

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

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробної і харчової
промисловості»
Хорольський В.П.
« ____ » _____ 2025 року

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

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОМЕЛУ ГРАНУЛЬОВАНОЇ
СИРОВИНИ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КАВОМАШИНИ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти _____

Коваль Єгор Ігорович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Керівник:

зав.каф., к.т.н., доцент, Омельченко О.В.

(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
2025

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

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь магістр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробної і харчової промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробної і харчової промисловості»

Хорольський В.П.

« » 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ковалю Єгору Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження процесу помелу гранульованої сировини та удосконалення кавомашини»

Керівник роботи к.т.н., доцент, Омельченко О.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від «30» травня 2025 р. № 32-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «22» листопада 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.

2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.

2. Аналіз обладнання для помелу кавового зерна.

3. Удосконалення кавомашини для отримання подрібнених частинок однакових за розміром.

4. Аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.
6. Список використаних джерел.

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

Конструкційні особливості жорнових кавомолок.

Схема промислової кавомолки.

Система автоматичного регулювання процесу подрібнення кавових зерен в кавомашині

Дослідження розміру помелу на екстракцію кави.

6. Дата видачі завдання «10» червня 2025 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	4.09-20.09.2025 р.
2	Аналіз обладнання для помелу кавового зерна	21.09-18.10.2025 р.
3	Удосконалення кавомашини для отримання подрібнених частинок однакових за розміром	19.10-08.11.2025 р.
4	Аналіз результатів досліджень	09.11-15.11.2025 р.
5	Висновки по роботі	16.11-22.11.2025 р.
6	Оформлення роботи і подання до захисту	23.11-26.11.2025 р.

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Коваль Є.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Омельченко О.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура магістерської роботи. Повний обсяг магістерської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 46 сторінок. Робота містить: 4 таблиці, 20 рисунків. Список використаних джерел складається з 29 найменувань.

Об'єкт роботи – обладнання для подрібнення кавових зерен, а саме жорнові кавомолки та кавомашини з функцією подрібнення.

Предмет роботи – процес помелу кавового зерна.

Мета роботи – удосконалення кавомашини на основі засобів автоматизації.

У роботі зазначено, що процес помелу кавових зерен є критично важливим етапом, який безпосередньо впливає на смак і якість кінцевого заварювання. Досягнення рівномірності розміру помелу має важливе значення, оскільки це впливає на те, як кавова гуща витягується під час заварювання.

На основі аналізу, було зазначено, що досягнення однорідного розміру помелу для конкретного способу заварювання має важливе значення при приготуванні кави. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у цьому процесі, оскільки він впливає на те, яка частина поверхні кави піддається впливу води. Чим менший помел, тим більша площа поверхні доступна для екстракції, тоді як більш грубіший помел має меншу площу поверхні, що призводить до повільнішої екстракції кави.

Вважається за доцільне змінити розмір та профіль валків для подрібнення кави: перша пара валків матиме більший розмір та більший профіль подрібнення, а друга пара валків менший розмір та менший профіль подрібнення кавового зерна.

Запропоновано три складові підсистеми керування кавомашини з вхідними компонентами: гідравлічна, екстракційна, подрібнювальна системи. На основі ґрунтовного аналізу роботи кожної з підсистем здійснено удосконалення системи автоматичного регулювання процесу подрібнення кавових зерен в кавомашині задля отримання подрібнених частинок однакових за розміром з інтеграцією сервомеханізму, який забезпечує точний контроль над процесом помелу.

Досліджено вплив розміру помелу на якість екстракції кави. Для цього за допомогою відповідних налаштувань подрібнювача для кави було отримано різні розміри помелу, а саме дрібний помел, середньо-дрібний помел, середній помел та грубий помел. Результати показали, що час як і ступінь подрібнення кавових зерен має вплив на якість кави.

Результати свідчать, що недостатня екстракція при грубому помелі та малому часу заварювання. Збалансована екстракція при середньому помелі та середньому часі заварювання. Надмірна екстракція при тонкому подрібненні при збільшеному часі заварювання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: подрібнення, кавомолка, кавомашина, однорідність помелу, засоби автоматизації, сенсорні технології, серводвигун, автоматичне регулювання помелу, кава, екстракція.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОМЕЛУ КАВОВОГО ЗЕРНА	7
1.1 Технологічний процес обробки кави	7
1.2 Види помелу кавових зерен	11
1.3 Інновації в технології помелу кави	14
1.4 Обладнання для помелу кавових зерен	15
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КАВОМАШИНИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПОДРІБНЕНИХ ЧАСТИНОК ОДНАКОВИХ ЗА РОЗМІРОМ	21
2.1 Механіка помелу кавових зерен	21
2.2 Удосконалення кавомашини за допомогою засобів автоматизації	25
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
3.1 Вплив методу подрібнення на екстракцію кави	32
3.2 Дослідження розміру помелу на екстракцію кави	35
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	47

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
<i>Розроб.</i>		<i>Коваль</i>			Дослідження процесу помелу гранульованої сировини та удосконалення кавомашини	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					5	1
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що процес помелу кавових зерен є критично важливим етапом, який безпосередньо впливає на смак і якість кінцевого заварювання. Досягнення рівномірності розміру помелу має важливе значення, оскільки це впливає на те, як кавова гуща витягується під час заварювання.

Мета та задачі дослідження. Метою магістерської роботи є дослідження процесу помелу гранульованої сировини та удосконалення кавомашини на основі засобів автоматизації.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що досягнення однорідного розміру помелу для конкретного способу заварювання має важливе значення при приготуванні кави. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у цьому процесі, оскільки він впливає на те, яка частина поверхні кави піддається впливу води. Чим менший помел, тим більша площа поверхні доступна для екстракції, тоді як більш грубіший помел має меншу площу поверхні, що призводить до повільнішої екстракції кави.

Вважається за доцільне змінити розмір та профіль валків для подрібнення кави: перша пара валків матиме більший розмір та більший профіль подрібнення, а друга пара валків менший розмір та менший профіль подрібнення кавового зерна.

Запропоновано три складові підсистеми керування кавомашини з входними компонентами: гідравлічна, екстракційна, подрібнювальна системи. На основі ґрунтовного аналізу роботи кожної з підсистем здійснено удосконалення системи автоматичного регулювання процесу подрібнення кавових зерен в кавомашині задля отримання подрібнених частинок однакових за розміром з інтеграцією сервомеханізму, який забезпечує точний контроль над процесом помелу.

Досліджено вплив розміру помелу на якість екстракції кави. Для цього за допомогою відповідних налаштувань подрібнювача для кави було отримано різні розміри помелу, а саме дрібний помел, середньо-дрібний помел, середній помел та грубий помел. Результати показали, що час як і ступінь подрібнення кавових зерен має вплив на якість кави.

Результати свідчать, що недостатня екстракція при грубому помелі та малому часу заварювання (кава має яскраву кислотність, може підкреслити певні унікальні смаки в деяких сортах кави). Збалансована екстракція при середньому помелі та середньому часі заварювання (кава має солодкий, складний, збалансований смак, приємний аромат). Надмірна екстракція при тонкому подрібненні при збільшеному часі заварювання (кава іноді може виявляти глибші та темніші смаки в певних темних обсмаженнях).

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Коваль</i>				Дослідження процесу помелу гранульованої сировини та удосконалення кавомашини	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						6	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОМЕЛУ КАВОВОГО ЗЕРНА

1.1 Технологічний процес обробки кави

Процес помелу кавових зерен є критично важливим етапом, який безпосередньо впливає на смак і якість кінцевого заварювання. Досягнення рівномірності розміру помелу має важливе значення, оскільки це впливає на те, як кавова гуща витягується під час заварювання. Серед різних методів помелу жорнові кавомолки часто вважаються найкращими завдяки своїй здатності створювати стабільні розміри помелу, що робить їх ідеальними для любителів кави. Приготування кави – це природний продукт, який отриманий з насіння кавових зерен. Перетворення кавового зерна на чашку кави можна поділити на три основні процеси: обсмажування, подрібнення та заварювання. Кожен з цих процесів має великий вплив на кінцевий смак кави.

Мета обсмаження полягає в тому, щоб перетворити зелені кавові зерна на коричневі зерна, що використовуються для приготування кави. Зелені кавові зерна не мають жодних характеристик обсмажених зерен. Всі характеристики та смаки «заховані» всередині зерен, що робить їх непридатними для приготування кави. Смаження викликає кілька хімічних реакцій, змінюючи хімічні та фізичні властивості зерна і розкриваючи ці смаки. Смаження визначає характеристики зерна, включаючи те, як воно поводить себе під час подрібнення [1, 5]. Смаження полягає у обробці зелених кавових зерен при високій температурі. Результатом цієї операції є обробка зелених зерен, які мають тверду текстуру і досить слабкий, зеленуватий (не дуже привабливий) аромат, які перетворюються на темні, смажені зерна з високо оціненим і багатим ароматом. Отже, смаження можна підсумувати як процес, що вносить потрібні зміни, які роблять каву придатною для подальшого подрібнення і екстракції.

З інженерної точки зору, обсмаження є складним процесом, який включає в себе теплові та масові переходи, які пов'язані з хімічними реакціями та структурною механікою. Залежно від бажаних характеристик кави та обладнання для обсмаження, як правило, застосовуються температури від 160-240°C та час обробки від 8 до 20 хвилин.

Розглянемо етапи обсмаження [1]:

1. Сушіння при температурі 20-130°C: початкова вологість зелених зерен видаляється і колір бобів починає змінюватися з зеленого на світло-жовтий або коричневий;

2. Хімічні реакції (130-220°C): основні реакції, які ведуть до розвитку смаку та аромату, відбуваються в цьому діапазоні температур. Механічні

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Коваль</i>			Дослідження процесу помелу гранульованої сировини та удосконалення кавомашини	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					7	14
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

властивості кавових зерен також суттєво змінюються, оскільки їх об'єм збільшується і вони стають крихкими.

Перед початком процесу обсмаження кавові зерна очищають. Це необхідно, оскільки каміння може пошкодити обладнання, таке як млин. Процес обжарювання полягає в підігріванні зерен до певної температури протягом певного часу, після чого їх швидко охолоджують. Конкретна комбінація часу та температури, яка також називається «профілем обжарювання», визначає смаки, що вивільняються під час процесу заварювання. Хоча характеристики профілю смаку визначаються самими кавовими зернами, вони також суттєво залежать від профілю обжарювання, оскільки підкреслюють певні смакові характеристики [1, 8]. Різні кавові зерна, як правило, мають різні профілі і навіть різне обладнання для обжарювання. Найважливішим фактором якості обсмаженої кави є якість кавових зерен. Іншими важливими факторами є температура процесу, вологість гарячого повітря та співвідношення повітря до кавових зерен. Загалом, обсмаження кави можна класифікувати на чотири категорії: світле, середнє, середньо-темне та темне обсмаження.

Перший етап процесу приготування кави полягає в дуже тонкому подрібненні зерен, після чого отриманий кавовий порошок транспортується до кавомашини. Кавовий порошок ущільнюється і попереднє зволоження забезпечує зволоження верхнього шару порошку. Це сприяє рівномірному проникненню гарячої води в порошок. Після цього гаряча вода під тиском протискається через ущільнений порошок.

Подрібнення кавового зерна – це другий процес перетворення кавового зерна на каву. Бажано подрібнювати зерна безпосередньо перед приготуванням, оскільки каву найкраще зберігати у вигляді зерен. Протягом 5 хвилин після помелу втрачається значна кількість аромомолекул. Доступні кавомашини з механізмом для зварювання кави використовують помел, щоб споживач міг використовувати свіжі зерна для своєї кави, що зменшує інтервал часу між помелом і приготуванням. Усі доступні кавомашини з механізмом для зварювання кави використовують жорновий помел [1, 5]. Кавомолка з жорнами використовує 2 кільця з профілем, щоб подрібнити кавові зерна на менші частинки. Існує безліч різних кавомолок з жорнами, найважливішими характеристиками кавомолки з жорнами є:

- плаский або конічний дизайн;
- швидкість обертання;
- матеріал;
- діаметр;
- регулювання розміру помелу.

Як пласкі так і конічні жорнові кавомолки використовуються в домашніх і комерційних умовах, оскільки вони здатні забезпечити однорідний і якісний помел. Пласкі жорнові кавомолки мають два пласких кільця, які розташовані паралельно одне одному, тоді як конічні використовують два конічних кільця, які розташовані одне всередині іншого. Обидва типи кавомашин утримують одне кільце нерухомим, поки інше обертається за допомогою мотора. Процес подрібнення умовно поділяється на три стадії:

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Зерна подрібнюються на менші частини.
2. Менші частини подрібнюються до грубих частинок.
3. Грубі частинки подрібнюються до дрібних частинок.

Робоча швидкість – це швидкість з якою обертається кільце. Існують жорнові кавомолки з високою та низькою швидкістю, причому з низькою швидкістю можна поділити на редуційні подрібнювачі з прямим приводом. Жорнові кавомолки здатні регулювати розмір помелу, що може бути досягнуто двома різними способами. Це може бути або покрокове регулювання, що є найпоширенішим, або безступеневе регулювання [1, 5, 17]. Плaskі жорнові кавомолки складаються з двох плaskих паралельних жорен, які подрібнюють кавові зерна горизонтально (рис. 1.1). Плaskі шліфувальні машини зазвичай забезпечують більш рівномірні розміри помелу порівняно з конічними подрібнювальними машинами. Однак вони часто вимагають вищих швидкостей двигуна, що призводить до більшого вироблення тепла, що може погіршити смак кави. Обладнання використовує два кільця з ріжучим профілем, які розміщені паралельно один до одного, щоб перетворити зерна на кавовий порошок.



Рисунок 1.1 – Подрібнювальні машини з плaskими жорнами

Схема та візуалізація процесу подрібнення для плaskих жорнових кавомолок, які реалізують три стадії в межах кілець, що реалізують три різні стадії процесу подрібнення представлено на рисунку 1.2.

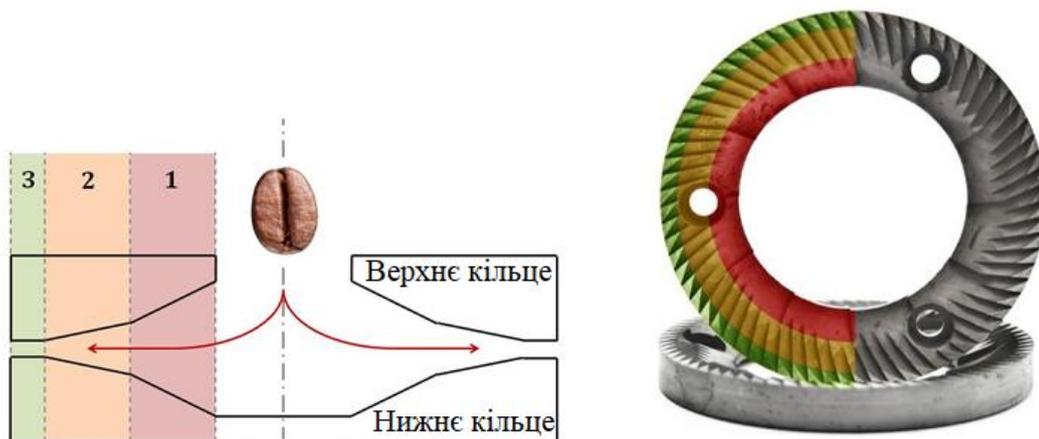


Рисунок 1.2 – Етапи подрібнення кавових зерен

Кавові зерна подаються в обидва кільця, після чого кава протискається через систему. Це відбувається завдяки конструкції ріжучого профілю і центробіжній силі, яка створена обертаним кільцем. Існує два різних види

пласких жорнових подрібнювачів у яких реалізація першого етапу процесу подрібнення відрізняється. Перший вид реалізує всі три етапи процесу подрібнення всередині кілець. Другий вид використовує конічну частину в центрі кілець для реалізації першого етапу, після чого останні два етапи знову реалізуються всередині двох кілець [1, 5, 17]. Конічні жорнові кавомолки використовують два конічні кільця для перетворення зерен у кавовий порошок. Зерна подаються в два кільця і завдяки силі тяжіння кава просувається через систему (рис. 1.3). Машини мають два конусоподібні бури, один з яких залишається нерухомим, а інший обертається. Ця конструкція використовує силу тяжіння, щоб допомогти переміщати кавові зерна через механізм помелу. Завдяки своїй формі конічні подрібнювальні машини можуть ефективно працювати на низьких швидкостях, що зменшує виділення тепла. Нижній нагрів має вирішальне значення для збереження природних смаків і ароматів кави, оскільки надлишок тепла може негативно вплинути на профіль кави.



Рисунок 1.3 – Подрібнювальні машини з конічними жорнами

Схема та візуалізація процесу подрібнення кавових зерен в конічній жорновій кавомолці, яка показує три різні етапи процесу подрібнення зображена на рисунку 1.4.

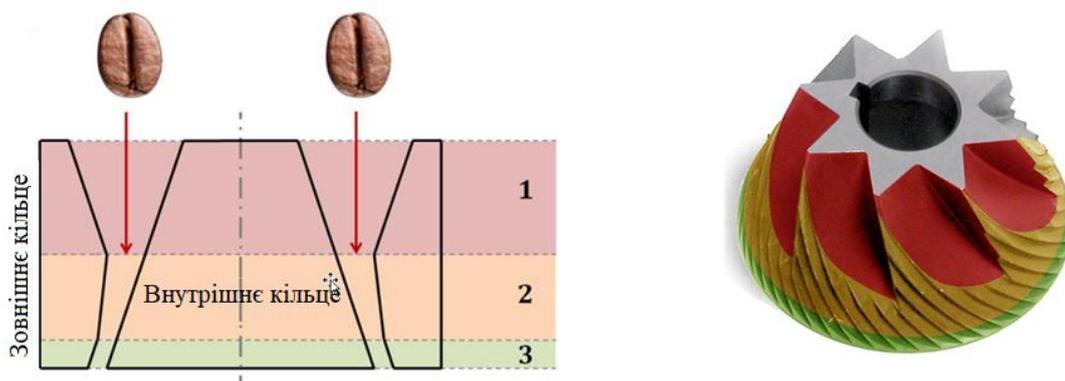


Рисунок 1.4 – Етапи подрібнення кавових зерен

Постійність розміру помелу має фундаментальне значення для збалансованого вилучення смаку. Неоднакові розміри частинок можуть призвести до надмірного вилучення менших частинок, що призводить до гіркоти і недостатньої екстракції більших, що спричиняє кислинку.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.2 Види помелу кавових зерен

Помел кави – це грубі, середні або дрібні частинки мелених кавових зерен, які готують до заварювання. Сім розмірів помелу кави варіюються від дуже грубого до дуже тонкого. Кожен розмір помелу кави відрізняється текстурою, розміром частинок у мікронах та зовнішнім виглядом. Вони також розрізняються за тим, як швидко вода протікає через них, яка площа поверхні піддається екстракції, який опір вони створюють воді та наскільки рівномірно вони витягують смак залежно від використовуваного методу заварювання [2]. Основна відмінність між помелом кави та кавовою гущею полягає в тому, що «помел» відноситься до текстури або рівня розміру, отриманого під час помелу, тоді як «гуща» відноситься до фактичних частинок кави, використаних або невикористаних після процесу помелу.

Помел кави здійснюється за допомогою комерційних або домашніх кавомолок для подрібнення цілих зерен до потрібного розміру. Кавомолки поділяються на два типи: лезові та жорнові кавомолки. Лезові кавомолки використовують обертові леза, щоб подрібнити каву на менші частинки, а розмір помелу регулюється часом. У жорнових шліфувальних машинах використовуються два диска з гострими зубцями (пласкими або конічними), які виготовлені з кераміки або нержавіючої сталі. Рівень їх помелу і консистенція контролюється відстанню між задирками. Консистенція помелу – це однорідність розміру частинок після подрібнення. Рівномірний помел забезпечує рівномірну екстракцію та збалансований смак, тоді як непослідовний помел спричиняє надмірну екстракцію дрібних частинок і недостатню екстракцію грубих, що призводить до гіркоти або слабкої кави.

Різні методи подрібнення кавових зерен (грубий, середній, дрібний і дуже тонкий помел) відповідають конкретним методам заварювання кави. Правильний помел кави для кожного методу заварювання визначається шляхом вимірювання розміру помелу, середнього діаметра частинок і розподілу помелу, діапазону та частоти розмірів частинок у зразку. Поширені інструменти для вимірювання розміру помелу включають сита, лазерні дифракційні пристрої та цифрові системи візуалізації [2, 3, 4]. Різні типи помелу кави стосуються різних розмірів меленої кави, яка використовується для способів заварювання. Основні сім типів помелу: екстра грубий, грубий, середньо-грубий, середній, середньо-дрібний, дрібний і дуже тонкий. Грубий помел підходить для френч-преса, середній помел найкраще підходить для крапельних машин, дрібний помел ідеально підходить для еспресо. Розмір помелу впливає на смак і екстракцію.

У наведеному нижче списку показано сім основних типів помелу кави [2].

1. Кава екстра грубого помелу – це тип помелу кави з надзвичайно великими кремезними частинками, схожими на горошини перцю або кам'яну сіль. Розмір надзвичайно грубого помелу становить від 1200 до 1600 мікрон і є найбільшим налаштуванням на більшості комерційних шліфувальних машинах. Цей помел підходить для способів замочування. Йому потрібно від 12 до 24 годин замочування, щоб витягнути смак з кави. Великі частинки дозволяють швидко витягуватися, але вода повинна протікати через них тривалий час. Кава

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дуже грубого помелу не підходить для еспресо, оскільки її великі частинки блокують екстракцію під тиском, що призводить до слабкої кави. Найкращий спосіб отримати надзвичайно грубий помел – це використовувати хорошу жорнову шліфувальну машину. Блендери та кухонні комбайни подрібнюють нерівномірно, через що кава може погіршити смак і погано заварюватися.

2. Кава грубого помелу подрібнюється до великого розміру частинок, як морська сіль. Його видимі, кремезні частинки забезпечують рівномірний потік води та запобігають появі гіркоти. Цей розмір помелу найкраще підходить для заварювання з повним зануренням, оскільки йому потрібно більше часу для замочування кави, щоб він міг витягнути смак. Розмір частинок зазвичай коливається від 1000 до 1200 мкм. Кава грубого помелу не підходить для крапельного заварювання або еспресо-машин, яким потрібен дрібніший помел для оптимального смаку. Використовуйте жорнову шліфувальну машину, щоб зробити стабільний грубий помел за 10-15 секунд.

3. Кава середнього помелу – це збалансований помел між дрібним і грубим помелом, зазвичай розміром від 800 до 1000 мікрон (від 0,8 до 1,0 мм). Частинки в каві середнього грубого помелу більші, ніж у крапельному помелі, але менші, ніж у каві грубого помелу. Ця шорстка текстура допомагає рівномірно екстрагувати смак під час заварювання. Кава середнього помелу підходить для фільтрувального заварювання, оскільки вона витягує аромат не забиваючись. Еспресо потребує більш тонкої основи для тиску та екстракції. Турецька кава також вимагає надзвичайно тонкого помелу, що робить середню грубість занадто грубою. Використовуйте жорнову кавомолку, щоб подрібнити каву середньої грубості рівномірно та з контролем.

4. Кава середнього помелу або кава крапельного помелу має розмір від 600 до 800 мікрон, з рівною текстурою як у цукрового піску. Він підходить для крапельних методів заварювання. Кава середнього помелу ефективно витягує аромат і створює збалансований смак. Він добре працює з ручним і автоматичним заварюванням кави, оскільки виробляє гладку, легку для пиття каву. Кава середнього помелу погано підходить для еспресо або турецької кави. Ці методи потребують більш тонкого помелу, щоб отримати правильний смак. Використовуйте жорнову кавомолку для кави середнього помелу для консистенції помелу.

5. Кава середнього дрібного помелу має середній і дрібний розмір, який надає збалансований смак. Частинки кави мають розмір від 400 до 600 мікрон і на дотик м'які та трохи піщані. Кава середнього дрібного помелу є поганою ідеєю для заварювання з повним зануренням, оскільки її дрібні частинки можуть прослизнути через фільтри та зробити заварку піщаною, надмірно міцною та гіркою. Найкращою кавомолкою для кави середньої дрібності є жорнова кавомолка, яка забезпечує стабільний, рівномірний помел.

6. Кава тонкого помелу або кава дрібного помелу має розмір зерен до 200-400 мкм, як цукрова пудра. Цей помел найкраще підходить для заварювання під тиском. Маленькі шматочки кави мають більшу площу поверхні і тому вони швидко вивільняють аромат. Не рекомендується використання дрібно меленої кави у френч-пресі або холодному заварюванні, оскільки це може забити

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

фільтри та спричинити гіркоту. Ручні подрібнювальні машини забезпечують стабільний тонкий помел.

7. Кава дуже дрібного помелу має частинки розміром 100-200 мікрон, які забезпечують швидке заварювання. Кава має порошкоподібну консистенцію, як у борошна. Кава дуже тонкого помелу сприяє швидкій екстракції. Але це не працює з френч-пресом або крапельним методом. Цим методам потрібно більше часу для вилучення смаку, а дрібна гуща може викликати гіркоту. Необхідно використовувати жорнову шліфувальну машину, яка встановлена на найтонший рівень, щоб створити цей помел.

Розмір помелу кави – це грубість або дрібність мелених частинок і безпосередньо впливає на смак, міцність, чистоту та екстракцію. Він контролює наскільки швидко вода розчиняє смакові сполуки через площу поверхні та час контакту. Площа поверхні кави – це загальна площа впливу частинок меленої кави. Більша площа поверхні прискорює видобуток екстракту, тому дрібніший помел кавових зерен сприяє швидшому видобуванню, а грубіший помел – повільнішому. Час контакту – це те, як довго вода контактує з кавовою гущею під час заварювання.

Розмір помелу кави вимірюється в мікронах (мкм) за допомогою грецької літери (μ) за якою слідує «m» для позначення метрів. Ця одиниця виміру виражає середній діаметр частинок меленої кави. Замість «великий» або «маленький» розміри помелу описуються як «грубий» або «дрібний». Комерційні шліфувальні машини пропонують налаштування від дуже грубих до дуже тонких для стабільного контролю [2, 3, 4]. Кожен спосіб заварювання вимагає певного розміру помелу. Френч-прес, еспресо використовують різні види помелу, які підходять для їхньої техніки, обладнання та рецепту для досягнення найкращих результатів. У методах заварювання з вертикальним потоком, таких як еспресо, розмір помелу впливає на те, як частинки кави упаковуються разом і змінює потік води. Більш дрібний помел щільно зчіплюється, уповільнює рух води та збільшує швидкість екстракції. У таких методах занурення, як френч-прес або холодне заварювання, розмір помелу впливає на час замочування та відділення частинок, а грубіший помел дозволяє довшу екстракцію без надмірної екстракції. Різні методи заварювання вимагають різного виду помелу певного розміру.

У каві френч-прес використовується грубий помел. Великі шматочки кави повільно пропускають воду, не блокуючи фільтр. Це допомагає каві добре заварюватися та запобігає потраплянню гущі у вашу чашку. Кава середнього помелу зазвичай занадто дрібна, через що кава може стати гіркою на смак або відчутти зернистість. Якщо помел занадто дрібний то він також може забити поршень і зробити смак заварки каламутним [2]. Найкращий помел кави для еспресо – тонкий, що забезпечує належний тиск, час екстракції та смак. Розмір помелу еспресо визначає тонкість, яка необхідна для протистояння тиску води під час заварювання та отримання збалансованої порції. Занадто дрібний помел уповільнює потік води, викликаючи надмірну екстракцію та гіркоту. Занадто грубий помел прискорює потік води, що призводить до недостатньої екстракції та слабого, кислого смаку. Найкращий розмір помелу для холодного заварювання – грубий, оскільки цей розмір уповільнює екстракцію та зменшує

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

гіркоту. Розмір помелу холодного заварювання більший, ніж у крапельної кави і нагадує морську сіль грубого помелу. Можна використовувати звичайну мелену каву для холодного заварювання, але вона зазвичай дає сильніший і гіркіший результат і може призвести до надмірної екстракції.

Для крапельного помелу кави використовується середній помел з текстурою, яка схожа на пісок. Його також називають універсальним помелом або автоматичним крапельним помелом. Більшість попередньо меленої кави в супермаркетах використовує цей помел, оскільки він підходить для стандартних крапельних машин. Цей помел дозволяє воді текти з потрібною швидкістю для збалансованого смаку. Турецька кава вимагає надзвичайно тонкого помелу подібного до цукрової пудри для правильної екстракції в нефільтрованому заварюванні. Пудра повинна залишатися в підвішеному стані, щоб створити її густу текстуру.

1.3 Інновації в технології помелу кави

Технологія помелу кави в останні роки зазнала значних інновацій. Ці досягнення революціонізують кавову промисловість, пропонуючи більшу ефективність, точність і стійкість. Від передових конструкцій борів до розумних систем помелу майбутнє помелу кави ще ніколи не було таким яскравим. Давайте розглянемо останні відкриття та те, як вони формують спосіб помелу кави. Інновації в технології помелу кави впливають на кожен аспект виробництва кави. Незалежно від того, чи є ви великим виробником або малим бізнесом, ці досягнення покращують стабільність помелу, підвищують енергоефективність і знижують експлуатаційні витрати. Нові технології також дозволяють точніше контролювати розмір помелу, забезпечуючи ідеальну чашку кави щоразу. Ключові інновації в технології помелу кави [6, 22, 23].

1. Удосконалені конструкції борів. Одним з найбільш значних досягнень в технології помелу кави є розробка високоточних задирок, а саме борфрези, яка призначена для:

- дотримання рівномірних розмірів помелу;
- зменшення накопичення тепла під час шліфування;
- підвищення міцності і служать довше навіть при інтенсивному використанні.

2. Механізми регулювання температури. Тепло може негативно вплинути на смак кави під час помелу. Щоб вирішити цю проблему, сучасні подрібнювальні машини оснащені вдосконаленими механізмами регулювання температури. Промислові кавомолки включають системи регулювання температури під час помелу, зберігаючи ароматичні олії та смаки кави. Ця особливість має вирішальне значення для підтримки якості виробництва кави у великих обсягах.

3. Точність розміру подрібнення кавових зерен з мікрорегулюваннями. Точний помел має життєво важливе значення для таких методів заварювання, як еспreso. Інновації в технології мікрорегулювання дозволяють користувачам точно налаштувати розміри помелу з безпрецедентною точністю. Промислові кавомолки підтримують це завдяки регульованим параметрам розмірів помелу,

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

починаючи від дрібного помелу і закінчуючи грубим помелом для фільтрованої кави. Ці налаштування роблять його універсальним і адаптованим до різних потреб у кавоварінні.

4. Автоматизація та системи на основі штучного інтелекту трансформують помел кави. Розумні подрібнювальні машини можуть:

- автоматично регулювати розмір помелу залежно від типу кави;
- оптимізувати швидкість подрібнення для ефективності;
- відстежувати знос і сповіщати користувачів коли потрібне технічне обслуговування.

5. Енергоефективність. Сталий розвиток є зростаючим пріоритетом, а енергоефективні двигуни є ключовою інновацією в технології помелу кави. Промислові кавомолки розроблені з урахуванням ефективності, що дозволяє знизити споживання енергії без шкоди для продуктивності. Ця особливість узгоджується зі зростаючим попитом на екологічно чисте промислове обладнання.

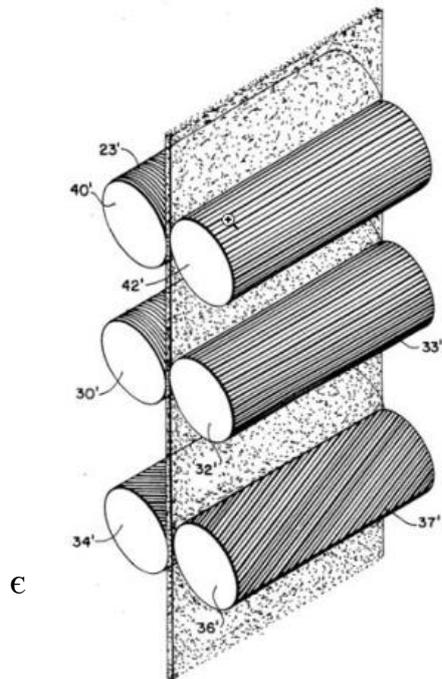
1.4 Обладнання для помелу кавових зерен

Для подрібнення кавових зерен використовують кавомолки та кавомашини з функцією подрібнення зерен. Кавомолки розроблені з чіткою метою бути простими у використанні, простими в управлінні та довговічними: результатом є машини з надзвичайно точним регулюванням, навіть після років роботи за будь-яких умов. Завдяки механічним характеристикам та конструкції «ріжучих дисків» система помелу надзвичайно ефективна з точки зору енергоспоживання. Промислові кавомолки є життєво важливими машинами в кавовій промисловості, забезпечуючи стабільний розмір і якість помелу. Ці машини являють собою складні системи, що складаються з різних компонентів, які безперебійно працюють разом. Промислові кавомолки оснащені механізмами регулювання помелу для контролю тонкості або грубості помелу. Ця функція має вирішальне значення для набору ідеального розміру помелу залежно від використовуваного методу заварювання. Точні регулювання забезпечують постійність екстракції смаку.

Найбільш поширеними пристроями для подрібнення в обробці кави є дискові подрібнювачі та роликові подрібнювачі. Дискові подрібнювачі зазвичай використовуються в менших масштабах (в домогосподарствах та кав'ярнях). Зменшення розміру частинок досягається за рахунок впливу лез на зерна на високій швидкості. Роликові подрібнювачі переважно використовуються на промисловому рівні. У цьому випадку зменшення розміру частинок здійснюється за рахунок сил, які діють двома обертовими валками, коли зерна проходять через зазор між ними. Отриманий розподіл розміру частинок залежить від конфігурації подрібнювача, наприклад, відстані між дисками або відстані між валками, типу валків, кількості валків та механічних властивостей зерен. Механічні властивості зерен в основному залежать від вмісту вологи та в меншій мірі від ступеня обсмаження та типу зерен.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Валкові подрібнювачі широко використовуються комерційними та промисловими виробниками кави (рис. 1.5). У валковому млині використовують циліндричні валики для подрібнення кавових зерен. Це може відбуватися одночасно або в кілька етапів. Машини забезпечують рівномірний



розподіл розміру помелу та нагрівають подрібнену каву менше, ніж інші методи помелу. Проте, через їхній розмір і вартість, валкові подрібнювачі використовуються виключно комерційними та промисловими виробниками кави. Тертя між обертовим і не обертовим кільцем обладнання є джерелом шуму в сучасних кавомашинах [1]. Якщо ролики машини обертаються з однією швидкістю то тертя між роликами не виникатиме. Єдиний шум, який виробляється – це розчавлення кавових зерен, що неминуче і шум двигуна/корпусу. Наступним кроком у зменшенні шуму буде зменшення цих звуків. Ще однією перевагою валкових механізмів невелике утворення крихких відходів, які можуть забруднювати кавомашину.

Рисунок 1.5 – Валковий подрібнювач

Тому зменшення небажаних відходів є дуже бажаним. Переваги та недоліки валкових подрібнювачів представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки валкових подрібнювачів

Переваги	Недоліки
Енергетично ефективне	Високі початкові витрати
Невелика кількість частинок меншого розміру	Обслуговування може бути дорогим
Точний контроль розміру часток	
Невелике шумове випромінювання	

Кількість роликів є першим параметром, який потрібно визначити, оскільки він має великий вплив на проектування кавомашини. Кожен ролик має бути забезпечений живленням, тому бажана мінімальна кількість роликів. Однак, якщо кількість роликів зменшується, зменшення розміру часток на один набір роликів збільшується. За наявності лише одного набору роликів зменшення кавових зерен до бажаного розміру помелу має бути досягнуто одразу. Оскільки потрібен тонкий профіль для досягнення бажаного розміру помелу, профілю може бути недостатньо, щоб захопити і витягнути кавове

зерно через валки. Беручи це до уваги, двоступеневий процес помелу видається найкращим рішенням [1, 5, 7]. Перший етап, коли кавові зерна подрібнюються на менші частинки і другий етап, коли їх подрібнюють до бажаного розміру помелу. Роликовий профіль цих двох стадій має відповідати їхньому завданню. Завдання першого набору роликів полягає в тому, щоб втягувати зерна в ролики та подрібнювати їх на менші частинки (рис. 1.6). Профіль з зубцями має бути здатний виконати це завдання. Завдання другого набору роликів – створити потрібний однорідний розмір частинок, тому він має мати дрібний профіль. Розміри частково визначають крутний момент, який необхідний для розподілу зерен.

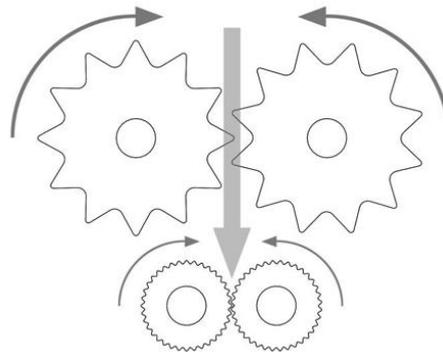


Рисунок 1.6 – Подрібнення кавових зерен

Параметр перший – це трансмісія. Електродвигун має забезпечити живлення всіх роликів так, щоб усі ролики обертались з однаковою кутовою швидкістю. Найпростіший спосіб досягти цього – використовувати шестерні. Потужність безпосередньо передається на один ролик з кожної пари. Потім потужність передається на інший ролик через шестерні на іншому кінці валу. Підшипники повинні витримувати радіальні сили, які створюються під час розмелу. Крім того, відстань між нижнім комплектом валиків повинна бути регульованою з точністю до 0,5 мм, щоб досягти необхідних різних розмірів помелу. Нарешті, корпус повинен забезпечувати постійне постачання зерен до валиків. Це можна досягти подібним чином, як у сучасних кавомашинах «зерно в чашку», використовуючи конструкцію бункера внизу резервуара [1, 5, 7]. Промислові кавомолки можна умовно розділити на два типи: жорнові кавомолки та ножові кавомолки, які в свою чергу бувають двох різновидів:

- конічні кавомолки – кавомолки мають дві конусоподібні бури, які подрібнюють кавові зерна між собою;

- пласкі шліфувальні машини – ці кавомолки використовують два пласкі круглі бури для подрібнення кавових зерен.

Подрібнювальні машини з лезами, хоча і частіше зустрічаються в побутових умовах, іноді використовуються і в промислових умовах. Вони використовують обертові леза, щоб подрібнити кавові зерна на менші шматочки. Жорнові кавомолки є галузевим стандартом для промислового помелу кави завдяки своїй здатності виробляти стабільний і рівномірний помел. В основі жорнових шліфувальних машин лежить складний механізм, який забезпечує неперевершену точність і якість шліфування [14, 26-28]. Кавомолки працюють шляхом подрібнення кавових зерен між двома задирками – ретельно сконструйованими шліфувальними механізмами, виготовленими з міцних

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалів, таких як сталь або кераміка. Борфрези точно оброблені з точними допусками, що дозволяє їм подрібнювати кавові зерна до надзвичайно дрібного та стабільного розміру частинок (рис. 1.7). Однорідна консистенція помелу має вирішальне значення для досягнення оптимальної екстракції смаку та збалансованого, насиченого смаку в кінцевому заварюванні.

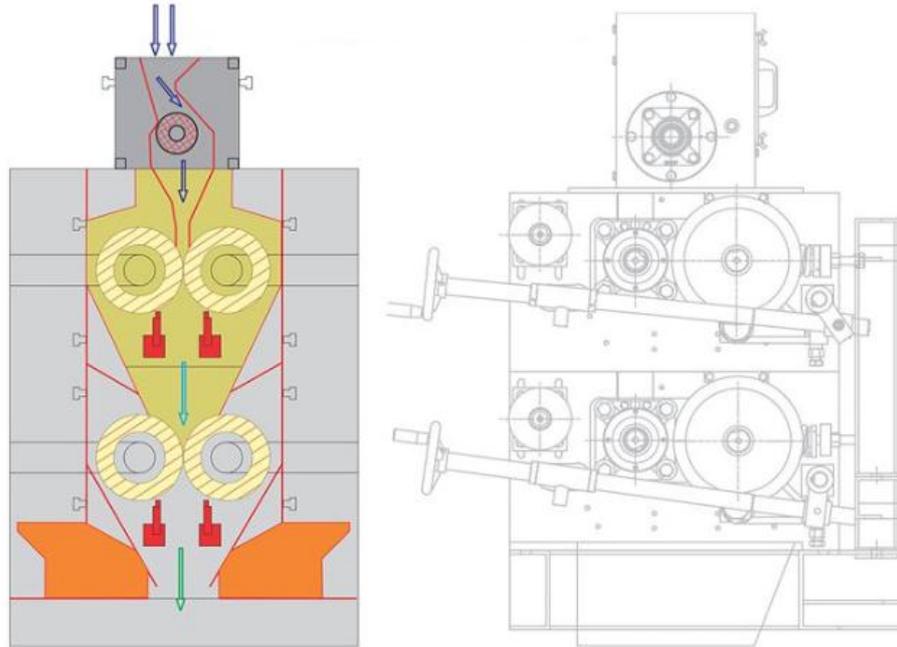


Рисунок 1.7 – Схема принципу роботи промислової кавомолки

Процес подрібнення є результатом ретельно вивіреної відстані між двома борами та швидкістю їх обертання. Коли зерна проходять через вузьку щілину між задирками, вони піддаються величезному тиску та силам зсуву, ефективно розбиваючи їх на однорідні частинки. Цей точний помел гарантує, що кожна частинка кави потрапляє у воду для заварювання рівномірним чином, що забезпечує рівномірну екстракцію та повне вираження аромату та смакових нот кави. Промислові подрібнювачі створені для обробки великої кількості кавових зерен, зазвичай від 60 до 120 кілограмів. Спочатку обережно насипають цю велику кількість цілих зерен у бункер, який є великою ємністю у верхній частині подрібнювача [14, 26-28]. Калібрування налаштувань помелу та точність дуже важлива в промисловому помелі кави. Ці потужні машини дозволяють точно контролювати розмір помелу, тому щоразу отримується однакові результати, залежно від того, як ви заварюєте каву або який смак вам потрібен. Багато промислових кавомолок мають встановлені розміри помелу для різних методів заварювання (від дрібного помелу еспресо до грубішої крапельної кавової гуці).

Деякі промислові подрібнювальні машини високого класу мають механізм, який дозволяє регулювати розмір помелу із ще більшою точністю, надаючи багато різних опцій. Це означає, що професіонали кави можуть отримати саме той помел, який їм потрібен, розкриваючи повний смак кавових зерен. Після того, як встановлений потрібний розмір помелу, починається

промислове подрібнення. Задирки, які є частинами, що подрібнюють кавові зерна, обертаються дуже швидко через потужні двигуни. Цей потужний помел разом із добре зробленими задирками гарантує, що кавова гуща буде однакового розміру [1, 5, 7]. Після подрібнення кавова гуща плавно всипається у великі контейнери для уловлювання. Ці контейнери призначені для зберігання великої кількості кавової гущі, тому можна продовжувати помел без зупинки та легко переробляти багато кави за раз. З кожним кроком, призначеним для приготування великої кількості кави, промислові жорнові кавомолки демонструють ідеальний баланс потужності, точності та ефективності. Вони дають постійну високоякісну кавову гущу, яка необхідна для приготування чудової кави в промислових масштабах.

Переваги жорнових подрібнювальних машин.

1. Стабільний розмір помелу: подрібнювальні машини виробляють рівномірний помел, забезпечуючи рівномірну екстракцію та оптимальний смак.

2. Краща екстракція смаку: постійний розмір помелу дозволяє краще екстрагувати природні смаки та аромати кави.

3. Регульовані налаштування помелу: можливість регулювати розмір помелу робить жорнові кавомолки придатними для різних методів заварювання, від еспресо до крапельної кави.

Подрібнювальні машини з лезами на відміну від жорнових подрібнювальних машин використовують інший механізм для подрібнення кавових зерен. В основі обладнання лежить набір гострих обертових лез, які нарізають і подрібнюють боби на менші шматочки за допомогою ріжучої дії. Процес подрібнення починається з введення цілих кавових зерен у камеру помелу, спеціально розроблений відсік, у якому розміщено механізм леза. Після завантаження камери процес подрібнення ініціюється шляхом активації лез, які обертаються з надзвичайно високою швидкістю, створюючи потужні відцентрові сили, які штовхають зерна до гострих країв. Коли кавові зерна контактують з лезами, що швидко обертаються, їх нарізають і подрібнюють на менші шматочки за допомогою комбінації сил різання та удару [1, 5, 7]. На відміну від жорнових шліфувальних машин, які зазвичай виробляють рівномірний помел за один прохід, лезові машини працюють у безперервному циклі. Леза постійно подрібнюють і повторно подрібнюють частинки кави, поступово зменшуючи їх розмір до досягнення потрібної консистенції помелу. Цей процес вимагає ретельного контролю та коригування часу помелу, щоб запобігти надмірному або недостатньому помелу кавових зерен. Після досягнення бажаного рівня помелу свіжозмелена кава збирається з камери помелу та готова до заварювання або подальшої обробки. Хоча подрібнювальні машини з лезом можуть не забезпечувати такий самий рівень консистенції помелу, як жорнові шліфувальні машини, вони все одно можуть давати прийнятні результати для певних методів заварювання або застосувань, де абсолютна однорідність менш критична. Їх простота, доступність і зручність використання роблять їх життєздатним варіантом для невеликих кав'ярень, кафе або любителів кави.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі вище зазначеного можна вважати, що процес помелу кавових зерен є критично важливим етапом, який безпосередньо впливає на смак і якість кінцевого заварювання. Досягнення рівномірності розміру помелу має важливе значення, оскільки це впливає на те, як кавова гуща витягується під час заварювання. Серед різних методів помелу жорнові кавомолки часто вважаються найкращими завдяки своїй здатності створювати стабільні розміри помелу, що робить їх ідеальними для любителів кави. Приготування кави – це природний продукт, який отриманий з насіння кавових зерен. Перетворення кавового зерна на чашку кави можна поділити на три основні процеси: обсмажування, подрібнення та заварювання. Кожен з цих процесів має великий вплив на кінцевий смак кави.

Зазначено, що різні типи помелу кави стосуються різних розмірів меленої кави, яка використовується для способів заварювання. Основні сім типів помелу: екстра грубий, грубий, середньо-грубий, середній, середньо-дрібний, дрібний і дуже тонкий. Грубий помел підходить для френч-преса, середній помел найкраще підходить для крапельних машин, дрібний помел ідеально підходить для еспресо. Помел кавових зерен є важливим етапом у приготуванні кави. Подрібнюючи зерна на більш дрібні частинки можна контролювати швидкість розчинення кавових сполук під час заварювання, що безпосередньо впливає на смак, аромат і якість. Розмір цих частинок – від дрібних до грубих – впливає на те, як вода взаємодіє з кавою під час екстракції. Тому розмір помелу впливає на смак і екстракцію.

Аналіз дослідження наукових джерел дав змогу виявити, що для подрібнення кавових зерен використовують кавомолки та кавомашини з функцією подрібнення зерен. Кавомолки поділяються на два типи: лезові та жорнові кавомолки. Лезові кавомолки використовують обертові леза, щоб подрібнити каву на менші частинки, а розмір помелу регулюється часом. У жорнових подрібнювальних машинах використовуються два диска з гострими зубцями (пласкими або конічними), які виготовлені з кераміки або нержавіючої сталі. Рівень їх помелу і консистенція контролюється відстанню між задирками. Рівномірний помел забезпечує рівномірну екстракцію та збалансований смак, тоді як непослідовний помел спричиняє надмірну екстракцію дрібних частинок і недостатню екстракцію грубих, що призводить до гіркоти або слабкої кави.

Зазначено, що на першому етапі кавові зерна подрібнюються на менші частинки, а на другому етапі вони подрібнюються до бажаного розміру помелу. Роликовий профіль цих двох стадій має важливе значення. Завдання першого набору роликів полягає в тому, щоб втягувати зерна в ролики та подрібнювати їх на менші частинки. Профіль з зубцями має бути здатний виконати це завдання. Завдання другого набору роликів – створити потрібний однорідний розмір частинок.

Вважається за доцільне концепція заміни розміру та профілю валків для подрібнення кави: перша пара валків з більшим розміром та більшим профілем подрібнення, а друга пара валків менший розмір та менший профіль подрібнення кавового зерна.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ КАВОМАШИНИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПОДРІБНЕНИХ ЧАСТИНОК ОДНАКОВИХ ЗА РОЗМІРОМ

2.1 Механіка помелу кавових зерен

Помел кавових зерен є важливим етапом у приготуванні кави. Подрібнюючи зерна на більш дрібні частинки можна контролювати швидкість розчинення кавових сполук під час заварювання, що безпосередньо впливає на смак, аромат і якість. Розмір цих частинок – від дрібних до грубих – впливає на те, як вода взаємодіє з кавою під час екстракції. Тонкий помел охоплює більшу площу поверхні, що може посилити аромат і створити більш насичений смак. З іншого боку, грубіший помел призводить до більш м'якої екстракції, що часто призводить до м'якішого смаку. З огляду на ці нюанси, стає зрозуміло, що досягнення правильного розміру помелу для конкретного способу заварювання має важливе значення при приготуванні кави.

На сучасному ринку кави зростає попит на стабільність і якість, особливо з огляду на те, що популярність кави продовжує зростати. Споживачі стали більш обізнаними про тонкі смакові відмінності і багато мереж кав'ярень тепер прагнуть доставляти високоякісні та одноманітні продукти в усіх місцях. Однак, традиційні кавомолки для кавових зерен часто мають проблеми з отриманням стабільних результатів. Різні фактори, включаючи ефективність двигуна, конфігурацію леза та контроль користувача, сприяють нестабільності помелу, що може негативно вплинути на відтворюваність смаку [11, 21]. Звичайні подрібнювачі кавових зерен зазвичай покладаються на один постійний струм, який приводить у рух одне обертове лезо для розщеплення зерен. Залежність від одного двигуна, як для регулювання швидкості так і для регулювання сили, призводить до зміни розміру частинок, особливо при подрібненні великих кількостей або роботі з кавовими зернами різної твердості. Ця варіативність часто призводить до проблем із відтворюваністю смаку, що особливо складно для комерційних кавових закладів, які прагнуть зберегти стабільність смаку.

Кілька обмежень, властивих традиційним кавомолкам для кавових зерен, перешкоджають їх здатності отримувати стабільні результати. Традиційні подрібнювальні машини, особливо ті, що використовують двигуни постійного струму, мають обмежений контроль над регулюванням швидкості та сили, що призводить до нерівномірного розміру частинок. Ця недостатня точність впливає на поверхню під час заварювання, зрештою змінюючи смак. Наприклад, відхилення розміру помелу може спричинити гіркий або надмірно екстрагований смак, тоді як грубіший, непослідовний помел може не досягти бажаної глибини смаку.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Дослідження процесу помелу гранульованої сировини та удосконалення кавомашини	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Коваль</i>						21	11
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							
						ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		

Виникає потреба в більш точній кавомолці для кавових зерен, яка може забезпечити рівномірний помел. Залежність звичайних подрібнювальних машин від низькоточних компонентів, таких як окремі двигуни постійного струму без передових систем керування, може призвести до різноманітних результатів. Крім того, ці подрібнювальні машини для кавових зерен часто не мають механізмів для регулювання сили та швидкості залежно від опору зерен під час подрібнення. Отже, їм важко підтримувати постійний розподіл частинок за розміром, що призводить до коливань смаку в різних чашках.

Механіка помелу кави полягає в зменшенні кавових зерен на однорідні частинки, що забезпечує контрольовану та послідовну екстракцію під час заварювання. Якість подрібнення залежить від декількох складових: типу двигуна, конструкції леза, системи управління. Звичайні подрібнювальні машини з двигунами постійного струму забезпечують простоту, але за рахунок обмеженої точності. Ці двигуни забезпечують високошвидкісне обертання, але не мають можливості точно регулювати зусилля, що призводить до нерівномірного розподілу частинок за розміром [1, 11, 21]. У традиційній кавомолці для зерен двигун приводить в рух одне лезо, яке розбиває зерна на більш дрібні шматочки. Однак під час подрібнення зовнішні фактори, такі як щільність і твердість зерен кави, взаємодіють зі швидкістю двигуна та кутом нахилу леза, що ускладнює підтримання рівномірного розміру помелу. Ці фактори сприяють значній варіації якості помелу, а також коливанням смакових відчуттів.

Одним із найважливіших факторів заварювання кави є розподіл частинок за розміром, який визначає, як сполуки кави розчиняються у воді. Дрібні частинки збільшують площу поверхні, покращуючи екстракцію, що ідеально підходить для концентрованих напоїв, таких як еспресо. Більш грубі частинки, які придатні для таких методів кавоваріння, як френч-прес, дозволяють повільніше екстрагувати, що зменшує гіркоту. Таким чином, постійний розмір частинок має важливе значення для контролю балансу між кислотністю, гіркотою та солодкістю кави.

Розмір частинок часто вимірюється в мікрометрах (мкм), причому більш тонке подрібнення зазвичай нижче 200 мкм, а більш грубе подрібнення досягає до 850 мкм. Кавомолка для кавових зерен здатна точно контролювати ці вимірювання, дозволяючи налаштовувати смакові профілі, які адаптовані до кожного методу заварювання [1]. Наприклад, відхилення розміру частинок всього на 50 мкм може призвести до помітних відмінностей у смаку та ароматі. Традиційні шліфувальні машини через обмежений контроль над розміром шліфування часто не відповідають цим суворим стандартам, що робить їх непридатними для застосувань, що вимагають високого рівня точності. У комерційних умовах досягти правильного діапазону розмірів частинок для кожного стилю заварювання складно без спеціалізованої кавомолки для зерен. Варіативність розміру частинок не тільки впливає на якість, але і підриває ефективність приготування кави. Тому, кавомолка, яка розроблена з точними механізмами керування, має вирішальне значення для задоволення потреб вишуканого ринку кави.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Регулювання розміру помелу є важливим. Професійні кавомолки можуть регулювати розмір помелу, що можна зробити крок за кроком або безступеневим чином. У млинах з кроковим регулюванням розмір помелу можна налаштувати маленькими кроками, причому доступні розміри помелу визначаються млином. Наявність млина з кроковим регулюванням не означає, що є дуже обмежена кількість кроків. Деякі млини забезпечують більше 50 кроків, що є достатнім для задоволення більшості любителів кави в плані контролю помелу [1, 21]. У млинах з безступеневим регулюванням можна досягти безкінечної кількості налаштувань, оскільки немає визначених розмірів помелу. Розмір частинок кавового помелу досягається шляхом подрібнення зерен, що означає поділ зерен на дрібні частинки. Помел кави, що виходить з млина, не є однорідним помелом з одним розміром частинок, а є розподілом, в якому присутня варіація розмірів частинок. Розподіл частинок впливає на проникність кавового помелу, що, в свою чергу, впливає на час екстракції. Приклад розподілу розміру частинок для двох різних налаштувань помелу зображено на рисунку 2.1.

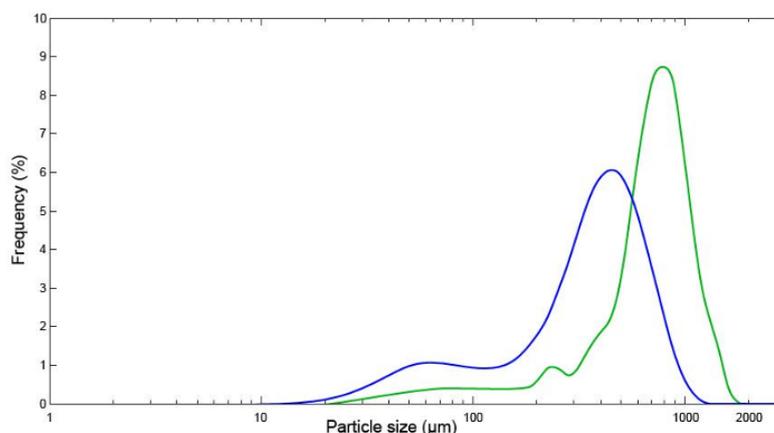


Рисунок 2.1 – Розподіл розміру частинок для двох різних налаштувань помелу кавових зерен

Час екстракції, тобто час, який потрібен для того, щоб вода пройшла через кавові мелені зерна, визначає смаки, які екстрагуються з кави. Якщо час екстракції занадто короткий, гаряча вода під тиском не матиме можливості екстрагувати найкращі смаки з кавових зерен. Якщо ж час екстракції надто тривалий, аромомасла згорять через надмірний вплив на гарячу воду для заварювання. Іншими словами, якщо розподіл розміру частинок змінюється з часом, час екстракції також зміниться, і відповідно смак кави буде іншим.

Існує кілька факторів, які впливають на зерно і, отже, впливають на поведінку кави під час помелу, оскільки зерно є природним продуктом. До цих факторів належать [1]:

1. Вологість. Оброблені жаром зерна, які були піддані водному охолодженню, зазвичай є м'якшими, ніж охолоджені повітрям. В результаті, зерна, які піддалися водному охолодженню, мають тенденцію деформуватися нерівномірно під час подрібнення і, як наслідок, давати непостійні часточки помелу.

2. Ступінь обсмаження. Зазвичай кавові зерна з більш світлим обсмаженням будуть більш еластичними та міцними, ніж зерна з темнішим обсмаженням. Більша втрата вологи у темного обсмаження робить кавові зерна більш крихкими і, таким чином, виробляє більшу кількість дрібніших частинок ніж світле обсмаження.

3. Ламкість кавових зерен. Походження кави також впливає на те, як зерно поводить себе під час подрібнення. Природні кави подрібнюються інакше, ніж кави, які оброблені вологим способом, при однаковому рівні обсмаження. Також нові врожаї кави завжди даватимуть менше дрібних часток, ніж старі врожаї. Висота також впливає на те, як зерно буде змолото, оскільки ті зерна, які вирощуються на високих висотах, як правило, щільніше, ніж те, що вирощуються на нижчих висотах.

Якість кавового зерна визначається численними факторами, які впливають на процес подрібнення, а отже, і на якість отриманого напою. Ці фактори дуже численні, різноманітні за природою і деякі з них є: сорт кави, рівень вологості, пересушування. Якість кавових зерен має великий вплив на рівень і тривалість та однорідність процесу помелу. Відповідно, можна зробити висновок, що для того, щоб щоразу готувати гарну каву постійний розмір помелу та розподіл розміру часток є вирішальними.

Дослідження показали, що використання сенсорних технологій в харчовій промисловості може підвищити ефективність та точність виробничих процесів. Системи контролю на основі інфрачервоних сенсорів та фототранзисторів можуть точно визначати вологість кавових зерен, що дозволяє мінімізувати помилки в процесі подрібнення. Використання фототранзисторів у системах контролю може підвищити чутливість та надійність автоматизованих систем. Система включатиме налаштування датчиків для виявлення важливих параметрів, наприклад, інтенсивність світла для контролю процесу подрібнення кавових зерен. Дані, що збираються датчиками, будуть оброблені в реальному часі комп'ютером.

Технології інфрачервоних сенсорів та фототранзисторів швидко розвиваються і пропонують рішення для автоматизації в різних промислових застосуваннях. Інфрачервоні сенсори, наприклад, можуть виявляти зміни вологості кавових зерен з високою точністю, тоді як фототранзистори здатні виявляти зміни інтенсивності світла, що можна використовувати для контролю різних процесів в автоматизованих системах [15, 20]. Здатність виявляти фізичні параметри з високою точністю й надавати швидку реакцію робить цю технологію ідеальною для використання в системах автоматичного контролю. Крім того, використання комп'ютерів, як основи систем контролю, дозволяє здійснювати кращу інтеграцію і обробку даних в режимі реального часу, що підвищує ефективність та точність системи. Використання сенсорних технологій та фототранзисторів в харчовій промисловості може підвищити ефективність та точність виробничих процесів. Система дозволяє автоматично налаштовувати швидкість та тривалість помелу для досягнення бажаного розміру часток. Подрібнення кави з використанням автоматизованої системи контролю на основі фототранзистора не тільки покращує однорідність розміру частинок, але й зменшує витрати сировини.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматизовані системи, які використовують інфрачервоні сенсори та фототранзистори, можуть підвищити операційну ефективність на 40% та суттєво знизити витрати на виробництво. Інше дослідження підкреслює важливість цілісного підходу до впровадження технології автоматизації, щоб забезпечити належну координацію всіх аспектів виробництва кави. Відповідно, використання технології інфрачервоних датчиків та фототранзисторів в автоматизації процесів помелу кави має великий потенціал для покращення ефективності, послідовності і якості виробничих процесів.

Фототранзистор – це тип транзистора, який чутливий до світла. Під час контакту зі світлом фототранзистор генерує електричний струм, що співвідноситься з інтенсивністю світла, яке він отримує. Сенсор є надзвичайно корисним в застосуваннях, що вимагають виявлення світла або його змін, таких як у помелених кавових зерен для виявлення розміру часток отриманого помелу. Фототранзистори можуть бути використані для контролю процесу помелу кавових зерен, виявляючи зміни інтенсивності світла, що відбивається від часток кавових зерен. Таким чином, система контролю може автоматично регулювати швидкість і тривалість помелу, щоб досягти бажаного розміру часток. Точність і чутливість фототранзисторів роблять їх ідеальними у процесі подрібнення кавових зерен, оскільки вони можуть надавати зворотний зв'язок в реальному часі для системи контролю.

Фототранзистор – напівпровідниковий пристрій зі світлочутливою областю бази, який розроблений спеціально для виявлення та посилення світлових сигналів. Фототранзистори працюють шляхом заміни базового струму на світлову інтенсивність, що дозволяє їм функціонувати в програмах перемикання та посилення. Фототранзистори можуть бути встановлені в конфігураціях із загальним колектором або загальним емітером, аналогічно звичайним транзисторам [15, 20]. Вихідний сигнал фототранзистора залежить від довжини хвилі падаючого світла, площі переходу колектор-база і коефіцієнта посилення постійного струму транзистора. Фототранзистори широко використовуються в таких пристроях, як детектори об'єктів, пульти дистанційного керування, детектори диму та системи безпеки завдяки їх чутливості та надійності. Робота фототранзистора є результатом фотоелектричного ефекту в твердих тілах, або, точніше, в напівпровідниках. Світло з правильною довжиною хвилі викликає утворення пар дірка-електрон всередині транзистора, а прикладена напруга змусить ці носії рухатися, що викликає течію струму. Інтенсивність прикладеного світла визначає кількість утворених пар носіїв, а отже, і величину підсумкового струму. Тому такий вид сенсорів є надзвичайно корисним в харчовій промисловості, що вимагають виявлення світла або його змін, таких як у помелених кавових зерен для виявлення розміру часток отриманого помелу.

2.2 Удосконалення кавомашини за допомогою засобів автоматизації

Автоматизована система управління – це система, яка використовується для регулювання та контролю процесів без безпосереднього втручання людини. Система складається з кількох основних компонентів: датчиків та контролерів.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчики використовуються для виявлення параметрів процесу, а контролери для обробки сигналів з датчиків. Автоматизацію харчових продуктів можна визначити як застосування передових технологій та автоматизованих систем у різних процесах по всьому ланцюжку поставок харчових продуктів. У харчовій промисловості система управління є засобом комп'ютеризації передового досвіду на підприємстві з виробництва продуктів харчування та напоїв. Впровадження системи контролю на харчових підприємствах допомагає досягти операційної досконалості, а саме [19, 22, 23]:

- зменшення варіативності продукту та підтримка стабільної якості;
- підвищення безпеки процесів і продукції відповідно до харчових норм;
- збільшення продуктивності робочої сили та зменшення втручання людини;
- мінімізація утворення відходів під час виробництва;
- оптимізація споживання енергії, знижуючи експлуатаційні витрати.

Автоматичне управління складається з трьох основних компонентів:

- датчик, що вимірює параметри та надсилає дані в режимі реального часу;
- контролер – порівнює фактичні значення з заданими значеннями;
- система приводу – регулює процес відповідно до поставленої мети.

З точки зору автоматизації кавомашини можна поділити [7, 16, 25]:

1. Професійні кавомашини розроблені для дуже великої кількості порцій протягом усього терміну служби машини. Період відновлення, повернення до стаціонарної роботи після попередньої екстракції, дуже маленький або майже нульовий від одного еспресо до іншого, коли температура води та пару повинна повернутися до встановленого значення.

1.1. Ручні еспресо-машини – ці типи машин не мають насоса для створення тиску води через групу екстракції і натомість використовується важільний поршень.

1.2. Еспресо-машини з насосом – це машини, які примусово пропускають воду через мелену каву за допомогою насоса, що приводиться в рух однофазним асинхронним двигуном;

2. Напівпрофесійні кавомашини призначені для зниженої продуктивності, з меншою потужністю котлів та наявністю блоків фільтрів під тиском для напівавтоматичних, автоматизованих класів та суперавтоматичних блоків приготування еспресо-машини. Ці машини можна згрупувати таким чином:

2.1. Напівавтоматичні машини мають автоматичне регулювання температури води та тиску пари, але дозування води в заварці еспресо недоступне і повинно виконуватися вручну натисканням кнопок пуску та зупинки.

2.2. Автоматичні електронні. Цей тип машин має, крім показаної вище автоматичної системи напівавтоматичних машин, електронну систему з серією програмованих кнопок, які можна налаштувати для різної кількості кави, і машина дозує точну кількість води, необхідну для конкретного напою;

2.3. Супер автоматизовані машини є найскладнішими, з повністю автоматизованим процесом, який починається з помелу зерен з правильним ступенем помелу, поміщає мелену каву в капсулу для заварювання

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

екстракційного пристрою, обробляє каву та екстрагує потрібну кількість напою, яка дозується за допомогою витратоміра, інтегрованого в систему. Електронна цифрова система управління з програмованим процесором пропонує безліч можливостей та корисних функцій:

Електромеханічна система кожної еспресо-машини може складатися з кількох підсистем, які забезпечують точні умови для правильного приготування кави та підігрівання молока, що використовується в напоях, таких як лате чи капучино. Загальна кількість підсистем у машині залежить від її класу автоматизації і ці підсистеми можуть бути [25-28]:

1. Система нагрівання – ця система повинна забезпечувати належні характеристики води та пари. Ці два стани води, що виробляються системою, мають різні параметри і повинні вироблятися одночасно. Гаряча вода в групі екстракції повинна мати температуру 90-93°C. Ці умови можуть бути забезпечені декількома моделями:

1.1. Багатосекційний нагрів – котел має багатосекційну конструкцію з різними температурами та тисками для всіх процесів екстракції від еспресо до обробки молока, і використовується тільки один нагрівальний елемент, як джерело теплової енергії.

1.2. Дизайн з кількома котлами – цей тип нагрівальної системи ґрунтується на ідеї розподілу процесів нагріву. В електромеханічній системі передбачено один або кілька котлів для екстракції еспресо, а також котел для виробництва пари.

1.3. Конструкція односекційних котлів – цей тип котла має лише одну секцію і може постачати воду або пар з одним тепловим і тисковим параметром, а продуктивність є нижчою. У зв'язку з цими причинами, такий тип киплячої системи використовується більше в напівпрофесійних та супер автоматизованих кавоварках. На рисунку 2.2 представлено два типи миттєвих водонагрівачів, що використовуються в супер автоматичних машинах.

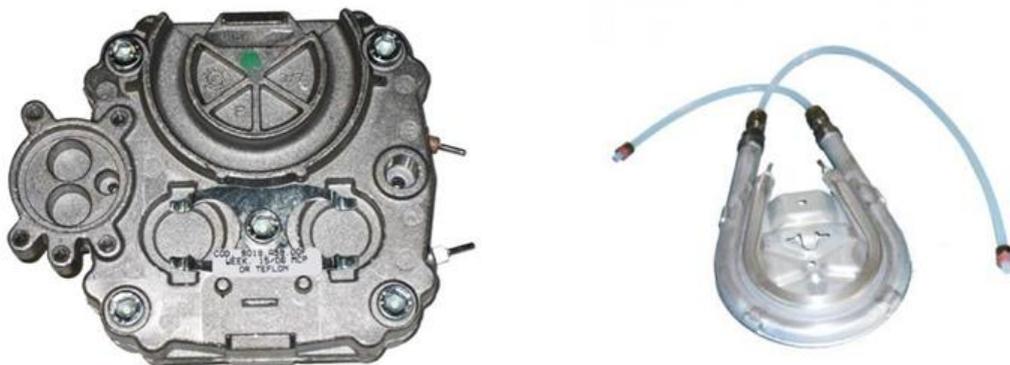


Рисунок 2.2 – Теплові насосні водонагрівачі
Неперервний котел для еспресо та гарячої води та трубний котел для миттєвих і швидких парових систем

2. Автоматична система насосів і подачі води – призначена для контролю рівня води в машині залежно від типу системи нагрівання приладу та подачі

води до приладу, як для забезпечення необхідного рівня води в паровому бойлері, так і для потоку води в процесі екстракції з можливістю підвищення тиску води.

2.1. Ротаційний лопатевий насос – це насос з позитивним зсувом, який призначений для перекачування помірно агресивної води та рідин з низьким потоком і високим тиском.

3. Система подрібнення – система подрібнення кавових зерен дозує необхідну кількість і передає її до одиниці екстракції.

Кавоварки автоматизованого класу є найскладнішими та технологічними. У процесі отримання порції еспресо система машини повинна виконати низку дій:

- подрібнює кавові зерна до потрібної фракції;
- дозує кількість кави, яка необхідна для приготування напою;
- прокачує воду через нагрівальну систему в екстракційний блок, де температура води підвищується з 10°C до 93°C.

Складові компоненти системи кавомашини наведені на рисунку 2.3.

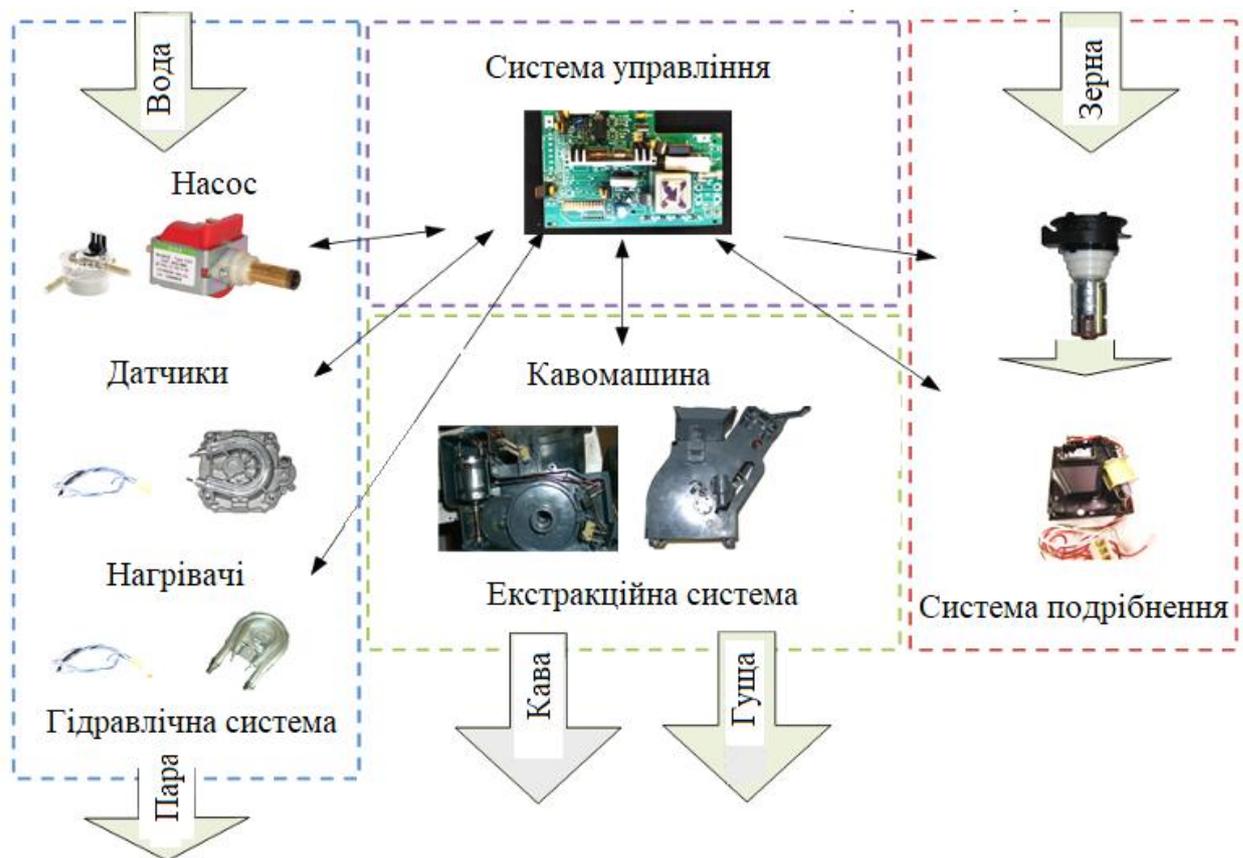


Рисунок 2.3 – Складові компоненти системи кавомашини

Щоб автоматизувати процес регулювання процесу подрібнення необхідно відрегулювати положення абразивних дисків та підняти верхній диск для грубішого подрібнення і опустити його для тонкішого подрібнення. Потрібно обертати регулювальне кільце проти годинникової стрілки для тонкішого подрібнення і за годинниковою стрілкою для грубішого подрібнення [25].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Система автоматичного регулювання процесу подрібнення кавових зерен в кавомашині наведена на рисунку 2.4.

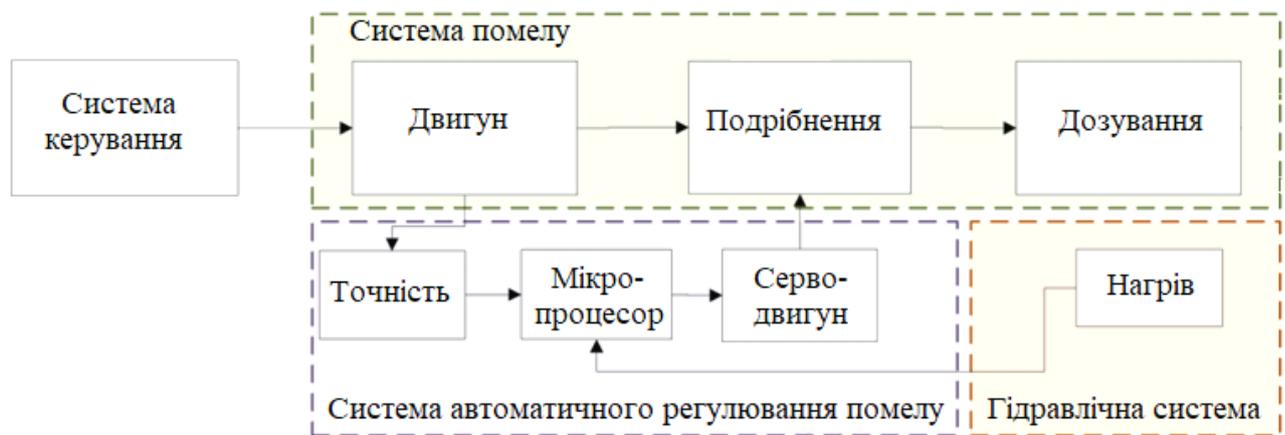


Рисунок 2.4 – Система автоматичного регулювання процесу подрібнення кавових зерен в кавомашині

Значним прогресом у помелі кавових зерен є інтеграція сервомеханізму, який забезпечує точний контроль над процесом помелу. Світовий ринок серводвигунів для харчових продуктів переживає стійке зростання, що обумовлено зростаючою автоматизацією в харчовій промисловості та виробництві напоїв [29]. Потреба в гігієнічних та ефективних виробничих процесах стимулює впровадження серводвигунів, які спеціально розроблені для харчових продуктів. Двигуни забезпечують точне керування, підвищену точність швидкості та знижене споживання енергії порівняно з традиційними моторними системами, що сприяє вищій пропускній здатності та нижчим експлуатаційним витратам.

Подрібнення з сервокерованим керуванням забезпечує новий рівень точності, що дозволяє досягати більш стабільних і передбачуваних результатів. На відміну від звичайних систем двигуна постійного струму, які забезпечують лише високошвидкісне обертання, сервомеханізм регулює як швидкість, так і силу з високою точністю, створюючи рівномірні розміри помелу та вирішує одну з основних проблем традиційних подрібнювальних машин, а саме непостійний розподіл частинок за розміром [11, 24]. Серводвигуни відомі своєю точністю та надійністю, що робить їх ідеальними для застосувань в процесах, які вимагають точного контролю механічних рухів. У контексті машини для приготування кави серводвигуни можуть точно контролювати помел кавових зерен, подачу води та процес заварювання.

Сервомеханізм, зокрема синхронний двигун з поверхневими постійними магнітами працює за допомогою системи прямого приводу, який усуває зайві механічні частини, зменшуючи шум і знос. Сервомеханізм безпосередньо підключений до подрібнюючих лез і за його допомогою можна підтримувати стабільний крутний момент і швидкість, незалежно від щільності або твердості зерна [11]. Кавові зерна підтримують бажаний розмір частинок у різних типах і кількостях кави, що робить її ідеальним рішенням для комерційних середовищ

з високим попитом. Серводвигуни широко відомі своєю точністю та надійністю в управлінні механічними рухами, що робить їх ідеальними для застосувань, що вимагають високої точності. Їх використання в робототехніці та промисловій автоматизації продемонструвало їх здатність виконувати складні завдання з мінімальною похибкою. Серводвигуни забезпечують точність, яка необхідна для таких завдань, як подрібнення кавових зерен до певного розміру та контроль потоку води під час заварювання. Серводвигуни використовуються:

- для керування кавомолкою, механізмом дозування води та блоком заварювання. Вибираються точні серводвигуни з високим крутним моментом. Двигуни забезпечують необхідну точність для регулювання розміру помелу, об'єму води та часу заварювання.

- кожен серводвигун підключений до спеціального мікроконтролера для забезпечення точного руху та синхронізації операцій (рис. 2.5).

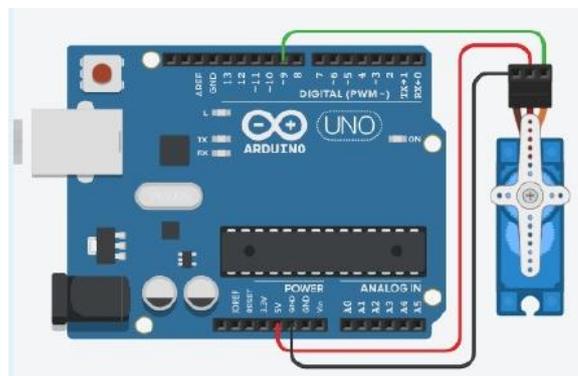


Рисунок 2.5 – Серводвигун (модельного серводвигуна)

Кавомолка для кавових зерен з сервокеруванням складається з трьох основних компонентів: двох двигунів із прямим приводом, енкодера та лінійного двигуна. Двигуни з прямим приводом з'єднані з подрібнювальними лезами і обертаються незалежно, забезпечуючи більш високий ступінь свободи руху. Лінійний двигун рухається вгору і вниз, щоб регулювати близькість леза до зерен [11, 12, 13]. Конфігурація дозволяє регулювати в режимі реального часу на основі опору подрібнення, забезпечуючи рівномірний розподіл частинок за розміром. Двигуни з прямим приводом оснащені датчиками, які зчитують до 20 біт з точністю, що дозволяє подрібнювачу кавових зерен контролювати та регулювати навіть незначні зміни сили та швидкості помелу. Такий рівень точності зменшує похибки в розмірі помелу, забезпечуючи стабільний вихід з відхиленням менше 2%. Крім того, здатність механізму регулювати відстань між лезами підвищує адаптивність кавомолки до різних розмірів кавових зерен, щільності та рівнів твердості.

Для керування серводвигунами розробляються спеціальні алгоритми, що забезпечують точне регулювання розміру помелу, об'єму води та часу заварювання. Інтеграція датчиків: код пишеться для зчитування даних з датчиків температури та навантаження, забезпечуючи зворотний зв'язок із системою в режимі реального часу.

Енкодер відіграє вирішальну роль у підтримці стабільності, відстежуючи

швидкість обертання та положення двигуна. Постійно контролюючи стан двигуна, подрібнювач кавових зерен може швидко реагувати на зміни, такі як несподіване збільшення опору від особливо твердих зерен. Подрібнювальна машина може підтримувати потрібну швидкість, незалежно від зовнішніх перешкод, що має важливе значення для отримання рівномірного розміру частинок.

Система керування помелом кави має важливе значення, бо уможливорює здійснення рівномірного помелу. Для посилення узгодженості використовується спостерігач за перешкодами шляхом протидії будь-яким несподіваним силам, які можуть порушити процес подрібнення. Порушення можуть виникати через різні фактори, включаючи варіації щільності кавових зерен, зміни рухового навантаження та порушення руху леза. Завдяки усуненню небажаних чинників можна підтримувати стабільний помел, оскільки система компенсує зовнішні сили, які в іншому випадку можуть вплинути на розмір частинок [11, 24]. Точний контроль як швидкості так і тиску під час подрібнення забезпечує стабільний розмір помелу.

На основі вище зазначеного можна вважати, що помел кавових зерен є важливим етапом у приготуванні кави. Подрібнюючи зерна на більш дрібні частинки можна контролювати швидкість розчинення кавових сполук під час заварювання, що безпосередньо впливає на смак, аромат і якість. Розмір цих частинок – від дрібних до грубих – впливає на те, як вода взаємодіє з кавою під час екстракції. Досягнення однорідного розміру помелу для конкретного способу заварювання має важливе значення при приготуванні кави. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у цьому процесі, оскільки він впливає на те, яка частина поверхні кави піддається впливу води. Чим менший помел, тим більша площа поверхні доступна для екстракції, тоді як більш грубіший помел має меншу площу поверхні, що призводить до повільнішої екстракції кави.

Використання сенсорних технологій в харчовій промисловості може підвищити ефективність та точність якості помелу кавових зерен. Інфрачервоні сенсори, наприклад, можуть виявляти зміни вологості кавових зерен з високою точністю, тоді як фототранзистори здатні виявляти зміни інтенсивності світла під час подрібнення. Під час контакту зі світлом фототранзистор генерує електричний струм, що співвідноситься з інтенсивністю світла, яке він отримує. Сенсор є надзвичайно корисним в застосуваннях, що вимагають виявлення світла або його змін, таких як у помелених кавових зерен для виявлення розміру часток отриманого помелу.

Запропоновано три складові підсистеми керування кавомашини з вхідними компонентами: гідравлічна, екстракційна, подрібнювальна системи. На основі ґрунтовного аналізу роботи кожної з підсистем здійснено удосконалення системи автоматичного регулювання процесу подрібнення кавових зерен в кавомашині задля отримання подрібнених частинок однакових за розміром з інтеграцією сервомеханізму, який забезпечує точний контроль над процесом помелу. Двигуни забезпечують точне керування, підвищену точність швидкості та знижене споживання енергії порівняно з традиційними моторними системами, що сприяє вищій пропускній здатності та нижчим експлуатаційним витратам.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Вплив методу подрібнення на екстракцію кави

Процес екстракції передбачає розчинення ароматизаторів і сполук зі смаженої та меленої кави за допомогою води. Цей важливий крок глибоко впливає на смак і аромат кави. Розуміючи тонкощі екстракції кави можна отримати кращий контроль над кислотністю, солодкістю та загальним балансом отриманого кавового напою.

Екстракція – це метод за допомогою якого ароматизатори та інші сполуки розчиняються з кавової гущі у воді під час процесу заварювання. Сполуки, які отримані з кави, такі як кофеїн, кислоти, ліпіди та вуглеводи, безпосередньо впливають на смак і аромат кави. Процес екстракції відбувається поетапно, спочатку витягуються фруктові та кислотні ноти, а потім солодкість і баланс, і, нарешті, гіркота. Оптимальна екстракція необхідна для досягнення добре збалансованої та ароматної чашки кави [9, 10]. Щоб зрозуміти важливість оптимальної екстракції кави необхідно розглянути більш детально процес екстракції. Коли вода контактує з кавовою гущею то вона розчиняє певні сполуки і екстрагує їх у заварку. Ці сполуки впливають на загальний смаковий профіль кави, визначаючи її смак та аромат. На процес екстракції впливають різні фактори, включаючи співвідношення кави та води, розмір помелу, час заварювання, температуру води тощо. Досягнення ідеального балансу цих змінних має важливе значення для вилучення ідеальної кількості ароматизаторів і сполук з кавової гущі.

На початкових етапах екстракції в зварену каву швидко екстрагуються такі сполуки, як органічні кислоти, які відповідають за яскраві та фруктові ноти. У міру того, як екстракція триває, вивільняються і вуглеводи, що сприяють солодкості і балансу кавової чашки. Якщо екстракція заходить занадто далеко, гіркі сполуки витягуються, що призводить до неприємного смаку. Оптимальна екстракція настає, коли витягуються бажані аромати без зайвої гіркоти. Мета полягає в тому, щоб досягти балансу, який підкреслює унікальні характеристики кавових зерен мінімізуючи будь-які небажані смаки. Фактори, що впливають на процес екстракції кави наведені в таблиці 3.1.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Коваль</i>				Дослідження процесу помелу гранульованої сировини та удосконалення кавомашини	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						32	11
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

Таблиця 3.1 – Фактори, що впливають на процес екстракції кави [10]

Змінні	Вплив на екстракцію
Розмір помелу	Впливає на площу поверхні кавової гущі та швидкість екстракції. Більш дрібні розміри витягуються швидше, а грубі – повільніше.
Час заварювання	Тривалість контакту води з кавовою гущею. Довший час заварювання витягує більше смаків, але також може призвести до надмірної екстракції, якщо його не контролювати належним чином.
Температура води	Вищі температури витягують швидше, тоді як нижчі температури призводять до повільнішої екстракції. Ідеальний діапазон температур для оптимальної екстракції зазвичай становить 90-96°C.
Якість води	Вміст мінералів і рН води можуть впливати на екстракцію. Як правило, рекомендується вода з правильним балансом мінералів і слабкокислим рівнем рН.

Щоб досягти оптимальної екстракції кави, важливо експериментувати з цими змінними та знайти правильний баланс, який відповідає вашим смаковим уподобанням. Регулювання розміру помелу, часу заварювання, температури води та якості води може допомогти вам точно налаштувати процес екстракції та розкрити весь потенціал кавових зерен. Для того, щоб досягти бажаного рівня екстракції при заварюванні кави є кілька змінних які необхідно контролювати [9, 10].

1. Розмір помелу. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у екстракції кави. Більш тонка гуща витягується швидше, а грубіша – повільніше. Розмір кавової гущі визначає площу поверхні, яка доступна для екстракції. Наприклад, якщо подрібните каву занадто дрібно це може призвести до надмірної екстракції та гіркового смаку. З іншого боку, якщо помел занадто грубий, може статися недостатня екстракція, що призведе до слабкої та недостатньої для чашки. Важливо підібрати правильний розмір помелу, який відповідає вашому способу заварювання та особистим смаковим уподобанням.

2. Спосіб заварювання. Обраний спосіб заварювання також впливає на екстракцію кави. Різні методи мають різний час екстракції. Довший час заварювання зазвичай призводить до більшої екстракції, що призводить до міцнішої та ароматнішої чашки кави. Важливо враховувати рекомендований час заварювання для обраного вами методу та відповідно коригувати.

3. Температура води. Температура води є ще однією важливою змінною, яка впливає на екстракцію кави. Оптимальна температура води для екстракції кави зазвичай становить 90-96°C. Занадто гаряча вода може призвести до надмірної екстракції та гіркового смаку, тоді, як занадто прохолодна вода може призвести до недостатньої екстракції та слабкої чашки кави. Пошук правильної температури води для вашого способу заварювання є ключем до досягнення добре збалансованої та ароматної чашки кави.

4. Товщина кавового ложа, також відома як глибина ложа, також може впливати на екстракцію. Постійна та рівномірна глибина ложа гарантує, що вода рівномірно протікає через кавову гущу, забезпечуючи рівномірну екстракцію. Нерівномірна глибина шару може призвести до нерівномірної екстракції, що призведе до незбалансованої та нестабільної чашки кави.

Регулюючи ці змінні – розмір помелу, спосіб заварювання, температуру води та глибину ложа можна точно налаштувати процес екстракції, щоб досягти бажаного смакового профілю кави. Експерименти є ключем до пошуку оптимальної комбінації змінних, яка відповідає вашим особистим уподобанням.

1. Розмір помелу кавової гущі відіграє вирішальну роль у екстракції. Більш тонка гуща має більшу площу поверхні, що дозволяє швидше екстрагувати ароматизатори. З іншого боку, більш грубий помел має меншу площу поверхні, що призводить до повільнішого та більш контрольованого процесу видобутку кавового екстракту. Важливо відрегулювати розмір помелу відповідно до методу заварювання, щоб забезпечити оптимальну екстракцію.

2. Спосіб заварювання значно впливає на екстракцію. Кожен метод має свій рекомендований розмір помелу та час заварювання, які визначають, скільки смаку витягується з кавової гущі. Наприклад, заварювання еспресо, як правило, має короткий час екстракції через процес заварювання під високим тиском, що призводить до концентрованого та інтенсивного смакового профілю.

3. Температура води є ще однією важливою змінною, яку слід враховувати. Вищі температури зазвичай призводять до швидшої екстракції, оскільки тепло прискорює розчинення кавових сполук. Однак надмірно гаряча вода також може призвести до надмірної екстракції та гіркоти. Важливо знайти оптимальний температурний діапазон для бажаного смаку. Рекомендований діапазон температур від 90-96°C для оптимальної екстракції.

4. Якість води може значно вплинути на видобуток екстракту. Рівень рН і вміст мінералів у воді можуть впливати на розчинність сполук кави, що призводить до варіацій у екстракції смаку. Вода зі збалансованим рівнем рН і відповідним вмістом мінералів, така як фільтрована або бутильована вода, забезпечує чисте полотно для досягнення стабільної екстракції. Розуміючи та маніпулюючи цими змінними можна взяти під контроль процес екстракції кави та досягти бажаного смакового профілю у своїй чашці. Експериментуючи з різними комбінаціями та точно налаштовуючи ці змінні можна досліджувати широкий спектр смаків і розкривати справжній потенціал кожного кавового зерна.

На основі вище зазначеного можна вважати, що розуміння екстракції кави має важливе значення для досягнення ідеальної чашки кави. Контролюючи такі змінні, як розмір помелу, спосіб заварювання, температура води та якість води можна досягти оптимального рівня екстракції та розкрити весь потенціал ваших кавових зерен. Експерименти з різними техніками та змінними можуть допомогти відкрити нові смаки. Незалежно від того, чи це регулювання розміру помелу для точного налаштування екстракції, чи випробування різних методів заварювання, щоб знайти бажаний смаковий профіль, вивчення методів екстракції кави дозволить налаштувати якість приготування кави. Завдяки кращому розумінню екстракції кави можна покращити свої знання щодо кави та щоразу насолоджуватися смачною чашкою кави.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Дослідження розміру помелу на екстракцію кави

Кава – це заварений напій, яким насолоджуються мільйони. Виготовляється з обсмажених кавових зерен, взятих з ягід рослини кава. Існує два основних види кавових зерен – арабіка і робуста. Тип зерен, а також місце їх вирощування (країна походження та висота над рівнем моря), спосіб обробки та вік зерен – все це визначає смак кави у вашій чашці. Кава багата на рослинні захисні хімічні речовини, які називаються поліфенолами, вони мають захисну, антиоксидантну дію. Найкраще підходить органічна свіжа (в зернах або мелена) кава, оскільки вона має вищий вміст антиоксидантів, а суміші світлого або середнього обсмаження кращі за темні. Те, як довго зберігалися зерна, також вплине на рівень поліфенолів, причому зниження спостерігається в кавових зернах, які зберігаються протягом 12 місяців або довше.

Екстракція – це кількість, яка витягнута з меленої кави під час процесу приготування кави. Вона відображає загальні смакові властивості отриманої кави. Використання дрібнішого розміру помелу під час заварювання кави призводить до збільшення екстракції, зміщуючи заварену каву в бік більшої гіркоти. Це пов'язано з тим, що фаза екстракції завжди відбувається одним способом, у порядку, що перекривається, коли мелена кава розчиняє свою доступну сполуку у воді залежно від її розміру та розчинності. Зміна розміру помелу (площі поверхні) змінить не порядок екстракції, а загальну кількість, що, відповідно, змінює загальні смакові характеристики [9, 21]. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у цьому процесі, оскільки він впливає на те, яка частина поверхні кави піддається впливу води. Чим менший помел, тим більша площа поверхні доступна для екстракції, тоді як більший помел, тим менша площа поверхні, що призводить до повільнішої екстракції.

Розмір помелу кави поділяється на три основні категорії: дрібний, середній та грубий. Різні розміри помелу зазвичай використовуються для конкретних методів приготування. Оптимальне поєднання розміру помелу та методу приготування дозволяє максимальному поверхневому шару контактувати з водою, щоб отримати каву високої якості. Помел, що занадто дрібний, може зменшити екстракцію, що дасть низький обсяг гіркої, переекстрагованої кави через агломерацію та недостатнє зволоження частинок. З іншого боку, помел, що занадто грубий, також може зменшити екстракцію, приводячи до неоекстрагованої кави через маленьку площу поверхні, яка є занадто маленькою, щоб утримувати воду та дозволяти розчинення і емульгування кофейних сполук.

Існує різне обладнання для зменшення розміру кави: лезові подрібнювачі, жорнові та дискові. Однією з переваг використання жорнового млина є можливість стабільно виробляти однорідний розмір помелу, що є важливим для досягнення ідеального смаку. Жорнові подрібнювачі також пропонують більший вибір розмірів помелу, які можна регулювати для різних процесів заварювання. Крім того, в порівнянні з лезовими подрібнювачами, жорнові подрібнювачі зазвичай працюють тихіше. Існує два різні типи жорнових подрібнювачів, а саме пласкі та конічні. Пласкі жорнові подрібнювачі

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

забезпечують дуже однорідний помел і добре підходять для еспресо, а також для інших методів заварювання, які потребують точності.

Пласкі подрібнювачі для кави зазвичай складається з кількох важливих компонентів. Бункер, який виготовлений з нержавіючої сталі, є початковим місцем для зберігання кавових зерен перед подрібненням. Основний компонент подрібнювача для кавових зерен є млин плоских абразивних дисків, які подрібнюють кавові зерна до необхідного розміру [18]. Швидкість і потужність двигуна, що приводить у дію подрібнювач впливають на ефективність. Обладнання уможливує регулювання помелу, що дозволяє користувачам змінювати відстань між млинами, тим самим впливаючи на розмір кавового помелу (рис. 3.1).

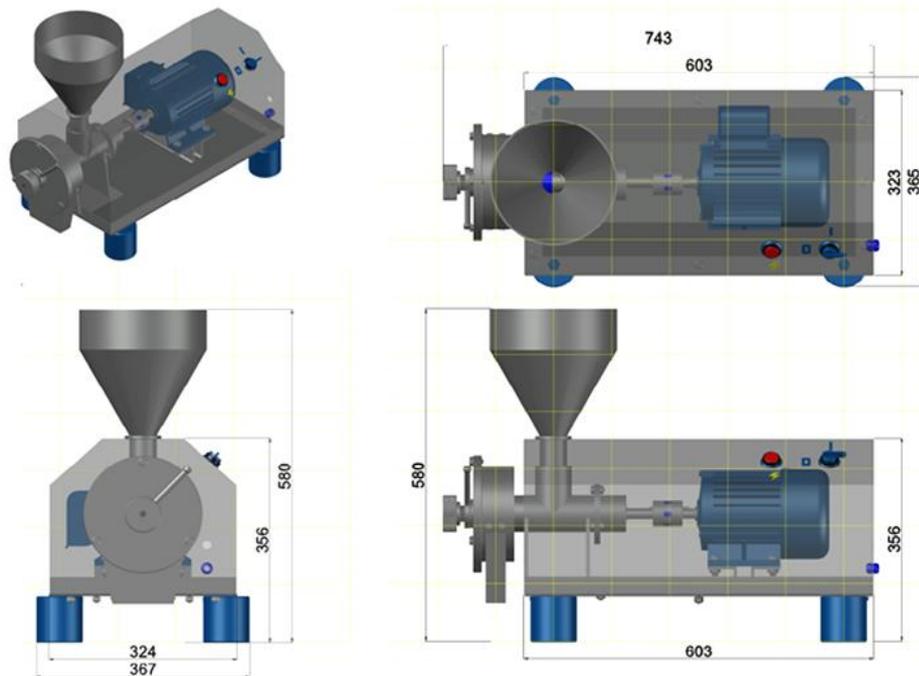


Рисунок 3.1 – Обладнання для подрібнення кавових зерен

Розмір основних компонентів.

1. Потужність. Щоб розрахувати потужність, необхідно обчислити ефективну площу кавового зерна (рис. 3.2).

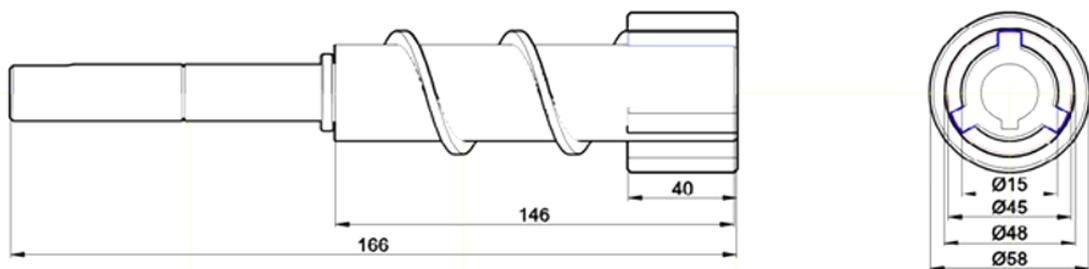


Рисунок 3.2 – Ефективна площа кавового зерна

$$A = \frac{\pi}{4} (A_1)^2 - \frac{\pi}{4} (A_2)^2 - 3 (A_3)^2$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$A = \frac{\pi}{4} (48)^2 - \frac{\pi}{4} (45)^2 - 3 (4)^2$$

$$A = 171 \text{ mm}^2$$

На основі розрахунків було встановлено, що ефективна площа обсмаженого кавового зерна становить 171 мм². Середня поперечна площа обсмаженого кавового зерна становить 35,97 мм. Враховуючи, що загальна кількість кави, яка може потрапити в цей простір, становить 171/35.97. Кожне обсмажене кавове зерно важить у середньому 0,17 г. Відповідно, вага кавових зерен, які потрапляють у млин, складає 5 помножити на 0,17 г, що дорівнює 0,85 г [18]. Двигун працює на 1400 обертах на хвилину, враховуючи, що ефективність подрібнювача становить 80%. Отже, потужність можна розрахувати наступним чином: $Q = 1400 \times 0,85 \times 0,8$ г/хв, що дає $Q = 0,952$ кг/хв або $Q = 57,12$ кг/год для грубого кавового помелу. Враховуючи ефективність 0,5 для отримання дрібного кавового помелу вихід порошку, який можна виробити, становитиме приблизно 23,8 кг/год.

2. Необхідна потужність.

На рисунку 3.3 зображено розміри плоского жорнового подрібнювача. Розрахуємо необхідну потужність:

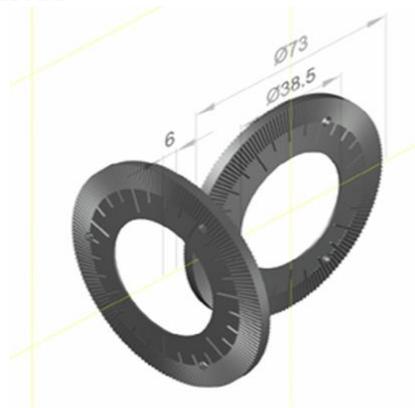


Рисунок 3.3 – Дисковий подрібнювач з розмірами

$$T = F \times r$$

де T – крутний момент;

r – радіус подрібнювача;

F – маса млина.

$$T = (1 \times 9.80 \times 73) / (1000 \times 2) \text{ Nm}$$

$$T = 0.3577 \text{ Nm}$$

$$\omega = 1400 \times 2\pi / 60 = 146.61$$

де ω – кутова швидкість.

$$P = 0.3577 \text{ Nm} \times 146.61 \text{ rad/s} = 52.45 \text{ W}$$

де P – потужність.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Основні параметри обладнання для подрібнення кавових зерен

Параметр	Розмір
1. Загальні розміри, мм	
Довжина	743
Ширина	367
Висота	580
2. Двигун приводу	
Тип	Індукція
Потужність	
Обертання, об/хв	1400
Діаметр валу, мм	19
3. Подрібнювач, мм	
Діаметр кришки корпусу жорна	95
Діаметр корпусу жорна	85
Діаметр статичного жорна	73
Діаметр динамічного жорна	73
Ширина зубців диска	18
4. Універсальна система подачі та розподілу, мм	
Висота	490
Розмір вхідної лійки	250 × 180
Розмір вхідного отвору	45
Розмір вихлопного отвору	70 × 30

У роботі досліджено вплив розміру помелу на якість екстракції кави. Для цього за допомогою відповідних налаштувань подрібнювача для кави було отримано різні розміри помелу, а саме дрібний помел, середньо-дрібний помел, середній помел та грубий помел.

1. Кава дрібного помелу має зерна, які перемелені до 200-400 мкм, як цукрова пудра (рис. 3.4). Маленькі шматочки кави мають більшу площу поверхні і тому вони швидко вивільняють аромат. Подрібнюйте кавові зерна від 20 до 30 секунд, щоб отримати правильну текстуру та повний смак для заварювання.



Рисунок 3.4 – Кава дрібного помелу

2. Кава середнього дрібного помелу має середній і дрібний розмір. Частинки кави мають розмір від 400 до 600 мікрон і на дотик м'які та трохи піщані. Кава середнього дрібного помелу не підходить для заварювання з повним зануренням, оскільки її дрібні частинки можуть прослизнути через фільтри та зробити заварку піщаною, надмірно міцною та гіркою (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Кава середнього дрібного помелу

3. Кава середнього помелу – це збалансований помел між дрібним і грубим помелом, зазвичай розміром від 800 до 1000 мікрон (від 0,8 до 1,0 мм). Частинки в каві середнього грубого помелу більші, ніж у крапельному помелі, але менші, ніж у каві грубого помелу (рис. 3.6). Ця шорстка текстура допомагає рівномірно екстрагувати смак під час заварювання. Кава середнього помелу підходить для фільтрувального заварювання, оскільки вона витягує аромат не забиваючись. Кава середнього помелу ефективно витягує аромат і створює збалансований смак. Кава середнього помелу погано підходить для еспресо або турецької кави.



Рисунок 3.6 – Кава середнього помелу

4. Кава грубого помелу подрібнюється до великого розміру частинок, як морська сіль. Її видимі, кремезні частинки забезпечують рівномірний потік води та запобігають появі гіркоти (рис. 3.7). Цей розмір помелу найкраще підходить для заварювання з повним зануренням, оскільки потрібно більше часу для замочування кави, щоб витягнути смак. Розмір частинок зазвичай коливається від 1000 до 1200 мкм.



Рисунок 3.7 – Кава грубого помелу

Графік залежності ступеня подрібнення кавового зерна (дрібний помел, середній помел та грубий помел) від часу наведено на рисунку 3.8.

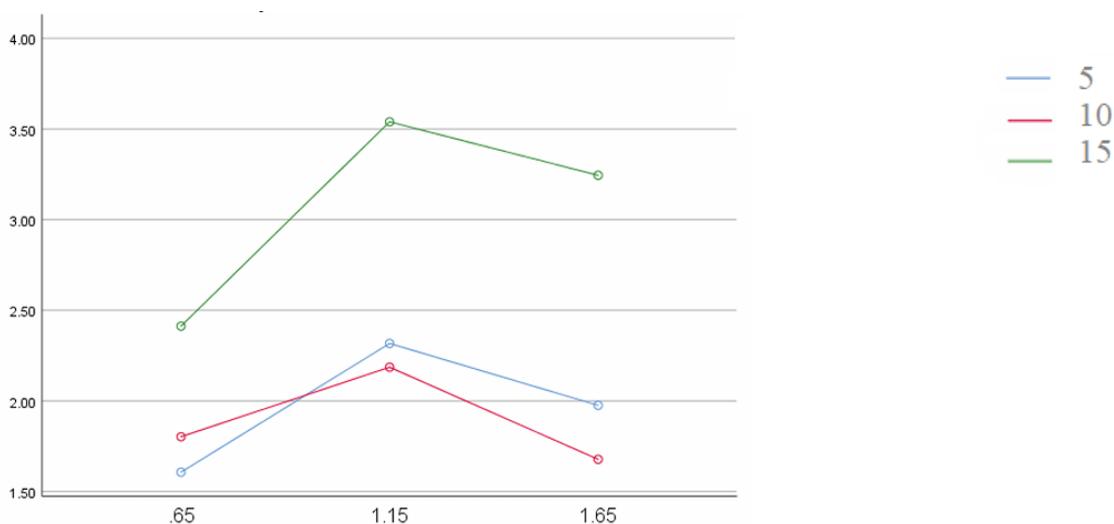


Рисунок 3.8 – Графік залежності ступеня подрібнення кавового зерна від часу

Отримані результати свідчать, що час як і ступінь подрібнення кавових зерен має вплив на якість кави. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у екстракції кави. Більш тонка гуща витягується швидше, а грубіша – повільніше. Розмір кавової гущі визначає площу поверхні, доступну для екстракції. Наприклад, якщо подрібнити каву занадто дрібно це може призвести до надмірної екстракції та гіркового смаку. З іншого боку, якщо помел занадто грубий, може статися недостатня екстракція, що призведе до слабкої та недостатньої для чашки кави. Важливо підібрати правильний розмір помелу, який відповідає вашому способу заварювання та особистим смаковим уподобанням. Тривалість контакту води з кавовою гущею є також важливим фактором. Так, довший час заварювання витягує більше смаків, але також може призвести до надмірної екстракції, якщо його не контролювати належним чином [8]. Графік загального аромату за розміром помелу та часом заварювання наведено на рисунку 3.9. – Результати дослідження наведені в таблиці 3.3.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

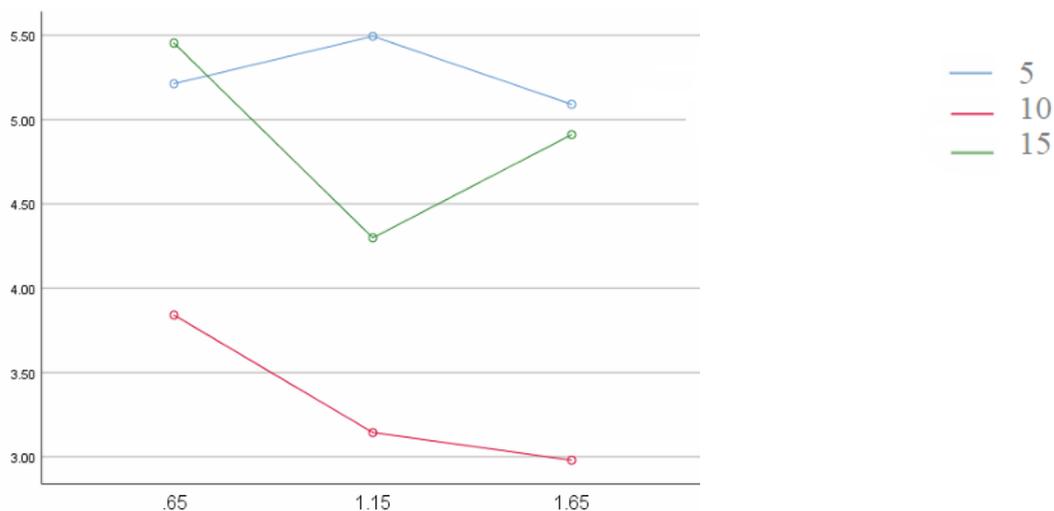


Рисунок 3.9 – Графік загального аромату за розміром помелу та часом заварювання

Таблиця 3.3 – Результати дослідження

Екстракція	Переваги	Недоліки
Недостатня екстракція при грубому помелі та малому часу заварювання.	Яскрава кислотність може підкреслити певні унікальні смаки в деяких сортах кави.	Кислий, слабкий, солонуватий.
Збалансована екстракція при середньому помелі при середньому часі заварювання.	Солодкий, складний, збалансований смак, приємний аромат.	Вимагає ретельного контролю параметрів заварювання.
Надмірна екстракція при тонкому подрібненні при збільшеному часі заварювання.	Іноді може виявляти глибші та темніші смаки в певних темних обсмаженнях.	Гіркий, терпкий, жорсткий, сухий, порожнистий.

На основі вище зазначеного можна вважати, що кава – це заварений напій, яким насолоджуються мільйони, який виготовлений з обсмажених кавових зерен, взятих з ягід рослини кава. Існує два основних види кавових зерен – арабіка і робуста. Тип зерен, а також місце їх вирощування (країна походження та висота над рівнем моря), спосіб обробки та вік зерен – все це визначає смак кави у вашій чашці. Кава багата на рослинні захисні хімічні речовини, які називаються поліфенолами, вони мають захисну, антиоксидантну дію. Найкраще підходить органічна свіжа (в зернах або мелена) кава, оскільки вона має вищий вміст антиоксидантів, а суміші світлого або середнього обсмаження кращі за темні.

Зазначено, що екстракція – це кількість, яка витягнута з меленої кави під час процесу приготування кави. Вона відображає загальні смакові властивості отриманої кави. Використання дрібнішого розміру помелу під час заварювання кави призводить до збільшення екстракції, зміщуючи зварену каву в бік більшої

гіркоти. Це пов'язано з тим, що фаза екстракції завжди відбувається одним способом, у порядку, що перекривається, коли мелена кава розчиняє свою доступну сполуку у воді залежно від її розміру та розчинності. Зміна розміру помелу (площі поверхні) змінить не порядок екстракції, а загальну кількість, що, відповідно, змінює загальні смакові характеристики. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у цьому процесі, оскільки він впливає на те, яка частина поверхні кави піддається впливу води. Чим менший помел, тим більша площа поверхні доступна для екстракції, тоді як більш грубіший помел має меншу площу поверхні, що призводить до повільнішої екстракції кави.

Розмір помелу кави поділяється на три основні категорії: дрібний, середній та грубий. Різні розміри помелу зазвичай використовуються для конкретних методів приготування. Оптимальне поєднання розміру помелу та методу приготування дозволяє максимальному поверхневому шару контактувати з водою, щоб отримати каву високої якості. Помел, що занадто дрібний, може зменшити екстракцію, що дасть низький обсяг гіркої, переекстрагованої кави через агломерацію та недостатнє зволоження частинок. З іншого боку, помел, що занадто грубий, також може зменшити екстракцію, приводячи до неоекстрагованої кави через маленьку площу поверхні, яка є занадто маленькою, щоб утримувати воду та дозволяти розчинення і емульгування кофейних сполук.

Досліджено вплив розміру помелу на якість екстракцію кави. Для цього за допомогою відповідних налаштувань подрібнювача для кави було отримано різні розміри помелу, а саме дрібний помел, середньо-дрібний помел, середній помел та грубий помел. Результати показали, що час як і ступінь подрібнення кавових зерен має вплив на якість кави. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у екстракції кави. Більш тонка гуща витягується швидше, а грубіша – повільніше. Розмір кавової гущі визначає площу поверхні, яка доступна для екстракції. Наприклад, якщо подрібнити каву занадто дрібно це може призвести до надмірної екстракції та гіркого смаку. З іншого боку, якщо помел занадто грубий, може статися недостатня екстракція, що призведе до слабкої та недостатньої для чашки кави. Важливо підібрати правильний розмір помелу, який відповідає відповідному способу заварювання та особистим смаковим уподобанням. Тривалість контакту води з кавовою гущею є також важливим фактором. Так, довший час заварювання витягує більше смаків, але також може призвести до надмірної екстракції, якщо його не контролювати належним чином.

Спостерігалася недостатня екстракція при грубому помелі та малому часу заварювання (кава має яскраву кислотність, може підкреслити певні унікальні смаки в деяких сортах кави).

Збалансована екстракція при середньому помелі та середньому часі заварювання (кава має солодкий, складний, збалансований смак, приємний аромат).

Надмірна екстракція при тонкому подрібненні при збільшеному часі заварювання (кава іноді може виявляти глибші та темніші смаки в певних темних обсмаженнях).

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена дослідженню процесу помелу гранульованої сировини, а саме кавового зерна та удосконалення кавомашини на основі засобів автоматизації. У роботі зазначено, що процес помелу кавових зерен є критично важливим етапом, який безпосередньо впливає на смак і якість кінцевого заварювання. Досягнення рівномірності розміру помелу має важливе значення, оскільки це впливає на те, як кавова гуща витягується під час заварювання.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для помелу кавового зерна. Зазначено, що помел кави – це дрібні, грубі або дрібні частинки мелених кавових зерен, які готують до заварювання. Сім розмірів помелу кави варіюються від дуже грубого до дуже тонкого. Кожен розмір помелу кави відрізняється текстурою, розміром частинок у мікронах та зовнішнім виглядом. Вони також розрізняються за тим, як швидко вода протікає через них, яка площа поверхні піддається екстракції, який опір вони створюють воді та наскільки рівномірно вони витягують смак залежно від використовуваного методу заварювання

Аналіз дослідження наукових джерел дав змогу виявити, що для подрібнення кавових зерен використовують кавомолки та кавомашини з функцією подрібнення зерен. Помел кави здійснюється за допомогою комерційних або домашніх кавомолок для подрібнення цілих зерен до потрібного розміру. Кавомолки поділяються на два типи: лезові та жорнові кавомолки. Лезові кавомолки використовують обертові леза, щоб подрібнити каву на менші частинки, а розмір помелу регулюється часом. У жорнових подрібнювальних машинах використовуються два диска з гострими зубцями (пласкими або конічними), які виготовлені з кераміки або нержавіючої сталі.

Вважається за доцільне змінити розмір та профіль валків для подрібнення кави: перша пара валків матиме більший розмір та більший профіль подрібнення, а друга пара валків менший розмір та менший профіль подрібнення кавового зерна.

Другий розділ присвячено удосконаленню кавомашини для отримання подрібнених частинок однакових за розміром. Помел кавових зерен є важливим етапом у приготуванні кави. Подрібнюючи зерна на більш дрібні частинки можна контролювати швидкість розчинення кавових сполук під час заварювання, що безпосередньо впливає на смак, аромат і якість. Розмір цих частинок – від дрібних до грубих – впливає на те, як вода взаємодіє з кавою під час екстракції. Досягнення однорідного розміру помелу для конкретного способу заварювання має важливе значення при приготуванні кави. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у цьому процесі, оскільки він впливає на те, яка частина поверхні кави піддається впливу води. Чим менший помел, тим

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Коваль</i>				Дослідження процесу помелу гранульованої сировини та удосконалення кавомашини	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						43	2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

більша площа поверхні доступна для екстракції, тоді як більш грубіший помел має меншу площу поверхні, що призводить до повільнішої екстракції кави.

Використання сенсорних технологій в харчовій промисловості може підвищити ефективність та точність якості помелу кавових зерен. Інфрачервоні сенсори, наприклад, можуть виявляти зміни вологості кавових зерен з високою точністю, тоді як фототранзистори здатні виявляти зміни інтенсивності світла під час подрібнення. Під час контакту зі світлом фототранзистор генерує електричний струм, що співвідноситься з інтенсивністю світла, яке він отримує. Сенсор є надзвичайно корисним в застосуваннях, що вимагають виявлення світла або його змін, таких як у помелених кавових зерен для виявлення розміру часток отриманого помелу.

Запропоновано три складові підсистеми керування кавомашиною з вхідними компонентами: гідравлічна, екстракційна, подрібнювальна системи. На основі ґрунтового аналізу роботи кожної з підсистем здійснено удосконалення система автоматичного регулювання процесу подрібнення кавових зерен в кавомашині задля отримання подрібнених частинок однакових за розміром з інтеграцією сервомеханізму, який забезпечує точний контроль над процесом помелу. Двигуни забезпечують точне керування, підвищену точність швидкості та знижене споживання енергії порівняно з традиційними моторними системами, що сприяє вищій пропускну здатності та нижчим експлуатаційним витратам.

У третьому розділі зазначено, що екстракція – це кількість, яка витягнута з меленої кави під час процесу приготування кави. Досліджено вплив розміру помелу на якість екстракції кави. Для цього за допомогою відповідних налаштувань подрібнювача для кави було отримано різні розміри помелу, а саме дрібний помел, середньо-дрібний помел, середній помел та грубий помел. Результати показали, що час як і ступінь подрібнення кавових зерен має вплив на якість кави. Розмір помелу відіграє вирішальну роль у екстракції кави. Більш тонка гуща витягується швидше, а грубіша – повільніше. Розмір кавової гущі визначає площу поверхні, яка доступна для екстракції. Наприклад, якщо подрібнити каву занадто дрібно це може призвести до надмірної екстракції та гіркого смаку. З іншого боку, якщо помел занадто грубий, може статися недостатня екстракція, що призведе до слабкої та недостатньої для чашки кави. Важливо підібрати правильний розмір помелу, який відповідає відповідному способу заварювання та особистим смаковим уподобанням. Тривалість контакту води з кавовою гущею є також зважливим фактором. Так, довший час заварювання витягує більше смаків, але також може призвести до надмірної екстракції, якщо його не контролювати належним чином.

Спостерігалася недостатня екстракція при грубому помелі та малому часу заварювання (кава має яскраву кислотність, може підкреслити певні унікальні смаки в деяких сортах кави). Збалансована екстракція при середньому помелі та середньому часі заварювання (кава має солодкий, складний, збалансований смак, приємний аромат). Надмірна екстракція при тонкому подрібненні при збільшеному часі заварювання (кава іноді може виявляти глибші та темніші смаки в певних темних обсмаженнях).

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Investigation of the coffee grinding process. URL: <https://essay.utwente.nl/72035/1/>.
2. Coffee grinds: types, sizes, and brewing methods. URL: <https://colipsecoffee.com/blogs/coffee/grinds>.
3. Помел кави і його види. Режим доступу: <https://yak.koshachek.com/articles/pomel-kavi-i-jogo-vidi.html>.
4. Який помел кави потрібен для еспресо, фільтр-кави та френч-пресу? Режим доступу: <https://styleman.com.ua/yakuj-pomel-kavy-potriben/>.
5. Види кавомолок та особливості їх роботи. Режим доступу: <https://gardman.ua/ua/vidy-kofemolok-i-osobennosti-ix-raboty>.
6. Innovations in coffee grinding technology: new advancements transforming the industry. URL: <https://vinanhatrang.com/innovations-in-coffee-grinding-technology-new-advancements-transforming-the-industry/>
7. Види кавомашин і кавоварок. Режим доступу: <https://blog.mta.ua/yaki-buvayut-kavomashini-detalnij-oglyad/>.
8. Органолептична оцінка якості кави та кавових напоїв. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/12119178/page:9/>.
9. Екстракція кави. Режим доступу: <https://optom-obuv.com.ua/ekstraksiya-kavi/>.
10. Essentials of coffee extraction explained. URL: <https://caffeinemasters.com/understanding-coffee-extraction/>.
11. The development and impact of a servo-controlled coffee bean grinder. URL: <https://vinanhatrang.com/development-and-impact-of-servo-controlled-coffee-bean-grinder/>.
12. Серводвигуни. Режим доступу: <https://drivesystems.com.ua/servomotors>.
13. Ремонт серводвигуна. Режим доступу: <https://amperservice.com.ua/remont/servodvygun/>.
14. How do industrial coffee grinders work? coffee grinder mechanisms explained. URL: <https://vinanhatrang.com/how-do-industrial-coffee-grinders-work/>.
15. Що таке фототранзистор: робота та його застосування. Режим доступу: <https://uk.fmuser.net/content/?20910.html>.
16. Букало Д.М. Розробка та дослідження кавомашини з пристроєм подачі додаткових інгредієнтів / Д.М. Букало, В.В. Стаценко // Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості : матеріали І Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (17 листопада 2020 р., м. Київ) / за заг. ред. О. М. Ніфатової. К. : КНУТД, 2020. С. 455-459.
17. Дослідження роботи двигуна жорнової кавомолки автоматичної кавомашини. Режим доступу: https://labmv.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/9725/1/MSIE2018_P128-129.pdf.
18. Development of flat burr coffee grinding machine for small and medium enterprises scale. URL: <https://www.researchgate.net/publication/387643646>.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

19. Control systems in the food industry: enhancing efficiency, safety, and traceability. URL: <https://pmg.engineering/Article/161/control-systems-in-the-food-industry-enhancing-efficiency-safety-and-traceability/>.

20. Computer-controlled automation of coffee bean drying and grinding system menggunakan sensor infra red dan sensor fototransistor. URL: <https://paperity.org/p/348137943/computer-controlled-automation-of-coffee-bean-drying-and-grinding-system-menggunakan>.

21. Дослідження ступеня помелу кави та його впливу на якість напою. Режим доступу: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/092de8d6-a16a-4a8b-8b07-e084cbcd6a5e/content>.

22. Бубликов А.В. Автоматизация процессов керування видобувними машинами на основі алгоритмів нечіткого виводу. Режим доступу: https://uacademic.info/ua/document/0520U101453#google_vignette.

23. Автоматизация систем на виробництві для приготування кави. Режим доступу: <https://gvp.com.ua/ua/news/avtomatyzaciya-system-na-vyrobnyctvi-dlya-prygotuvannya-kavy>.

24. Brew master: smart coffee making machine. URL: <https://www.ijraset.com/research-paper/brew-master-smart-coffee-making-machine>.

25. Integrated electromechanical systems with numerical control for coffee machines. URL: <https://repository.utm.md/xmlui/bitstream/handle/5014/27293/>.

26. Принцип роботи професійної кавомашини. Режим доступу: <https://bezzera.com.ua/shema-i-pryntsyup-roboty-profesijnoyi-kavomashyny/>.

27. Принцип роботи кавомашини, її будова та компоненти. Режим доступу: <https://remont-coffemashin.com.ua/2024/08/16/prynczyp-roboty-kavomashyny/>.

28. Схема роботи професійних кавомашин. Режим доступу: <https://espressomashina.com.ua/ua/news-coffee/kofemashina-shema-raboty>.

29. Food grade servo motor consumer behavior dynamics: key trends 2025-2033. URL: <https://www.datainsightsmarket.com/reports/food-grade-servo-motor-1562665#segments>

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		