної енергії зсуву. Його величина може бути визначена на підставі випробувань на відповідних випробувальних стендах. Якщо відома загальна площа поверхні частинок подрібнених ядер і величина одиниці енергії, то можна визначити енергетичну залежність, яка необхідна для з'єднання. У процесі подрібнення зернової сировини необхідно враховувати загальні потреби в енергії для дроблення зерна в багатодискових і багатобарабанних подрібнювачах [7]. Виходячи з цього, можна визначити енергію необхідну для подрібнювального обладнання. Для того щоб використовувати одиницю енергії  $E_j$  для розрахунку енергії машини  $E_M$  в прикладних дослідженнях, необхідно знати перехідну функцію  $f_p$

$$E_M = f_p \cdot E_P$$

Для обчислення машинної енергії  $E_M$  крім енергії процесу  $E_P$  необхідна функція переходу  $f_p$ . Таку функцію складно точно окреслити. У практичних розрахунках її зазвичай замінюють коефіцієнтами перерахунку, які прийнято називати поправочними коефіцієнтами  $K$  [7]

$$E_M = K \cdot E_P$$

Поправочний коефіцієнт  $K$  визначається експериментально і залежить від декількох факторів, що впливають на його значення. Такими факторами, що відносяться до енергоємності подрібнення зерна в багатодискових і багатобарабанних подрібнювачах є коефіцієнти, що включають вплив геометричних особливостей робочого вузла  $K_N$ , коефіцієнти, що включають вплив динамічних факторів  $K_D$  і коефіцієнти, що включають вплив характеристик подрібненого матеріалу  $K_M$

$$K = K_N \cdot K_D \cdot K_M$$

Коефіцієнт  $K_N$ , що включає в себе вплив геометричних особливостей робочого вузла подрібнювача, складається з безлічі факторів, що визначають умови, при яких гранульований матеріал очищається. Такими коефіцієнтами є  $K_{N1}$  – визначення типу подрібнювача: багатодисковий або багатобарабанний,

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$K_{N2}$  – визначення типу ріжучих кромки: прямолінійні ріжучі кромки, вигнуті ріжучі кромки,  $K_{N3}$  – коефіцієнт, що включає вплив кута атаки ріжучої кромки,  $K_{N4}$  – коефіцієнт, що включає вплив кута контакту ріжучої кромки,  $K_{N5}$  – коефіцієнт, що визначає кут ріжучої кромки,  $K_{N6}$  – коефіцієнт, що включає вплив зазору між дисками/барабанами. Тому коефіцієнт  $K_N$  можна представити у вигляді [7]

$$K_N = K_{N1} \cdot K_{N2} \cdot K_{N3} \cdot K_{N4} \cdot K_{N5} \cdot K_{N6}$$

Другу групу коефіцієнтів складають коефіцієнти  $K_D$ , що включають вплив динамічних особливостей. У цю групу входять:  $K_{D1}$  – коефіцієнт, що вказує на рух дисків або барабанів при зустрічному обертанні,  $K_{D2}$  – коефіцієнт, що вказує на рух дисків або робочих барабанів по відношенню до нерухомих дисків або барабанів «статора»,  $K_{D3}$  – коефіцієнт, що визначає вплив технологічної швидкості зсуву (відносна швидкість дисків або ріжучих барабанів).

Коефіцієнт  $K_D$  можна записати як

$$K_D = K_{D1} \cdot K_{D2} \cdot K_{D3}$$

Останньою групою коефіцієнтів, що впливають на поправочний коефіцієнт  $K$  є коефіцієнти, що включають вплив характеристик подрібненого матеріалу  $K_M$ . Він складається з:  $K_{M1}$  – коефіцієнт, що описує вплив вологості зерна,  $K_{M2}$  – коефіцієнт, що описує вплив початкового стану зерна (пошкодження, що виникають перед процесом подрібнення),  $K_{M3}$  – коефіцієнт, що враховує вплив внутрішньої структури ядра (наприклад, склоподібність, борошністість),  $K_{M4}$  – коефіцієнт, що враховує вплив форми роздроблених частинок. Коефіцієнт, що включає вплив характеристик подрібненого матеріалу  $K_M$ , можна записати у вигляді [7]

$$K_M = K_{M1} \cdot K_{M2} \cdot K_{M3}$$

При розрахунку енергії машини  $E_M$  за допомогою поправочного коефіцієнта  $K$  слід враховувати механічний ККД  $\eta_M$ .

$$E_M = \frac{1}{\eta_M} \cdot K \cdot E_P$$

З метою зниження виробничих витрат і підвищення прибутковості млина науковці досліджують шляхи оптимізації енергетичних потреб для ефективного помелу зерна пшениці [14, 19]. На параметри енергозбереження валкового млина впливають параметри і властивості пшениці. Відзначається, що твердість пшениці є найбільш корисною змінною від змінної фізичних властивостей для прогнозування енергетичних потреб для помелу. З іншого боку, швидкість подачі зерна пшениці і зазор валків є найбільш значущими параметрами

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

процесу. На додаток до цих вхідних змінних, показали, що процес відпустки також впливає на енергію, що використовується для шліфування. Збільшення вологості зерна пшениці призводить до збільшення потреби в енергії. Пояснюється це тим, що зміна вологості має на увазі зміну твердості зерна пшениці.

Грунтуючись на споживанні енергії, налаштуваннях параметрів процесу з часом штучний інтелект може виявляти закономірності та надавати інструмент підтримки прийняття рішень для оптимізації налаштувань машини для ефективного подрібнення зерна пшениці та економії енергії. Крім того, на пшеничному млині спостерігаються піки енергії коли запускається борошномельне обладнання. Це спричиняє значні витрати енергії. Завдяки кращій оцінці часу роботи та кількості борошна, необхідного від моделей штучного інтелекту, можна було б спланувати виробництво, щоб зменшити піки споживання енергії. Нарешті, високе енергоспоживання можна пояснити погано відрегульованими параметрами або зносом обладнання. Це може бути хорошим показником для профілактичного обслуговування.

2. Стабільна якість. Стабільна якість пшеничного борошна є важливим аспектом процесу помелу пшеничного борошна. Параметр безпосередньо впливає на потреби клієнта. Моделі комп'ютерного зору зі штучним інтелектом можуть надати рішення для виявлення відсотка сторонніх речовин і покращення параметрів процесу очищення та кількості необхідних циклів. На основі даних про виробництво моделі штучного інтелекту можуть прогнозувати якість пшеничного борошна наприкінці помелу. Мета полягає в тому, щоб оптимізувати та запропонувати пшеничну суміш для досягнення певної якості борошна залежно від факторів та параметрів, присутніх на млині.

Моделі штучного інтелекту нададуть рішення для оптимізації параметрів помелу на основі якості зерна, навколишніх факторів і бажаної якості, максимізуючи при цьому врожайність. Для оптимізації процесу фрезерування актуальними були б і інші моделі оптимізації з урахуванням ресурсів та енергії, пов'язаних з якістю [23]. Більш точна оцінка якості зерна пшениці, що зберігається протягом декількох днів, тижнів або місяців в силосі забезпечить більшу точність при змішуванні пшениці для конкретного циклу помелу і, отже, якості виробленого борошна, а також проаналізувати та спрогнозувати якість зерна, що зберігається за допомогою моделі штучного інтелекту, беручи до уваги сорт пшениці, час зберігання та умови навколишнього середовища в приміщенні.

3. Оптимізація ресурсів. Ресурси включають час, матеріал, а також працю. Ці ресурси повинні бути оптимізовані для зниження собівартості виробництва та відходів. Для цього можна досліджувати кілька шляхів. Один з них полягає в тому, щоб вивчити як правильно виставити параметри обладнання для кожного пробігу, що заощадить час і матеріал виробництва. По-друге, подивитися на ланцюжок поставок, щоб транспортувати потрібну кількість і якість зерна пшениці для виробництва певного виду борошна. Це дозволить скоротити час виробництва та оптимізувати потужності для зберігання пшениці.

Дані, які автоматично отримані для живлення моделей штучного інтелекту зменшать кількість завдань ручного збору даних, які виконують

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працівники для прийняття рішень. Це дозволить оптимізувати час і кількість робітників, які керують фрезерними операціями. Аналізуючи час у дорозі, економічні та погодні явища, можна зробити оцінки поставок зерна пшениці за допомогою моделей штучного інтелекту для кращого планування виробництва та покращення логістичних поставок. За умови кращого прогнозу попиту на борошно, інформації про запаси, інформації про якість пшениці та оцінки прибуття зерна можливі рішення для оптимізації потужностей зберігання пшениці на заводі.

4. Продуктивність млина. Продуктивність млина в першу чергу пов'язана з виходом борошна на основі параметрів помелу та властивостей пшениці. Однак, незважаючи на те, що швидкість екстракції є хорошим показником виробничої продуктивності млина, важливо дивитися на загальну ефективність роботи млина через показник продуктивності (загальна ефективність обладнання). Обладнання зношується після кожного помелу пшениці. Це впливає на коригування параметрів виробництва і може спричинити незаплановану зупинку виробництва. Моделі штучного інтелекту можна використовувати для здійснення оптимальних налаштувань та виконання прогнозованого технічного обслуговування.

## 2.2 Підвищення ефективності процесу подрібнення зерна

В ході історії техніка вдосконалювалася, обладнання модернізувалося, щоб забезпечити функціональність подрібнювального обладнання, а також забезпечити стабільну якість борошна. Зерно пшениці є живою сировиною і його якість змінюється залежно від багатьох факторів. Пшеничне борошно виробляють шляхом помелу. Помел – це процес, який використовується для подрібнення зерен злаків. Зазвичай, це відбувається на промисловому борошномельному заводі, який замінив старовинні борошномельні млини, що працюють від вітру або води. Мета помелу пшеничного борошна полягає в тому, щоб відокремити різні частини зерна пшениці та зменшити зерна на менші частинки. Протягом багатьох років з'явилися різні техніки і стратегії, з-поміж яких роликве фрезерування. Циліндричне фрезерування використовується найчастіше через його високу продуктивність. В результаті також виходить дуже біле борошно. За допомогою циліндрового помелу необхідно відрегулювати параметри виробництва відповідно до якості зерна пшениці.

Процес помелу пшениці, як правило, можна розділити на 2 операції: дроблення зерна на частинки та зменшення розміру частинок. На кожному етапі частинки просіваються через кілька сит. Розмір частинок дозволить класифікувати частинку як борошно. Незважаючи на те, що обладнання для процесу помелу пшеничного борошна було модернізовано, а деякі деталі тепер напівавтоматизовані, за контроль всього процесу відповідає людина. Вона починає з вибору правильного сорту пшениці для отримання борошна певної якості. При необхідності можна зробити суміш з різними якістьми пшениці для збалансування і отримання борошна потрібної якості. Потім пшенична суміш переробляється після трьох етапів роботи. На кожному етапі регулюються

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правильні параметри процесу, щоб виготовити необхідну якість борошна, досягаючи при цьому максимально досяжного виходу борошна.

Актуальним залишається оптимізація обладнання отримання борошна, підвищення ефективності та скорочення питомого споживання енергії. Ефективність роботи дробарки, що оцінюється якістю одержуваного продукту, а саме енергоємністю процесу і його продуктивністю, залежить від різних факторів: тиску, що чиниться на вальці, який тисне і руйнує зерновий матеріал, сила тертя зерна об поверхню валків, зазор між валками, їх діаметр, швидкість обертання і так далі.

Загальний вигляд конструкції і технологічної схеми двоступеневої зернодробарки і виконуваного нею технологічного процесу представлений на рисунку 2.2. Ось траєкторії руху зерна знаходиться всередині цієї машини. Технологічний процес полягає в наступному: зернова сировина 1 завантажується в бункер 2 і після відкриття отвору 3 за допомогою заслінки 4 потрапляє під дією сили тяжіння на подаючий валок 5, де захоплюється пазами валка і подається по каналу подачі 6 в міжвальцьовий зазор 10 між вальцями 7 і 8, які захоплюють зерновий матеріал і виконують перший етап дроблення. Після цього зернова сировина виймається з межвалкового зазору 10 і направляється уздовж криволінійної плити 11 в міжроликовий зазор 13 верхнього 7 і нижнього валків 9, що виконують другий етап дроблення [24]. Після цього подрібнене зерно 13 переміщується на направляючу плиту 14 і, рухаючись по ній, обробляється консервантом 15 (якщо зерно вологе) з сопла 16 і вивантажується.

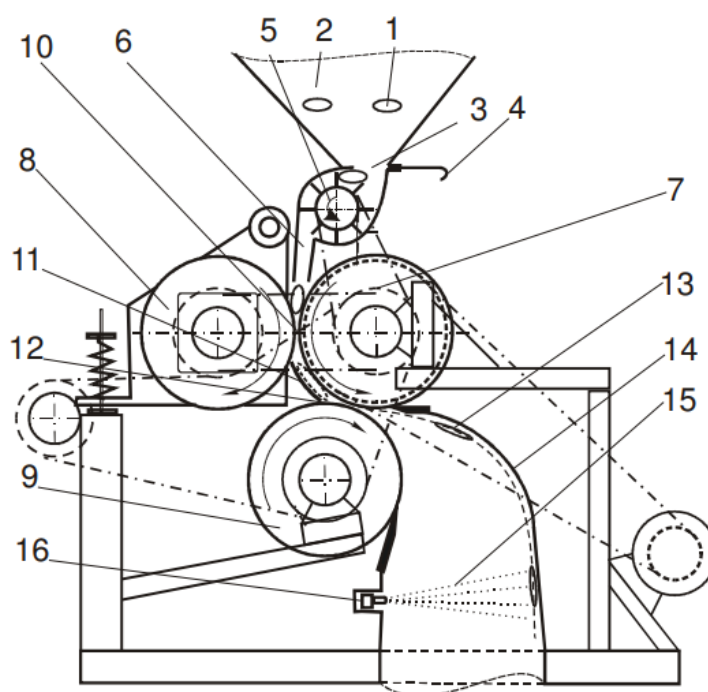


Рисунок 2.2 – Технологічна схема двоступеневої зернодробарки з трьома валками [24]

Всі технологічні операції, що виконуються машиною, можна умовно розділити на дві групи: механічні переміщення (транспортування) і

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



діаметром частинок приблизно 710 мкм, але розподіл від валкової дробарки більш концентрований, ніж розподіл від молоткової дробарки.

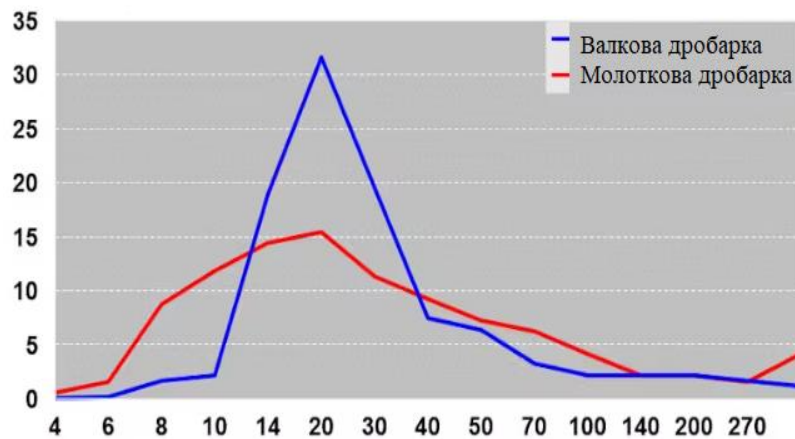


Рисунок 2.4 – Розподіл частинок за розміром [25]

Розглянемо основні параметри валкової дробарки для отримання борошна.

1. Розмір валків. Розмір валків у валковій дробарці є найважливішим параметром, що визначає пропускну здатність обладнання, оскільки більші валки забезпечують більшу пропускну здатність. Валки більшого діаметра є більш вигідними, ніж валки меншого діаметру з трьох основних причин: більш оптимальний кут затискання, збільшена площа роликової поверхні та зменшений прогин валків.

2. Кут затискання. Валки більшого діаметру зменшують кут затискання між валками і дозволяють валкам ефективніше захоплювати сировину і тягнути її вниз через валки.

3. Площа ролика. Більша площа поверхні зменшує частоту видалення, що зменшує витрати на робочу силу та простої.

4. Прогин крену валків. Прогин крену означає, наскільки може згинатися центр валків. Ролики підтримуються лише на кожному кінці, де підшипники прикріплені до рами машини. Прогин є фактором, що впливає як на довжину, так і на діаметр валків.

5. Оснащення валків. Необхідно підбирати відповідно до оброблюваних матеріалів і вимог до готової продукції, задля забезпечення довшого терміну служби та вищої продуктивності. Більш тонкі гофри призводять до більш тонких виробів, але зменшують місткість і швидше зношуються.

6. Швидкість кочення. Диференціал швидкості валка – це різниця в швидкості обертання між двома валками в парі та є однією з найбільших причин, чому валкові дробарки виробляють помел з меншим стандартним відхиленням, ніж молоткові дробарки. Диференціал створює ефект зсуву між валками, який ріже матеріал, а не розчавлює його. Шківні на валах з'єднані за допомогою ременів для обертання валків із заданою швидкістю. Якщо шківні занадто великі, вони контактуватимуть або з іншим шківом на спареному валу



або з рамою/захисним кожухом машини. Найпоширеніший перепад швидкості валка при подрібненні валкової дробарки становить 1,5:1.

7. Розміщення валків. Щоб максимізувати термін служби ролика та досягти стабільної наскрізної продуктивності, кожна пара валків повинна бути розміщена паралельно, тобто на одному рівні один з одним у горизонтальній площині. Якщо валки працюють непаралельно, вони будуть дрібно шліфувати матеріал з одного кінця і грубо з іншого, а також зношуватися нерівномірно. Коли валки не паралельні то матеріал має тенденцію «дрейфувати» в затискачі валків до більш відкритого кінця. Цей надлишок сировини може почати «накопичуватися» і викликати прискорений знос. Спроба зробити тонке шліфування поза паралельним рухом може призвести до того, що «близький» кінець призведе до контакту металу з металом.

8. Баланс між парами валків. У дво- або трьохпарних машинах необхідно балансувати роботу, що виконується між парами валків, щоб уникнути передчасного зносу однієї з пар валків. При правильному управлінні кожна пара валків буде зношуватися приблизно з однаковою швидкістю. Завдяки використанню «шахової» гофри на швидких і повільних валках (з більш грубими канавками на швидкому валку) всі чотири (або шість) валків будуть готові до гофрування одночасно.

9. Експлуатація валків. Валки повинні експлуатуватися таким чином, щоб уникнути накопичення матеріалу коли млин працює на повну потужність. Зазвичай це не проблема, коли валки в хорошому стані, оскільки гофри легко втягують матеріал, а навантаження двигуна обмежує пропускну здатність. У міру того, як гофри, особливо у верхніх валках затупляються, вони втрачають свою ефективність при втягуванні зерна і матеріал може почати накопичуватися. Цієї умови слід уникати, оскільки прослизання матеріалу в затискачі валків значно прискорить знос [25]. Якщо продуктивність млина зменшується або якщо навантаження двигуна не збільшується при збільшенні швидкості живильника дуже ймовірно, що матеріал не проходить через верхню пару валків. Якщо готовий виріб занадто грубий то закривають нижні валки для отримання потрібного розміру готових частинок.

### 2.3 Керування зазором валків валкової дробарки

При подрібненні зерна валкові дробарки мають два, як правило, паралельні валки, які обертаються в протилежних напрямках і розділені зазором. За структурою і принципом роботи розмір частинок матеріалу після подрібнення визначається зазором між валками двох валків. Традиційно зазор між валками регулюється за допомогою зміни товщини підбору. Проте існує багато недоліків, таких як висока трудомісткість, неточний контроль і неможливість реалізувати адаптивне регулювання зазору крену після зносу для ручного методу управління [26]. Принцип роботи валкової дробарки можна звести до наступного. Два валки обертаються в протилежну сторону під час роботи дробарки. Нерухомий ролик обертається лише за годинниковою стрілкою, тоді як рухомий обертається проти годинникової стрілки, а також може переміщатися вздовж прямої лінії. Подрібнений матеріал обертається за

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою ролика. Як правило, розмір подрібненого продукту визначається зазором між роликками.

Коли зернова сировина потрапляє на етап подрібнення в ній можуть залишатися сторонні домішки (навіть металеві), які можуть пошкодити робочу поверхню валків. Щоб уникнути пошкодження валків запропоновано на першому етапі виявити сторонній предмет за допомогою уловлювачів. За допомогою блока управління відбудеться обмежена норма подачі зерна, яка може становити, наприклад, 30-50% від робочої норми подачі. Блок управління буде подавати вихідний сигнал на регулятор зазору, розсуваючи роликки в сторони, а отже, розширюючи зазор від початкової робочої ширини до більшої. Ширина може бути, наприклад, втричі більшою за робочу ширину (рис. 2.5). Наприклад, ширина може бути принаймні втричі більшою за розмір найбільшого матеріалу очікуваного в потоці подачі, таким чином, щоб забезпечити вільний потік сировини. При розширенні зазору сторонні домішки пропускаються через зазор. Роликки не будуть намагатися розчавити об'єкт, що не подрібнюється, і таким чином роликки захищені від неподрібненої сировини, а менша кількість матеріалу пропускається неподрібною через зазор. Оскільки зазор для подрібнення розширений, неподрібнюваний об'єкт пройде через зазор не пошкодивши валки.

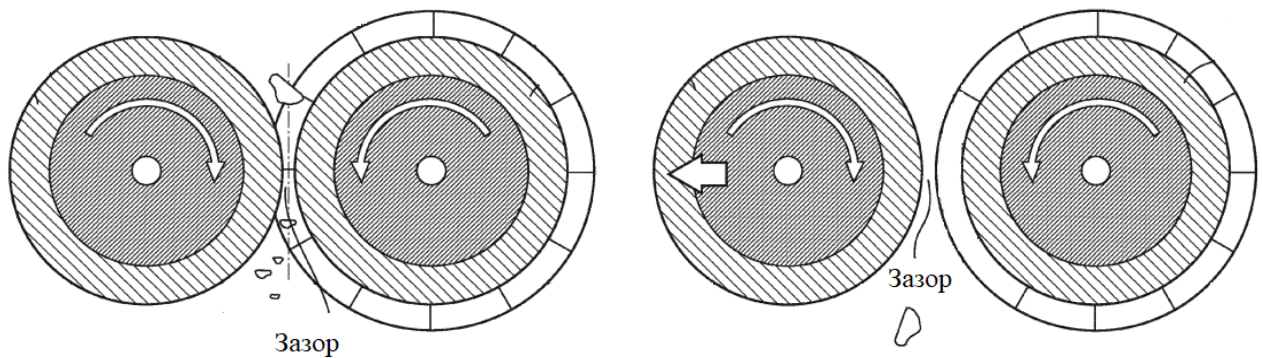


Рисунок 2.5 – Керування зазором валків валкової дробарки

Валкова дробарка може бути додатково пристосована для захисту валків від неподрібнених предметів шляхом зменшення тиску з яким валки притискаються один до одного. З цією метою валкова дробарка може бути оснащена регулятором тиску. Якщо занадто великий неподрібнюваний предмет увійде в щілину коли він був розширений то неподрібнюваному предмету можна дозволити відштовхнути один з валків від іншого або роликки один від одного, тим самим ще більше збільшивши ширину зазору, такий, що нероздавлюваний об'єкт може пройти. Після того, як неподрібнюваний об'єкт пройде через щілину, тиск, який був прикладений до роликків, може бути знову збільшений до робочого тиску.

Запропоновано спосіб захисту валкової дробарки від попадання сторонніх домішок. Валкова дробарка має два паралельні роликки розташовані так, щоб обертатися в протилежних напрямках і розділені зазором. Запропонований метод виявлення домішок в зерні включає наступні етапи:

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- виявлення об'єкта, що не подрібнюється у потоці матеріалу;
- збільшення зазору між зазначеними роликками на ширину більшу за об'єкт, що не подрібнюється з обмеженою швидкістю подачі зернової сировини;
- зменшення зазору до зазначеної робочої ширини та повернення до робочої швидкості подачі сировини.

На основі вище зазначеного можна вважати, що алгоритми машинного навчання широко використовуються в помелі пшениці для прогнозного моделювання, оптимізації процесів і контролю якості. Аналізуючи дані про властивості зерна, параметри помелу та характеристики продукту, моделі машинного навчання можуть виявляти закономірності та кореляції для оптимізації налаштувань помелу та прогнозування результатів з більшою точністю. Методи штучного інтелекту є перспективними у процесі аналізу зображень, дозволяють автоматизувати перевірку та класифікацію зерен пшениці, розпізнати забруднювачі та частинки борошна. Крім того, системи на основі штучного інтелекту, оснащені можливостями комп'ютерного зору, які можуть виявляти дефекти, сторонні матеріали та домішки в режимі реального часу, сприяючи своєчасним втручанням в підтримку якості та безпеку продукції.

Запропоновано оптимізацію процесу подрібнення пшениці із застосуванням штучного інтелекту:

- енергозбереження: зменшення пікового споживання електроенергії, оптимізація налаштування обладнання для економії енергії (енергозбереження).
- стабільна якість: оптимізація налаштування обладнання, якість пшениці, прогнозування якості зберігання пшениці;
- прогнозоване технічне обслуговування: прогнозоване технічне обслуговування, оптимізація налаштування обладнання;
- оптимізація ресурсів: правильно виставлені параметри обладнання для заощадження часу і сировини.

Запропоновано спосіб захисту валкової дробарки від попадання сторонніх домішок. Зазначено, що коли зернова сировина потрапляє на етап подрібнення в ній можуть залишатися сторонні домішки (навіть металеві), які можуть пошкодити робочу поверхню валиків. Валкова дробарка має два паралельні ролики, які розташовані так, що можуть обертатися в протилежних напрямках і розділені зазором. Запропонований метод виявлення домішок в зерні включає наступні етапи: виявлення об'єкта, що не подрібнюється у потоці матеріалу; збільшення зазору між зазначеними роликками на ширину більшу за об'єкт, що не подрібнюється з обмеженою швидкістю подачі зернової сировини; зменшення зазору до зазначеної робочої ширини та повернення до робочої швидкості подачі сировини.

При розширенні зазору сторонні домішки пропускаються через зазор. Ролики не будуть намагатися розчавити об'єкт, що не подрібнюється, і таким чином ролики захищені від неподрібненої сировини, а менша кількість матеріалу пропускається неподрібненою через зазор. Оскільки зазор для подрібнення розширений, неподрібнюваний об'єкт пройде через зазор не пошкодивши валки.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Харчова цінність злаків

Злаки – це їстівне насіння або зерна сімейства злакових. У різних країнах вирощують ряд зернових культур, включаючи жито, овес, ячмінь, кукурудзу, просо і сорго. У всьому світі пшениця і рис є найважливішими культурами. На них припадає понад 50% світового виробництва зернових (рис. 3.1). Всі злаки мають деяку структурну схожість і складаються з ембріона (або зародка), який містить генетичний матеріал для нової рослини і ендосперму, який наповнений крохмальними зернами.

Пшениця є важливою зерною культурою, яка має величезне значення з точки зору продовольства в усьому світі. Пшениця вирощується в різних кліматичних умовах та ґрунтах і пристосовується до різних умов вирощування. Злакова культура відіграє значну роль у формуванні людської цивілізації та залишається невід’ємною частиною нашого повсякденного життя як життєво важливе джерело їжі [13, 14, 16]. Пшениця є переважаючим видом, що культивується в усьому світі і служить основним джерелом борошна для виробництва хліба. Протягом тисячоліть люди широко споживали пшеницю і більше половини населення світу значною мірою залежить від неї як основного джерела білків і вуглеводів.



Рисунок 3.1 – Зернові культури

Пшениця використовується для різних цілей, найпоширенішими з яких є виробництво борошна для хліба, макаронних виробів та інших хлібобулочних виробів. Особливо цільне зерно пшениці є чудовим джерелом складних вуглеводів, харчових волокон, а також різних вітамінів і мінералів, що робить його цінною продовольчою культурою для споживання людиною. Пшеничне

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Гаврилов</i>				<b>Удосконалення обладнання для подрібнення зерна</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						34	8
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

борошно є найбільш широко використовуваною формою переробки зерна пшениці, оскільки більшість виробів на основі борошна виготовляються з його використанням.

Крупи та зернові продукти є важливим джерелом енергії, вуглеводів, білків та клітковини, а також містять низку мікроелементів, таких як вітамін Е, деякі вітаміни групи В, магній та цинк. Регулярне споживання злаків, зокрема цільнозернових, може відігравати певну роль у профілактиці хронічних захворювань, таких як ішемічна хвороба серця, діабету [16]. Злаки можуть сприяти споживанню вітамінів і мінералів, хоча вміст мікроелементів буде залежати від частки присутніх зародків, висівок і ендосперму. Околоплодник, зародковий і алейроновий шар багаті вітамінами і мінералами, тому рафіновані зернові продукти втрачають частину цих поживних речовин. Крупи не містять вітаміну С або вітаміну В12, немає вітаміну А і, крім жовтої кукурудзи, немає бета-каротину. Однак, злаки є важливим джерелом більшості вітамінів групи В, особливо тіаміну, рибофлавіну та ніацину. Крупи також містять помітну кількість вітаміну Е. Злаки мають низький вміст натрію і є хорошим джерелом калію, як і більшість рослинних продуктів. Цільнозернові злаки також містять значну кількість заліза, магнію та цинку, а також нижчий рівень багатьох мікроелементів, наприклад, селену. Наприклад, рис містить найвищий рівень селену серед зернових злаків, забезпечуючи від 10 до 13 мкг на 100 г. Вміст селену в злаках буде змінюватися в залежності від вмісту селену в ґрунті, наприклад, вміст селену в зерні пшениці може коливатися від 0,001 мкг на 100 г до 30 мкг на 100 г.

### 3.2 Методи випробування пшениці на якість

Визначення вмісту вологи є важливим показником якості пшениці або борошна, оскільки вологість необхідно регулювати перед помелом. Вміст вологи 14% зазвичай використовується як середній коефіцієнт. Вологість також є показником лежкості зерна. Пшениця або борошно з високим вмістом вологи (понад 14,5%) приваблюють цвіль, бактерії та комах, які спричиняють псування під час зберігання [11]. Пшениця або борошно з низьким вмістом вологи більш стійке при зберіганні. Вологість може бути показником економічності при помелі. Борошно продається на вагу, зерно купується на вагу, а перед помелом додається вода для досягнення стандартного рівня вологості. Чим більше води додано, тим більшу вагу і прибутковість отримує пшениця. Однак, пшениця із занадто низькою вологістю може вимагати спеціального обладнання або процесів перед помелом, щоб досягти стандартного рівня вологості.

#### 1. Вимірювання вмісту вологи:

- невеликий зразок борошна або меленої пшениці (2-3 грами) зважують і поміщають в посуд для вологості;
- зразок нагрівають при температурі 130<sup>0</sup>С в повітряній печі протягом 1 години;
- зразок охолоджують до кімнатної температури і зважують залишок.

Вміст вологи визначають шляхом нагрівання зразка борошна або меленої

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

пшениці в повітряній печі та порівнюють вагу зразка до і після нагрівання:

- величина втрати ваги – це вміст вологи;
- результати вологості виражаються у відсотках.

Прикладом вологості пшениці є 12%.

Зольність пшениці і борошна має значення для помелу. Мельникам необхідно знати загальний вміст мінеральних речовин у пшениці, щоб досягти бажаного або заданого рівня золи в борошні. Оскільки зола в основному концентрується у висівках то зольність у борошні є показником виходу продукції, яку можна очікувати під час помелу. Зольність також вказує на продуктивність помелу, опосередковано виявляючи кількість забруднення висівками в борошні [11, 15]. Зола в борошні може впливати на колір, надаючи більш темний колір готовим виробам. Деякі спеціальні продукти, що вимагають особливо білого борошна, вимагають низького вмісту золи, тоді як інші продукти, такі як цілнозернове борошно, мають високий вміст золи.

## 2. Вимірювання вмісту мінеральних речовин (золи):

- зразок борошна або меленої пшениці (3-5 грам) зважують і поміщають в зольний стаканчик;
- зразок нагрівають при температурі 585<sup>0</sup>С в зольній печі до тих пір, поки його вага не стане стабільною (зазвичай протягом ночі);
- залишок охолоджують до кімнатної температури, а потім зважують.

Коли зразок спалюють у зольній печі, висока температура витісняє вологу та спалює всі органічні матеріали (крохмаль, білок та олію), залишаючи лише золу. Залишок (зола) складається з негорючих, неорганічних мінералів, які зосереджені в шарі висівок. Результати зольності пшеничної або борошняної золи виражаються у відсотках від початкової маси зразка, наприклад, пшенична зола 1,58% або борошняна зола 0,52%. Пшенична або борошняна зола зазвичай виражається на загальній основі вологості 14%.

## 3. Вимірювання вмісту білка.

Вміст білка є ключовим для покупців пшениці та борошна, оскільки він пов'язаний з багатьма технологічними властивостями, такими як водопоглинання та міцність клейковини. Вміст білка також може бути пов'язаний з атрибутами готового продукту, такими як текстура та зовнішній вигляд. Низький вміст білка бажаний для хрустких або ніжних продуктів, таких як закуски або тістечка. Високий вміст білка бажаний для продуктів з жувальною текстурою, таких як хліб на сковороді та подовий хліб. Пекарі використовують результати вмісту білка, щоб передбачити поглинання води та час розробки тіста для процесів і продуктів, оскільки для досягнення оптимальної консистенції тіста з більшим вмістом білка зазвичай потрібно більше води та довший час перемішування. Застосовується аналізатор білка.

Результати вмісту білка виражаються у відсотках від загальної маси зразка. Наприклад, вміст білка 10% на основі вологості 12% для пшениці або 8,5% на основі вологості 14% для борошна.

Дуже важливо враховувати рівень білка, вибираючи ідеальне борошно для рецепту. Хлібопекарське борошно зазвичай має вміст білка 12-14%, універсальне – 9-12%, кондитерське борошно – 8-9%, а борошно для тортів – близько 7-8%. Ці відсотки білка є показником потенціалу клейковини будь-

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

якого борошна. Клейковина, що утворюється при змішуванні пшеничного борошна з водою, відповідає за структуру і текстуру хлібобулочних виробів і хліба. Чим вищий вміст білка, тим більше клейковини потенційно може розвинути тісто. Це не означає, що борошно з високим вмістом білка краще, ніж низькобілкове. Різні види борошна краще підходять для різних цілей.

#### 4. Вимірювання кольору борошна.

Колір борошна часто впливає на колір готового продукту і тому є однією з багатьох специфікацій борошна, необхідних кінцевим споживачам. Борошно яскраво-білого кольору більш бажане для багатьох виробів. Колір борошна визначають шляхом вимірювання білизни зразка борошна хромометром. Результати кольору борошна отримують у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі наступної шкали оцінювання:

Значення  $L^*$  білизна (100 білий, 0 чорний).

Значення  $a^*$  позитивні значення +60 (червоний колір), негативні значення – 60 (зелений колір).

Значення  $b^*$  позитивні значення +60 (жовтий колір), негативні значення – 60 (синій колір).

Наприклад, значення кольору типового білого борошна:  $L^*$  значення +92,5 білизни,  $a^*$  значення – 2,4 зеленого кольору,  $b^*$  значення +6,9 жовтого кольору.

#### 5. Вимірювання вмісту вологої клейковини.

Тест на вологу клейковину надає інформацію про кількість і оцінює якість клейковини в зразках пшениці або борошна. Клейковина відповідає за характеристики пружності і розтяжності борошняного тіста. Волога клейковина відображає вміст білка і є загальною специфікацією борошна, необхідною кінцевим споживачам у харчовій промисловості.

– 10-грамовий зразок борошна або меленої пшениці зважують і поміщають у глутоматичну мийну камеру поверх поліефірного сита;

– зразок перемішують і промивають 2% розчином солі протягом 5 хвилин;

– волога клейковина видаляється з мийної камери, поміщається в тримач центрифуги і піддається центрифугуванню;

– залишки, що утримуються зверху на екрані та через сито, зважуються.

Вміст вологої клейковини визначають шляхом промивання зразка борошна або меленої пшениці розчином солі для видалення крохмалю та інших розчинних речовин зі зразка. Залишок, що залишився після промивання – волога клейковина. Під час центрифугування клейковина продавлюється через сито. Відсоток клейковини, що залишається на ситі, визначається як індекс клейковини, який є показником міцності клейковини. Високий індекс клейковини вказує на сильну клейковину [11]. Результати вмісту вологої клейковини виражаються у відсотках на основі вологості 14%. Наприклад, 35% для пшениці з високим вмістом білка, сильною клейковиною або 23% для пшениці з низьким вмістом білка, слабкою клейковиною.

#### 6. Вимірювання водопоглинання борошна і міцність тіста.

Для вимірювання водопоглинання борошна і міцності тіста застосовується тест фарінографа, який є одним із найбільш часто

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуваних тестів якості борошна у світі. Результати фарінографа також корисні для прогнозування характеристик текстури готового виробу. Наприклад, сильні властивості замісу тіста пов'язані з твердою текстурою продукту. Тест фарінографа вимірює і реєструє стійкість тіста до замішування лопатями:

– кількості води, необхідної для оптимальної переробки борошна на кінцеві продукти. Поглинання виражається у відсотках;

– піковий час вказує на час приготування тіста, починаючи з моменту додавання води, поки тісто не досягне максимальної консистенції. Це дає уявлення про оптимальний час змішування в стандартизованих умовах. Піковий час виражається в хвилинах.

Борошно зі слабкою клейковиною має менше водопоглинання і менший час стабільності, ніж борошно з сильною клейковиною.

#### 7. Дослідження пшениці на міцність.

Міцнісні властивості зерна мають значний вплив на енергоємність подрібнювачів. Під час подрібнення зерна в сировині виникає складний стан напружень, при цьому переважають напруги зсуву і стиснення. Визначення сил, що викликають розтріскування зерна (розрив), можна розглядати як перший крок для визначення потреби в енергії у процесі подрібнення зерна. Можна виділити два випадки: статичне здавлювання зерен і зрізання зерен. У разі статичного стиснення, для визначення сил і напруги і, отже, роботи (енергії), необхідної для дроблення одного зерна, а потім більше десятка зерен, можна провести випробування на статичне стиснення. Експериментальним шляхом можуть бути визначені діапазони ймовірних сил, що руйнують зерно, а в подальшому і енергетичні діапазони руйнування його структури [4]. Фізико-механічні властивості зерен багато в чому залежать від специфіки переробки зерна і енергоємності технологічної операції, наприклад, помелу, сушіння, гранулювання тощо.

З точки зору енергопопиту переробки зернової сировини, зокрема помелу, ключову роль відіграє міцність зерна. Розглядаючи процес шліфування, наприклад, за допомогою шліфувальних машин або валкових млинів, це навантаження на стиск, яке переважає в подрібненому матеріалі, тоді як постійна деформація (фрагментація) відбувається після перевищення значення навантаження, що відповідає межі міцності на стиск. Міцність тісно пов'язана з потужністю, яка необхідна для виникнення деформації і поля поперечного перерізу шліфованого матеріалу (отже, залежить від його геометричних особливостей). Таким чином, подрібнення зернової сировини відбувається при прикладанні відповідних зусиль, які в системі шліфувальних машин, валкових млинів, виконуються обертальним рухом валків. У такому випадку сила є прямим впливом крутних моментів, які, в свою чергу, пов'язані з потужністю пристроїв, що впливають на енергоємність переробки зерна. Чим вища сила буде прикладена, тим вища потужність, тобто енергія машини, потрібна.

Міцність зерен залежить від типу матеріалу, особливо від його внутрішньої структури (пористості), вологості, компонентів зерна, біологічних властивостей. Навіть у межах одного виду зерна можна спостерігати значне коливання сировини за розмірами, фізичними та міцнісними властивостями, які

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

можуть бути зумовлені, наприклад, способом вирощування. Помічено також, що разом зі збільшенням вологості зростає і витрата енергії. Внутрішня будова зернового ендосперму впливає на міцнісні властивості і енергію, яка необхідна для подрібнення. Ендосперми, які характеризуються більш високою склоподібністю, зазвичай твердіші. Таким чином, для постійної деформації необхідно використовувати більш високі сили, що, в свою чергу, призводить до підвищеної потреби в енергії в порівнянні з сировиною у яких ендосперм менш склоподібний [5, 6]. Склоподібність ендосперму також впливає на ефективність фрагментації матеріалу і розмір частинок після поділу – чим вище склоподібність, тим легше відокремити ендосперм від висівок і зерно розпадається на більш дрібні частини. Випробування фізичних властивостей і енергії помелу, які проведені для зерен пшениці, також показали, що енергія помелу пропорційна масі подрібненого матеріалу.

### 3.3 Оцінка якості борошна за допомогою вимірювання кольору

Борошно є одним із найбільш часто використовуваних харчових інгредієнтів для багатьох різних продуктів, від хліба та печива до локшини. Борошно, перемелене з пшениці, дає багато видів і його якість часто асоціюється з кольором. Колір борошна можна оцінити якщо виміряти його яскравість і жовтизну. На яскравість впливає вміст висівок і процес помелу. За жовтизну він пов'язаний з каротиноїдними пігментами пшениці.

Традиційно колір борошна оцінюють візуально. Цей метод є суб'єктивним, оскільки сприйняття кольору відрізняється у різних людей, і навколишній колір і умови освітлення також можуть впливати на колірне судження. При вимірюванні кольору борошна акцент слід робити на координатах  $L^*$  і  $b^*$  в колірному просторі, а координата  $L^*$  є мірою освітленості, де 0 – чорний, а 100 – білий. Координата  $b^*$  представляє діапазон кольорів від синього до жовтого, а позитивне значення  $b^*$  вказує на жовтизну. У процесі вимірювання зразки борошна повинні бути однаковими для всіх вимірювань (наприклад, однаковий розмір зразка, контейнер, застосований тиск тощо).

Було досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору CM-200S – це компактний, простий у використанні триколірний колориметр, спеціально розроблений для вимірювання колірної різниці між двома кольорами (рис. 3.2). Технічні характеристики вимірювача кольору наведено в таблиці 3.1.

Колір борошна часто впливає на колір готового продукту і тому є однією з багатьох специфікацій борошна який є необхідний кінцевим споживачам. Борошно яскраво-білого кольору більш бажане для багатьох виробів. Колір борошна визначають шляхом вимірювання білизни зразка борошна. Результати кольору трьох сортів борошна (рис. 3.2, рис. 3.3, рис. 3.4) було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі наступної шкали оцінювання:

Значення  $L^*$  білизна (100 білий, 0 чорний).

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Значення  $a^*$  позитивні значення +60 (червоний колір), негативні значення – 60 (зелений колір).

Значення  $b^*$  позитивні значення +60 (жовтий колір), негативні значення – 60 (синій колір).

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики вимірювача кольору [18]

Площа вимірювання	Різниця кольорів: ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) Колірний простір: ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ )
Діапазон вимірювання	$L^*$ від 0 до 100
Стабільність	Стандартне відхилення в межах $E^*$ 0,5 (середнє значення вимірювання стандартної білої пластини)
Габарити пристрою	140x73x35 мм
Вага пристрою	220 г з акумулятором



Таблиця 3.2 – Вимірювача кольору



Біле борошно: значення  $L^*$  +92,5 білизни, значення  $a^*$  – 2,4 зеленого кольору, значення  $b^*$  +6,9 жовтого кольору.

Рисунок 3.2 – Біле борошно (універсальне)





Кукурудзяне борошно: значення  $L^*$  +72 білизни, значення  $a^*$  – 6,5 червоного кольору, значення  $b^*$  +54 жовтого кольору.

Рисунок 3.3 – Кукурудзяне борошно



Житнє борошно: значення  $L^*$  +63 білизни, значення  $a^*$  – 6,8 червоного кольору, значення  $b^*$  +22,1 жовтого кольору.

Рисунок 3.4 – Житнє борошно

На основі вище зазначеного можна вважати, що у всьому світі пшениця і рис є найважливішими культурами, на них припадає понад 50% світового виробництва зернових. Пшениця є важливою зерновою культурою, яка має величезне значення з точки зору продовольства в усьому світі. Пшениця є переважаючим видом, що культивується в усьому світі і служить основним джерелом борошна для виробництва хліба.

Розглянуто методи випробування пшениці на якість, а саме: вміст вологи, вміст мінеральних речовин, вмісту білка тощо.

Традиційно колір борошна оцінюють візуально. Метод є суб'єктивним, оскільки сприйняття кольору відрізняється у різних людей, і навколишній колір і умови освітлення також можуть впливати на колірне судження. Було досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору: біле, кукурудзяне, житнє. Результати кольору трьох сортів борошна було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі стандартної шкали оцінювання.

Результати дослідження: біле борошно ( $L^*$  +92,5 білизни,  $a^*$  – 2,4 зеленого кольору,  $b^*$  +6,9 жовтого кольору); кукурудзяне борошно ( $L^*$  +72 білизни,  $a^*$  – 6,5 червоного кольору,  $b^*$  +54 жовтого кольору); житнє борошно ( $L^*$  +63 білизни,  $a^*$  – 6,8 червоного кольору,  $b^*$  +22,1 жовтого кольору).

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню обладнання для подрібнення зерна. У роботі зазначено, що пшениця є важливою зерновою культурою, яка має величезне значення з точки зору продовольства в усьому світі. Пшениця є переважаючим видом, що культивується в усьому світі і служить основним джерелом борошна для виробництва хліба. Протягом тисячоліть люди широко споживали пшеницю і більше половини населення світу значною мірою залежить від неї, як основного джерела білків і вуглеводів.

Перший розділ присвячено удосконаленню обладнання для отримання борошна. Зазначено, що основною технологічною операцією переробки зерна є помел. Подрібнення зерна відбувається шляхом застосування механічних сил, які змінюють структуру зерна шляхом подолання внутрішніх сил та після чого стан твердої речовини змінюється на борошно. Переробка зернових є важливою частиною ланцюжка виробництва харчових продуктів. Помел являє собою основну процедуру в круп'яній промисловості та класифікується на дві категорії: суха та мокра. Кожна категорія має свої особливості.

Помел пшениці включає кілька етапів: очищення, кондиціонування, подрібнення та просіювання. Кожен етап визначає вихід і властивості борошна. Існує багато технік фрезерування, в яких використовуються різні шліфувальні та просіювальні машини. Вальцьовий помел є найбільш поширеним способом виробництва пшеничного борошна. Цей процес полягає в поступовому відділенні ендосперму від висівок і зародка з подальшим поступовим зменшенням розміру частинок ендосперму, що супроводжується просіюванням між етапами подрібнення.

Другий розділ присвячено удосконаленню обладнання для отримання борошна. Зазначено, що алгоритми машинного навчання широко використовуються в помелі пшениці для прогнозного моделювання, оптимізації процесів і контролю якості. Аналізуючи дані про властивості зерна, параметри помелу та характеристики продукту, моделі машинного навчання можуть виявляти закономірності та кореляції для оптимізації налаштувань помелу та прогнозування результатів з більшою точністю. Методи штучного інтелекту є перспективними у процесі аналізу зображень, дозволяють автоматизувати перевірку та класифікацію зерен пшениці, розпізнати забруднювачі та частинки борошна. Крім того, системи на основі штучного інтелекту оснащені можливостями комп'ютерного зору, які можуть виявляти дефекти, сторонні матеріали та домішки в режимі реального часу, сприяючи своєчасним втручанням в підтримку якості та безпеки продукції.

Запропоновано оптимізацію процесу подрібнення пшениці із застосуванням штучного інтелекту: енергозбереження (зменшення пікового споживання електроенергії), оптимізація налаштування обладнання для економії

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Гаврилов</i>				<b>Удосконалення обладнання для подрібнення зерна</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						42	2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

енергії (енергозбереження); стабільна якість (оптимізація налаштування обладнання, якість пшениці, прогнозування якості зберігання пшениці); прогнозоване технічне обслуговування (прогнозоване технічне обслуговування, оптимізація налаштування обладнання); оптимізація ресурсів (правильно виставлені параметри обладнання для заощадження часу і сировини).

Розглянуто основні параметри валкової дробарки для отримання борошна: розмір валків (визначає пропускну здатність обладнання, оскільки більші валки забезпечують більшу пропускну здатність); кут затискання (валки більшого діаметру зменшують кут затискання між валками і дозволяють валкам ефективніше захоплювати сировину і тягнути її вниз через валки); швидкість кочення (є однією з найбільших причин, чому валкові дробарки виробляють помел з меншим стандартним відхиленням, ніж молоткові дробарки); розміщення валків (кожна пара валків повинна бути розміщена паралельно, тобто, на одному рівні один з одним у горизонтальній площині); баланс між парами валків (необхідно балансувати роботу, що виконується між парами валків, щоб уникнути передчасного зносу однієї з пар валків).

Запропоновано спосіб захисту валкової дробарки від попадання сторонніх домішок. Коли зернова сировина потрапляє на етап подрібнення в ній можуть залишатися сторонні домішки (навіть металеві), які можуть пошкодити робочу поверхню валиків. Валкова дробарка має два паралельні ролики, які розташовані так, що вони обертаються в протилежних напрямках і розділені зазором. Метод виявлення домішок в зерні включає наступні етапи: виявлення об'єкта, що не подрібнюється у потоці матеріалу; збільшення зазору між зазначеними роликами на ширину більшу за об'єкт, що не подрібнюється з обмеженою швидкістю подачі зернової сировини; зменшення зазору до зазначеної робочої ширини та повернення до робочої швидкості подачі сировини.

При розширенні зазору сторонні домішки пропускаються через зазор. Ролики не будуть намагатися розчавити об'єкт, що не подрібнюється, і таким чином, ролики захищені від неподрібненої сировини, а менша кількість матеріалу пропускається неподрібненою через зазор. Оскільки зазор для подрібнення розширений, неподрібнюваний об'єкт пройде через зазор не пошкодивши валки.

У третьому розділі здійснено оцінку якості борошна за допомогою вимірювання кольору. Розглянуто методи випробування пшениці на якість, а саме: вміст вологи, вміст мінеральних речовин, вмісту білка тощо. Традиційно колір борошна оцінюють візуально. Метод є суб'єктивним, оскільки сприйняття кольору відрізняється у різних людей, і навколишній колір і умови освітлення також можуть впливати на колірне судження.

Досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору: біле, кукурудзяне, житнє. Результати кольору трьох сортів борошна було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі стандартної шкали оцінювання. Інтерпретовано результати дослідження: біле борошно ( $L^* +92,5$  білизни,  $a^* - 2,4$  зеленого кольору,  $b^* +6,9$  жовтого кольору); кукурудзяне борошно ( $L^* +72$  білизни,  $a^* - 6,5$  червоного кольору,  $b^* +54$  жовтого кольору); житнє борошно ( $L^* +63$  білизни,  $a^* - 6,8$  червоного кольору,  $b^* +22,1$  жовтого кольору).

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ</b>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wheat: varieties and characteristics. URL: <https://www.britannica.com/technology/cereal-processing/Wheat-varieties-and-characteristics>.
2. New technologies in cereal processing and their impact on the physical properties of cereal foods. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/21/4008>.
3. Обладнання для очищення, переробки та контролю якості зерна. Режим доступу: <https://olis.com.ua/oborudovanie/>.
4. Mechanical and processing properties of rice grains. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/552>.
5. Дослідження режимів подрібнення пшениці в цілозерне борошно / О.С. Волошенко, Н.В. Хоренжий, А.О. Донець, К.С. Деткова // Зб. тез доп. 80-ї наук. конф. викл. акад., Одеса, 7–8 трав. 2020 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій ; під заг. ред. Б. В. Єгорова. Одеса : ОНАХТ, 2020. С. 11–12.
6. Мерко І.Т., Моргун В.О. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса : Друк, 2021. 348 с.
7. Grzegorz Szala, Bogdan Ligaj. Obliczanie zapotrzebowania energii w procesach rozdrabniania materiałów ziarnistych na przykładzie ziaren zbóż. Acta mechanica et automatica. 2009. Vol. 3. P. 97–99.
8. Nutritional aspects of cereals. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1467-3010.2004.00418.x>.
9. Швець В.В. Технологія виробництва хлібобулочних виробів. Харків: Перші наукові кроки, 2022. 117 с.
10. Обладнання для переробки зерна. Режим доступу: <https://simo.com.ua/ua/public/pererabotka-zernovih-kultur-etapi-neobhodimoe-oborudovanie>.
11. The latest innovations in wheat flour milling: a review. URL: <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/agriceng-2023-0011>.
12. AGGREGATED COMPLEXES FOR RICE GRAIN PROCESSING. URL: <https://www.researchgate.net/publication/342980044>.
13. Злаки і їх корисні елементи. Режим доступу: <https://rice.ua/zdorovya-ta-krasa/zdorove-harchuvannya/korist-dlya-zdorovya/zlaki-i-yih-korisni-elementi>.
14. Чим корисні крупи? Режим доступу: <https://rice.ua/zdorovya-ta-krasa/zdorove-harchuvannya/korist-dlya-zdorovya/chym-korysni-krupy>.
15. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. Режим доступу: [https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosl\\_2023.pdf](https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosl_2023.pdf)
16. 22 Types of Whole Grains and Their Nutritional Values. URL: <https://www.nutritionadvance.com/types-of-whole-grains/>.
17. Wheat and flour testing methods. URL: <https://www.ndsu.edu/faculty/simsek/resources>.
18. Колориметр WALCOM CM-200S. Режим доступу <https://simvolt.ua/kolorimetr-vimryuvach-koloru-walcom-cm-200s.html/>.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

19. Future trends in organic flour milling: the role of AI. URL: <https://www.aimspress.com/aimspress-data/aimsagri/2023/1/PDF/agrfood-08-01-003.pdf>.

20. Технологічна схема виробництва борошна: технологія і способи виробництва борошна. Режим доступу: <https://analit-pribor.com.ua/uk/developments/tehnologiya-i-sposoby-vyrobnyctva-boroshna/>.

21. Формування якості борошна в процесі виробництва. Режим доступу: [https://pidru4niki.com/13910726/tovaroznavstvo/formuvannya\\_yakosti\\_boroshna\\_pr\\_otsesi\\_virobnitstva#google\\_vignette](https://pidru4niki.com/13910726/tovaroznavstvo/formuvannya_yakosti_boroshna_pr_otsesi_virobnitstva#google_vignette).

22. Технологія розмелювання і сортування зерна та зернових продуктів. Режим доступу: <https://foodtechnology.pro/sposoby-zberigannya-zernovyh-mas/tehnologiya-ochyshhennya-zerna/tehnologiya-rozmelyuvannya-i-sortuvannya-zerna-ta-zernovyh-produktiv>

23. From grain to flour: unleashing the power of artificial intelligence in wheat milling. URL: <https://millermagazine.com/blog/from-grain-to-flour-unleashing-the-power-of-artificial-intelligence-in-wheat-milling-5585>.

24. Movement and transformation of grain in two-stage crusher. URL: <https://www.tf.lbtu.lv/conference/proceedings2015/Papers/003>.

25. Hammermill and roll crusher maintenance and operation. URL: <https://www.processingmagazine.com/mixing-blending-size-reduction/mills-granulators-crushers/article/53061571/hammermill-and-roll-crusher-maintenance-and-operation>

26. Roller crusher, and method of protecting a roller crusher from uncrushable objects. URL: <https://patents.google.com/patent/EP2653233A1/en>.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45