

Державний вищий навчальний заклад
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Факультет природничих наук
Кафедра хімії

Магістерська робота
на тему: «Дослідження хімічного складу і властивостей кавових
екстрактів»
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра за
спеціальністю 102 «Хімія»

Виконала: студентка групи -2м

Спеціальності 102 – Хімія

Ст. гр. Х-2М Рега А.В.

Керівник: проф. д.т.н. Курта С.А.
Рецензент: доц. к.т.н. Хацевич О.М.

Івано-Франківськ – 2024 р.

Анна Рега. Дослідження хімічного складу і властивостей кавових екстрактів. Магістерська робота на здобуття освітнього рівня магістра за спеціальністю 102 – Хімія. – Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. – Івано-Франківськ, 2024. – 72 с.

Магістерська робота являє собою рукопис, що включає результати досліджень хімічних процесів термообробки, її стадій, а також фізико-хімічних процесів рідкофазної екстракції зернової кави. Робота присвячена екстракції ароматичних сполук із кави за допомогою спиртово-водних розчинів у скляному екстракторі Сокслета, а також якісному і кількісному аналізу складу отриманих кавових екстрактів. У дослідженні представлені хіміко-технологічні параметри процесів термообробки, подрібнення та екстрагування зерен кави сортів Арабіка та Робуста, а також їх сумішей-блендів для отримання ароматичних і смакових властивостей методом водно-парової дистиляції. Додатково досліджено методи якісного та кількісного аналізу складу ароматичних речовин кави з використанням дистиляції з водяною парою, етанолом та їх сумішшю. 72 с., Рис. 23, Табл. 8, Літ. 15.

Ключові слова: кавові зерна, термічна обробка, ароматичні речовини, леткі сполуки, кофеїн, екстракти.

Anna Rega. Study of the chemical composition and properties of coffee extracts. Master's thesis for obtaining a master's degree in specialty 102 - Chemistry. – Prykarpattia National University named after Vasyl Stefanyk. - Ivano-Frankivsk, 2024. - 72 p.

The master's thesis is a manuscript that includes the results of research into chemical processes of heat treatment, its stages, as well as physical and chemical processes of liquid phase extraction of coffee beans. The work is devoted to the extraction of aromatic compounds from coffee using alcohol-water solutions in a glass Soxhlet extractor, as well as qualitative and quantitative analysis of the composition of the obtained coffee extracts. The research presents the chemical and technological parameters of the processes of heat treatment, grinding and extraction of Arabica and Robusta coffee beans, as well as their blends-blends for obtaining aromatic and taste properties by the method of water-steam distillation. In addition, the methods of qualitative and quantitative analysis of the composition of aromatic substances of coffee using steam distillation, ethanol and their mixture were investigated. 72 p., Fig. 23, Tabl. 8, Lit. 15.

Key words: coffee beans, heat treatment, aromatic substances, volatile compounds, caffeine, extracts.

Зміст

Вступ.....	5
Розділ 1. Теоретична частина.....	9
1.1. Історія та методи термообробки зеленої кави.....	9
1.2. Порівняння хімічного складу зеленої та чорної кави	12
1.3. Переваги обсмажування кавових зерен у НВЧ-печі порівняно з традиційним способом	14
1.4. Основи мікрохвильового нагріву.....	18
1.6. Особливості регулювання температури в НВЧ-реакторах	21
1.7. Конструкція реактора мікрохвильової технології в НВЧ-печах.....	26
Розділ 2. Експериментальна частина.....	27
2.1. Спеціальна лабораторна установка для дистиляції ароматів кави з водяною парою.....	27
2.2. Характеристика мікрохвильового хімічного реактора WBFY-201 для обсмажування зерен зеленої кави.....	29
2.2.3. Особливості конструкції мікрохвильового реактора WBFY-201.....	31
2.2.4. Установка мікрохвильового реактора WBFY-201.....	34
2.2.5. Технологічні процедури на НВЧ-реакторі WBFY-201.....	34
2.2.6. Техобслуговування НВЧ-реактора WBFY-201.....	36
2.2.7. Післяопераційне техобслуговування НВЧ-реактора WBFY-201.....	37
2.3. Термохімічний процес мікрохвильової термообробки зеленої кави....	38
2.4. Способи та умови помелу зерен кави після обсмажування.....	41
2.5. Методи водно-парової дистиляції ароматних речовин з меленої кави....	44
Розділ III. Обговорення результатів.....	47

3.1 Результати термообробки зелених зерен кави в НВЧ-печі.....	47
3.2. Диференціальний термічний аналіз термооброблених зерен кави	49
3.3. Процес виділення ароматних хімічних сполук з кави дистиляцією з водяною парою.....	51
3.4. Методологія виділення ароматних хімічних складників з кави дистиляцією з розчином етанолу	53
3.5. Вивчення хімічного складу водно-спиртових дистилятів кави.....	58
3.5.1. Ідентифікація розмірів частинок кави у водно-спиртових екстрактах натуральної кави	58
3.5.2. Інфрачервоний спектральний аналіз і мас-спектроскопія кавових екстрактів у воді та етанолі	59
3.5.3. Органолептичний опис кави та сенсорний розбір її дистилятів.....	66
Висновки.....	70
Список використаних літературних джерел.....	71

ВСТУП

Зелена та чорна кава — це один з найбільш поширених напоїв, який відомий своїм неповторним смаком та ароматом, а також стимулюючими властивостями завдяки вмісту кофеїну, особливо в чорній каві. Зелені кавові зерна вирощуються в різних куточках світу, від Південної Америки та Африки до високогірних районів Азії та Океанії. Існують різні сорти кави, такі як Арабіка, Робуста та Мокка, що відрізняються між собою за розмірами, формою, ароматом, смаковими якостями та вмістом кофеїну. Зерна чорної кави містять низку сполук, які визначають смак і аромат готового напою. Кофеїн, ефедрин, а також інші алкалоїди кави мають стимулюючий ефект, що сприяє підвищенню енергії та бадьорості, тоді як інші компоненти впливають на органолептичні характеристики. Окрім цього, кава містить алкалоїди, антиоксиданти і фітонутрієнти, які захищають рослину від шкідливих факторів, таких як мікроби, грибки та інші загрози.

Популярність як натуральної, так і розчинної кави значно перевищує попит на інші продукти, такі як газ, золото, кукурудза, нафта та цукор. Щороку споживачі випивають понад 500 мільярдів чашок кави по всьому світу, що свідчить про її величезне значення і любов до цього напою завдяки його неповторним смаковим і ароматичним властивостям. Під час приготування кави всі її компоненти починають взаємодіяти, що дозволяє розкритися аромату і смаку напою. Оскільки кава має численні сенсорні, біохімічні, ароматичні та смакові характеристики, вивчення умов її термообробки, подрібнення та екстракції в різних розчинах є актуальним напрямком наукових досліджень.

Дослідження хімічної структури кави дозволяє вивчити її склад, визначити, які саме інгредієнти впливають на її смак, аромат та корисні властивості для організму людини вцілому. Інноваційні технології, методи вирощування, термообробки кавових зерен та їх зберігання допомагають змінювати якісно кількісний склад напою, що має велике значення для виробництва кавових напоїв і продуктів харчування. Кавові зерна активно використовуються в харчовій промисловості для виготовлення різних продуктів, таких як розчинна

кава, кавові напої, екстракти, ефірні олії і т.д. Тому кава є важливим продуктом для науки та суспільства, і продовжує привертати увагу науковців у всьому світі.

Актуальність теми. Науковці та дослідники активно вивчають аромати та смакові властивості, що виникають під час термічної обробки, зокрема обсмажування та приготування кави. Для цього застосовуються різноманітні аналітичні методи, такі як диференційно-термічний аналіз (ДТА), газорідинна хроматографія, спектроскопія та інші техніки. У зеленій та чорній каві містяться різноманітні хімічні сполуки, такі як карбонові кислоти, етилбутират, етилгліколат, метилізорборніл і трихлоранізол, фенольні сполуки, а також інші біологічно активні компоненти. Вони взаємодіють між собою, створюючи унікальне поєднання смаку та аромату кави, що має таку популярність серед споживачів.

Основні складові кави виявляються після термічної обробки та екстракції речовин, розчинених в подрібнених зернах, у гарячій воді. Для екстракції смакових компонентів зазвичай потрібно більше часу, ніж для виділення ароматичних сполук. Процес екстракції смакових і ароматичних інгредієнтів кави і води триває по-різному, при цьому органолептичні характеристики смаку потребують більших часових витрат. Дегустатори з усього світу висловлюють думки про важливість досліджень якості та кількості кави, яку споживають люди. Вони наголошують на необхідності подальших досліджень органолептичних і споживчих характеристик кавових зерен та екстрактів у хімічних лабораторіях по всьому світу. Таким чином, вивчення хімічного та сенсорного складу кави, а також екстракції її ароматичних та смакових компонентів з використанням води та (або) етилового спирту, є надзвичайно важливим і актуальним напрямом для наукових досліджень і практичних застосувань.

Мета та завдання досліджень.

Метою цієї роботи є: 1) вдосконалення методів термічної обробки зеленої та чорної кави; 2) дослідження процесів подрібнення та екстракції кави; 3) моделювання та аналіз кавових екстрактів за допомогою різних фізико-хімічних

методів. Для цього використовуються такі методи, як диференційно-термічний аналіз (ДТА), мікрохвильова обробка зеленої кави в НВЧ-печах, Мас-спектроскопія, інфрачервона спектроскопія (ІЧ) та інші методи для вивчення молекулярно-масового розподілу екстрагованих речовин.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Провести літературно-патентний огляд властивостей біологічно активних, ароматичних та смакових компонентів зеленої та чорної кави.
2. Здійснити теоретичні та практичні дослідження нових методів термічної обробки та ступеня подрібнення кавових зерен, зважаючи на умови температури, тривалості та фракційно-масового розподілу зерен під час подрібнення.
3. Розробити нові підходи для виділення, вилучення та дослідження ароматичних компонентів у каві.

Об'єктом дослідження слугували водно-спиртові екстракти з подрібнених зерен чорної та зеленої кави різних сортів і способів приготування.

Предметом дослідження є хіміко-біологічні активні природні сполуки кави, зокрема ароматичні, харчові, а також смакові компоненти, що містяться в кавових зернах і їх водно-спиртових екстрактах.

Методи дослідження: Застосовано різні підходи до підготовки кавових зерен і порошків, термохімічної обробки, ступеня подрібнення, а також методи екстракції ароматичних і смакових компонентів зеленої та чорної кави у вигляді водних та водно-спиртових екстрактів і розчинів.

Обґрунтованість, точність і надійність отриманих висновків та результатів підтверджено значною кількістю літературних, теоретичних і експериментальних даних, здобутих за допомогою комплексу сучасних методів аналітичного й експериментального дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень були детально розглянуті властивості різних сполук кави, які утворюються під час термообробки, подрібнення та екстракції кави за допомогою пари, води та етилового спирту, а також їх хімічний склад. Вперше було досліджено розміри

наночастинок ароматичних сполук, отриманих з водно-спиртового екстракту кави методом парової дистиляції, та проаналізовано їх склад і властивості.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі та систематизації наукової літератури, селективному відборі та дослідженні ароматичних сполук кави, а також вивченні їх властивостей. На основі цього були сформульовані висновки, які знайшли відображення в рукописі.

Структура та обсяг роботи. Структура роботи побудована відповідно до мети, завдань та логіки проведених досліджень. Наукова робота складається з таких частин: вступ, літературний огляд, експериментальний розділ, обговорення результатів, висновки, а також список використаних джерел (15 позицій). Загальний обсяг магістерської роботи становить 72 сторінок, зокрема: 23 рисунки, 8 таблиць, 15 джерел літератури.

РОЗДІЛ I

1.1. Історія та методи термообробки зеленої кави

Обсмажування кави є важливим етапом, що визначає її смакові та ароматичні характеристики. Історія цього процесу є насиченою культурними та технічними вдосконаленнями, які призвели до сучасних методів обробки кавових зерен.

Зелена та чорна кава має своє походження в ефіопському регіоні Кафа. За однією з легенд, пастух на ім'я Калді помітив, що його кози стають більш активними після поїдання плодів кавового дерева. Вражений цим, він сам спробував ягоди і відчув їх стимулюючий ефект. Ця подія датується IX століттям, хоча історичні дані свідчать, що кавові дерева почали культивувати набагато раніше.

Перші спроби термічного оброблення кавових зерен були досить простими — зерна обжарювали на відкритому вогні або гарячих каменях, що забезпечувало лише часткову трансформацію зеленої кави в чорну.

У XV столітті обжарювання кави набуло популярності в арабських країнах, зокрема в Ємені, де каву почали обсмажувати та варити як напій під назвою "кахва". Цей метод швидко розповсюдився в мусульманському світі, і кав'ярні стали важливими соціальними центрами для обміну думками та ідеями.

Вже у XVI столітті обжарювання кави стало популярним в межах Османської імперії. Чорна та зелена кава увійшла в османську культуру, і кав'ярні, що носили назву "кахве-ханеси", стали важливими місцями для зборів. В цей період зерна обсмажували в спеціальних глиняних або металевих посудинах, які нагрівалися на вугіллі або вогні.

Кава потрапила до Європи через торгові маршрути, що проходили через Венецію та інші портові міста. У XVII столітті в Лондоні, Парижі, Відні та інших європейських столицях почали відкриватися кав'ярні. На той час обжарювання кавових зерен у Європі проводилось вручну, за допомогою простих металевих сковоріток або обертових барабанів, які нагрівалися на вогні. З розвитком

кав'ярень виникла потреба у більш ефективних і масштабних методах обробки зерен.

Індустріальна революція в XIX столітті внесла важливі зміни в технологію обжарювання кави. З появою парових двигунів та механічних систем обертання були створені перші промислові машини для обсмажування кави — ростери. Це обладнання дозволяло обробляти великі обсяги кави та забезпечувати рівномірніше термічне оброблення зерен.

Один із перших комерційних ростерів був запатентований у США Джонатаном Уоллесом у 1846 році. Він використовував механічний барабан, який обертася над джерелом тепла, що дозволяло досягти рівномірного нагрівання кавових зерен.

У XX столітті технології обжарювання кави були значно удосконалені. З'явилися нові методи, такі як інфрачервоне обжарювання та теплове повітряне оброблення, що дозволило підвищити якість кінцевого продукту.

Барабанні ростери є одним із найбільш популярних методів термічного оброблення кавових зерен. Вони складаються з обертового барабана, в якому зерна нагріваються до необхідної температури.

1. Принцип роботи: Зерна кави обертаються всередині барабана, що дозволяє забезпечити рівномірне прогрівання з усіх боків. Тепло передається через стінки барабана та за допомогою конвекційного повітряного потоку.

2. Переваги: Барабанні ростери дозволяють точно регулювати температуру і час обробки, що дає можливість отримувати стабільну якість кави. Вони також гарантують рівномірне обсмажування зерен, що сприяє гарному смаку та аромату кави.

3. Недоліки: Процес обжарювання в барабанних ростерах займає більше часу порівняно з іншими методами. Крім того, такі пристрої потребують регулярного обслуговування та можуть бути дорогими в експлуатації.

Інфрачервоні ростери використовують інфрачервоні хвилі для обробки кавових зерен. Цей метод став популярним завдяки своїй ефективності та здатності рівномірно нагрівати зерна.

1. Принцип роботи: Інфрачервоні лампи випромінюють тепло, яке поглинається зернами кави, що викликає їх прогрівання. Нагрівання відбувається завдяки безпосередньому поглинанню інфрачервоних хвиль, що дозволяє швидко і рівномірно обробити зерна.

2. Переваги: Інфрачервоні ростери зменшують тривалість обжарювання і мають високу енергоефективність. Вони також знижують ризик появи гарячих точок і нерівномірного обжарювання.

3. Недоліки: Цей метод потребує великих початкових інвестицій у спеціалізоване обладнання. Також інфрачервоні ростери можуть бути менш ефективними при обробці великих обсягів зерен.

Термо-повітряні ростери використовують гаряче повітря для обробки кавових зерен. Цей метод активно застосовується як у промисловості, так і в домашніх умовах.

1. Принцип роботи: Зерна кави розміщуються в камері, через яку проходить гаряче повітря. Потік повітря нагріває зерна, що викликає їх обробку.

2. Переваги: Термо-повітряні ростери дозволяють швидко і рівномірно обсмажувати зерна. Вони також дають змогу точно контролювати температуру та тривалість процесу.

3. Недоліки: Цей метод може призвести до пересушування зерен, якщо не контролювати процес. Крім того, термо-повітряні ростери можуть бути гучними під час роботи.

Порівняння методів термічного обжарювання:

1. Рівномірність обжарювання: Барабанні ростери забезпечують найкращу рівномірність завдяки обертанню зерен. Інфрачервоні ростери також дають хороші результати, але термо-повітряні можуть бути менш ефективними, якщо потік повітря не є рівномірним.

2. Контроль температури: Усі три методи дозволяють регулювати температуру, але барабанні ростери забезпечують найкращий контроль завдяки комбінації конвекційного та контактного нагрівання.

3. Тривалість процесу: Інфрачервоні ростери займають найменше часу на обжарювання, тоді як барабанні і термо-повітряні методи потребують більше часу.

4. Вартість: Термо-повітряні ростери — це найдешевший варіант, інфрачервоні ростери потребують значних початкових витрат, а барабанні знаходяться в середньому ціновому діапазоні, хоча їх обслуговування може бути дорогим.

Отже, кожен з методів термічного обжарювання має свої сильні та слабкі сторони. Вибір методу залежить від вимог до якості продукту, наявних ресурсів та специфічних умов виробництва.

1.2. Порівняння хімічного складу зеленої та чорної кави

Зелена і чорна кава є важливим продуктом для багатьох культур, популярність якого зумовлена не лише смаковими якостями, а й численними корисними властивостями. Зелена кава (сирі зерна) та чорна кава (смажені зерна) мають суттєві відмінності в хімічному складі, що впливає на їхній смак, аромат і користь для здоров'я. Зелена кава містить кілька основних компонентів, кожен з яких володіє унікальними характеристиками:

1. Кофеїн: концентрація становить 1.0-2.5% (в середньому близько 1.2%). Кофеїн стимулює нервову систему, покращує настрій і знижує втому.

2. Хлорогенова кислота: її вміст 7-10% (у деяких сортах може досягати 10%). Ця кислота має антиоксидантну дію, сприяє зниженню ризику серцево-судинних захворювань і покращує метаболізм глюкози.

3. Амінокислот: основні — аланін (до 0.4%), гліцин (до 0.3%), лейцин (до 0.2%), що відіграють важливу роль у синтезі білків та регуляції метаболічних процесів в організмі.

4. Мінерали: калій (500-800 мг на 100 г), магній (80-120 мг на 100 г), залізо (2-3 мг на 100 г). Ці елементи необхідні для підтримки роботи м'язів і нервової системи.

5. Цукри: вміст близько 5-10% (в основному у вигляді моно- і дисахаридів). Цукри впливають на смак і беруть участь у хімічних реакціях при смаженні.

Під час смаження зерен відбуваються складні хімічні процеси, що змінюють склад кави:

1) Кофеїн: зберігається на рівні 1.0-2.0% (зазвичай близько 1.2%), хоча вміст може дещо знижуватись через руйнування при високих температурах.

2) Хлорогенова кислота: зменшується до 4-8% (втрачає до 50% під час смаження) і частково перетворюється на інші сполуки, як-от кофеїнова кислота.

3) Ароматичні та органічні сполуки: смаження спричиняє утворення понад 800 різних сполук, основними з яких є фурфурол (до 200 мг на 100 г), діацетил (до 30 мг на 100 г), поліциклічні ароматичні вуглеводні, що формують унікальний аромат і смак чорної кави.

4) Органічні кислоти: лимонна кислота (0.2-0.5%) додає яскравості смаку, яблучна кислота (0.1-0.3%) забезпечує фруктові нотки, створюючи приємну кислинку, яка є важливою частиною смакового профілю.

5) Карамелізовані цукри: під час смаження цукри розкладаються і карамелізуються, що надає каві насиченого смаку, глибокого кольору та блиску.

Компоненти кави суттєво впливають на її смакові характеристики. Зелена кава має трав'янистий, трохи кислуватий смак, а завдяки високому вмісту хлорогенової кислоти вона набуває легкої гіркоти та яскравої кислотності. У той час чорна кава відрізняється насиченим гірким смаком з виразними ароматичними нотками. Під час обсмажування утворюються ароматичні та смакові сполуки, які додають різноманітності — від шоколадних до фруктових відтінків.

Обидва сорти кави, Арабіка та Робуста, також мають певні корисні для здоров'я властивості, хоча їхній вплив різниться. Зелена кава допомагає знижувати артеріальний тиск на 5-10% у людей з гіпертонією та може сприяти зниженню ваги — дослідження показують зменшення ваги на 2-3 кг за 12 тижнів. Чорна кава відома своїм антиоксидантним ефектом, що може знижувати ризик

розвитку хвороб Паркінсона й Альцгеймера, а також зменшує ймовірність діабету 2 типу на 30-50% завдяки покращенню інсулінової чутливості.

Порівнюючи хімічний склад зеленої та чорної кави, можна сказати, що обидва види мають унікальні властивості, які визначають їхній смак, аромат і корисні якості. Зелена кава вирізняється антиоксидантним потенціалом та помірною кислотністю, тоді як чорна кава дивує багатством смакових нюансів, які з'являються під час обсмажування.

Вибір між цими видами кави залежить від індивідуальних смакових уподобань, стану здоров'я та очікуваних якостей напою. Розуміння хімічного складу кави дає змогу зробити обґрунтований вибір, враховуючи як смакові, так і корисні властивості.

1.3. Переваги обсмажування кавових зерен у НВЧ-печі порівняно з традиційним способом

Протягом століть люди по всьому світу шукали досконалу каву. Подібно до цього, кавова промисловість інвестувала мільйони доларів у розробку оптимальної технології термообробки для досягнення ідеального смаку, аромату та якості, які цінуються споживачами повсюди.

Історично виробники кави використовували традиційні методи теплової обробки, найчастіше за допомогою барабанних печей, щоб перетворити зелені зерна на ароматну чорну каву. Однак зараз все більше перевагу надають технологіям мікрохвильового нагрівання, які забезпечують аналогічні результати та мають чимало переваг порівняно з традиційним обсмаженням у термічному барабані.

Основною перевагою мікрохвильового нагріву є здатність удвічі скоротити час обсмажування, а також значно знизити викиди CO₂, що є важливим кроком для екологічності кавової галузі. Для тих, хто тільки знайомиться з цією концепцією, наведено огляд основних переваг використання мікрохвильового нагрівання для комерційних та незалежних виробників кави.

Рівномірність нагріву

На відміну від барабанного обсмажування кави, яке потребує ретельного контролю температури на всіх етапах процесу, робота з мікрохвильовими системами є набагато простішою. Якщо барабанні печі нагрівають зерна ззовні всередину, то мікрохвилі проникають глибоко в зерно і нагрівають його зсередини. Це дозволяє більш точно регулювати температуру всередині зерен, забезпечуючи рівномірне та стабільне обсмаження, яке легко повторювати.

Барабанні ростери використовують зовнішнє тепло, що ускладнює досягнення стабільної консистенції при кожному обсмаженні. Це стає ще більш складним при роботі з бобами різних сортів, оскільки налаштування газу та повітряного потоку в такому обладнанні обмежені.

Швидке смаження

Враховуючи час, необхідний для обсмажування кавових зерен, мікрохвильові системи працюють набагато швидше, ніж барабанні ростери. Це зумовлено тим, що мікрохвильові системи не потребують попереднього розігріву, регулювання температури чи подальшого охолодження.

У середньому, мікрохвильові системи здатні досягти необхідного рівня обсмаження вдвічі швидше — від 6 до 15 хвилин (залежно від бажаних характеристик), тоді як традиційні методи сушіння займають від 12 до 30 хвилин.

Енергоефективність

Мікрохвильове обжарювання кави вирізняється високою енергоефективністю завдяки прямій передачі енергії всередину кавових зерен. На відміну від традиційних методів обсмажування, які потребують значних ресурсів для нагрівання повітря та обладнання, мікрохвилі спрямовують енергію безпосередньо на продукт. Завдяки цьому підходу використання енергії стає ефективнішим, що дозволяє скоротити витрати. До того ж, пришвидшений процес обжарювання зменшує загальний час роботи обладнання, що додатково сприяє енергозбереженню. Таким чином, мікрохвильове обсмажування не тільки економічно вигідне, але й знижує витрати на виробництво кави.

Екологічність

Мікрохвильове обжарювання кави є більш екологічно чистим процесом у порівнянні з традиційними методами. Це обумовлено низкою факторів:

1. Менше виділення шкідливих речовин: у процесі обжарювання кави зазвичай утворюються побічні продукти, такі як дим і леткі органічні сполуки. Мікрохвильовий метод забезпечує більш контрольоване та рівномірне нагрівання, що значно знижує кількість таких шкідливих речовин.

2. Скорочення викидів CO₂: Завдяки високій енергоефективності та швидкому обжарюванню мікрохвильові системи використовують менше енергії, що сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу та інших парникових газів, пов'язаних з виробництвом енергії.

3. Менше відходів: Завдяки рівномірному обжарюванню знижується кількість зерен, які можуть бути надмірно або недостатньо прогріті, внаслідок чого зберігаються їх харчові властивості. Це сприяє більш ефективному використанню сировини та зменшує обсяги відходів.

Спрощення обслуговування та вимірювання

Окрім періодичної заміни прокладок, мікрохвильові системи обжарювання майже не потребують технічного обслуговування. На відміну від них, барабанні обсмажувачі потребують регулярного контролю газоподаючого обладнання, що є більш витратним.

Незважаючи на всі переваги, деякі кавові традиціоналісти досі скептично ставляться до мікрохвильової термообробки. Вони вважають, що нагрівання за допомогою мікрохвиль не забезпечує такого ж ефекту, як нагрів на повітрі, зокрема карамелізації цукрів та масел на поверхні зерен, що, на їхню думку, впливає на смаковий профіль кави.

«Люди часто забувають, що цього ефекту можна досягти, якщо подати потік гарячого повітря всередину мікрохвильової системи», — зазначає Парт Джані, головний інженер компанії Advanced Material Processing, яка виробляє мікрохвильову систему WaveMix™. «Я раджу це всім, хто використовує мікрохвилі для обжарювання кави, і результати зазвичай перевершують їхні

очікування», — додає він, на противагу традиційним методам обробки зеленої кави.



Рис.1.1 Мікрохвильова система Marion WaveMix™ для обжарювання зерен кави

	WaveMix™	Conventional Coffee Roasting
Roasting Time	6-15 minutes	12-30 minutes
Roasting Method	Direct: microwaves heat beans from inside out	Indirect: gas heater heats up air to roast beans from outside in
Afterburner Required?	No	Yes
Exhaust Recirculation Required?	No	Yes
Efficiency	More efficient	Less efficient
Recipe Repeatability	Easy - High degree of repeatability and requires minimal monitoring in the preset recipe mode(s)	Difficult – Making adjustments for different beans is hard due to gas and airflow rate settings, which require constant maintenance/monitoring
Roast Level Control	Easy	Difficult
Roast Level Monitoring	Exhaust air and product temperature	Primarily exhaust air temperature
Cost to Maintain	Lower	Higher

Рис.1.2 Переваги мікрохвильової системи Marion WaveMix™ порівняно зі звичайним барабанним обсмажуванням кави.[1].

1.3. Основи мікрохвильового нагріву

Принцип дії мікрохвиль НВЧ. Мікрохвилі — це вид електромагнітного випромінювання з частотами від 300 МГц до 300 ГГц, який знаходиться між радіохвилями та інфрачервоним випромінюванням. Для побутових мікрохвильових печей зазвичай застосовують частоти близько 2,45 ГГц. Основний принцип мікрохвильового нагрівання ґрунтується на здатності цих хвиль взаємодіяти з полярними молекулами, зокрема води.

Мікрохвильове нагрівання здійснюється через вплив електромагнітного поля на полярні молекули матеріалу. Полярні молекули, як-от молекули води, мають позитивно і негативно заряджені частини. Під дією змінного електромагнітного поля вони починають швидко змінювати орієнтацію відповідно до напрямку поля, що викликає коливання та тертя, яке призводить до нагрівання.

Особливості мікрохвильового нагріву включають:

1. Нагрівання зсередини: мікрохвилі проникають у матеріал і нагрівають його зсередини, на відміну від конвекційного або інфрачервоного способів, які спочатку нагрівають поверхню, передаючи тепло всередину значно повільніше.
2. Висока швидкість нагрівання: енергія безпосередньо передається молекулам, що дозволяє швидко досягати необхідної температури.
3. Рівномірність прогрівання: завдяки здатності мікрохвиль проникати глибоко, нагрів відбувається більш рівномірно, що особливо важливо при обжарюванні твердих кавових зерен.

Вплив мікрохвиль НВЧ на органічні матеріали. Мікрохвилі ефективно прогрівають органічні матеріали, що містять полярні молекули, такі як вода, жири, цукри та інші вуглеводні. Їхній вплив на органічні речовини можна описати через кілька ключових аспектів:

1. Діелектрична проникність: органічні матеріали мають різну здатність поглинати мікрохвилі, що визначається рівнем їхньої діелектричної проникності. Зокрема, вода є одним із найкращих поглиначів НВЧ, що робить її важливим компонентом у процесі нагрівання органічних речовин.

2. Термічні процеси: під дією мікрохвиль в органічних речовинах відбуваються термічні зміни, як-от випаровування води, плавлення жирів та карамелізація цукрів. У випадку з кавовими зернами це сприяє утворенню ароматичних і смакових сполук.

3. Хімічні зміни: мікрохвильове нагрівання також здатне змінювати хімічний склад органічних матеріалів, викликаючи розщеплення або модифікацію молекулярної структури, що впливає на смакові, ароматичні та поживні характеристики кінцевого продукту.

Технічні аспекти мікрохвильового обжарювання. Для забезпечення ефективного мікрохвильового термічного обсмажування кавових зерен необхідно врахувати кілька технічних аспектів:

1. Джерело мікрохвиль: основним елементом, який генерує НВЧ-випромінювання, є магнетрон, що створює електромагнітне поле високої частоти, яке передається в камеру печі.

2. Камера термічного обсмажування: конструкція камери повинна забезпечувати рівномірний розподіл мікрохвиль і перешкоджати їх витоку. Внутрішні стінки камери зазвичай покривають матеріалами, що відбивають мікрохвилі, для рівномірного розподілу випромінювання всередині та у самому продукті.

3. Температурний контроль: важливо використовувати точні датчики температури, що дозволяє контролювати стан кавових зерен у процесі обробки. Це сприяє уникненню перегріву та забезпечує рівномірне обсмажування.

4. Перемішування зерен: для забезпечення рівномірного нагріву слід застосовувати механізми перемішування зерен під час обробки, наприклад, обертання платформи чи спеціальні перемішувачі.

5. Вентиляція: важливо мати ефективну систему вентиляції для видалення диму й інших побічних продуктів обробки кави, що підтримує чистоту процесу та запобігає накопиченню шкідливих речовин.

6. Енергоефективність: мікрохвильове обсмажування вимагає точного розрахунку енергоспоживання для економічної ефективності. Оптимальне

використання енергії досягається шляхом регулювання потужності магнетрона та тривалості обробки.

7. Особливості технології: мікрохвильове обсмажування є інноваційною методикою, що має численні переваги перед традиційними підходами. Водночас технологія має певні виклики та обмеження, які слід брати до уваги при її застосуванні.

Проте ця технологія має певні виклики, які слід враховувати під час її застосування.

Необхідність спеціального обладнання.

1. Спеціальне обладнання: для мікрохвильового термічного обсмажування потрібні спеціалізовані установки, які відрізняються від традиційних барабанних або конвекційних ростерів. Основними елементами такого обладнання є магнетрон для генерування мікрохвиль, хвилеводи для їх передавання, а також камера обсмажування, яка забезпечує рівномірний розподіл випромінювання.

2. Висока вартість і витрати на обслуговування: спеціальне обладнання для мікрохвильового обсмажування має значно вищу початкову вартість порівняно з традиційними системами. Крім того, його обслуговування і заміна певних компонентів потребують додаткових витрат.

3. Навчання персоналу: оператори, які працюють з мікрохвильовими установками, повинні володіти спеціальними знаннями та навичками для ефективного управління такою технікою. Це вимагає додаткових ресурсів для підготовки та підвищення кваліфікації персоналу.

Контроль смакових властивостей

1. Контроль технологічних процесів: мікрохвильове термічне обжарювання вимагає високої точності в управлінні хімічними реакціями, що відбуваються в кавових зернах під час обробки. Це включає такі процеси, як реакція Майяра, карамелізація і піроліз, які безпосередньо впливають на смакові та ароматичні якості кави.

2. Налаштування параметрів: для кожного виду кавових зерен необхідно точно налаштувати параметри мікрохвильового термічного обжарювання, такі

як потужність, тривалість і температура обробки. Для цього потрібні численні експерименти та глибокі знання фізико-хімічних властивостей кави, щоб оптимізувати ці параметри.

3. Однорідність обробки: хоча мікрохвилі забезпечують більш рівномірний нагрів у порівнянні з традиційними методами, існує ймовірність, що деякі зерна будуть обжарені не зовсім рівно. Це може негативно позначитися на смаковій однорідності кінцевого продукту.

Ризик перегрівання

1. Небезпека утворення перегрітих ділянок: завдяки специфічній взаємодії мікрохвиль з полярними молекулами існує ймовірність перегріву кавових зерен. Це може призвести до нерівномірного обжарювання та появи небажаних гірких смакових нот або ароматичних сполук.

2. Управління температурою: якщо температура під час обжарювання через мікрохвилі занадто висока, це може призвести до перегріву зерен, що негативно вплине на їх смакові якості. Тому контроль температурного режиму є критично важливим для запобігання таких проблем.

3. Час обробки: занадто довгий процес термічного обжарювання може призвести до пересушування зерен, що погіршить їх текстуру та смакові характеристики. Оптимізація тривалості обробки — це важливий фактор, який потребує точного вимірювання та коригування в реальному часі.

Отже, хоча мікрохвильове обжарювання кавових зерен має свої переваги, воно також несе низку викликів. Потреба в спеціалізованому обладнанні, складність в контролі смакових характеристик і потенційний перегрів зерен — це важливі аспекти, що вимагають додаткових досліджень і вдосконалення технологій для досягнення оптимальних результатів.

1.6. Особливості регулювання температури в НВЧ-реакторах

Точна та надійна система вимірювання температури має вирішальне значення не лише для справедливого порівняння реакцій, але й між різними реакторними системами та лабораторіями. Недавній огляд навчального

посібника Каппе містить всебічне та детальне обговорення ситуації з контролем температури в хімії з використанням мікрохвиль НВЧ. Типову термопару Pt100 не можна використовувати в мікрохвильових НВЧ системах через її можливий зв'язок із мікрохвилями, що призводить до її нагрівання, таким чином показуючи оманливі вимірювання температури. Це можна частково вирішити за допомогою екранованої термопари та її розташування в порожнині в певній орієнтації, щоб мінімізувати взаємодію. Наступним рішенням, яке широко поширене в технології мікрохвильових НВЧ реакторів, є інфрачервоний датчик температури (ІЧ). Це дуже корисно в багатьох випадках, оскільки датчик не знаходиться в прямому контакті з реакційною сумішшю. Однак багато дослідників висловили занепокоєння щодо використання лише ІЧ-датчика для контролю температури, оскільки він може легко повідомляти про температуру, яка є набагато нижчою, ніж та, що відповідає дійсності. Наприклад, було показано, що різниця в показах між ІЧ-температурою та температурою волоконно-оптичних датчиків (ФО) може досягати 20–40°C, залежно від заданої температури.

Причина в тому, що ІЧ-датчик зчитує температуру зовнішньої сторони посудини, і було показано, що мікрохвилі нагрівають зсередини назовні, що може змінюватися складом реакційної суміші. Поки що найкращим варіантом є використання оптоволоконного датчика. Датчик може бути вставлений безпосередньо в реакційний розчин, захищений скляною/кварцовою або керамічною термогільзою, яка є прозорою для мікрохвиль НВЧ, а також матеріал самого ФО. Тим не менш, слід стежити за однорідністю реакційної суміші та переконатися, що відбувається відповідне перемішування реакційної системи. Ще краще, якщо більше ніж один ФО можна використовувати для вимірювання температури в різних місцях реактора, порівнюючи їх із вимірюваннями зовнішнього інфрачервоного датчика/камери.

На початку 2000-х у літературі з'явилося кілька гарячих дискусій, які тривали донедавна, наприклад, у 2002 році Кюнерт висвітлив нетеплові мікрохвильові НВЧ ефекти проти відповіді Штрауса, а приблизно через десять

років, у 2013 році, есе на тему «міф чи реальність» мікрохвильових НВЧ ефектів в органічному синтезі Каппе, Пібером і Даллінгером [2] проти листування Дадлі, Стігмана і Розани з подальшою відповіддю Каппе. Наша місія полягає не в тому, щоб стати на якийсь бік і розпалювати подальшу ворожнечу, а радше показати, наскільки важливо вказувати на публікаціях, що стосуються мікрохвильових НВЧ ефектів, і наскільки важко порівнювати та відтворювати результати, отримані різними лабораторіями та той самий інструмент НВЧ. Ми хочемо підкреслити важливість встановлення чітких правил і процедур у таких дослідженнях і те, що деталі в експерименті часто відповідають за інші результати. Це означає, що слід встановити та узгодити засоби, для проведення вимірювань температури реакції.

Тут ми наводимо кілька прикладів, коли ФО використовували для вимірювання температури гетерогенного шару каталізатора для газофазної реакції, і як температура може бути недооцінена навіть у цих випадках. По-перше, публікації Мінгоса та його співробітників були зосереджені на обох ендотермічних реакціях, таких як розкладання сірководню або екзотермічна гідродесульфурація тіофену, на прикладі яких також був сухий риформінг метану, каталітичне відновлення діоксиду сірки метаном, або сполучення метану, каталізується MoS_2 на $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Загалом було показано, що мікрохвиль НВЧ реакція відбувалася при температурах до 200°C і нижчих, ніж за традиційних умов нагрівання. Це пояснювалося вибіркоким нагріванням каталізатора, що викликало гарячі точки, які неможливо виявити оптоволоконним датчиком. Це було підтверджено фазовою зміною носія з оксиду алюмінію (модифікація γ до α) та зміною розміру і форми каталізатора MoS_2 , обидва з яких відбулися значно нижче офіційного порогу температури. Нещодавно Сю та його співробітники стверджували, що «мікрохвильовий НВЧ каталітичний ефект» є відповідальним за посилення активності окисного розкладання NO над змішаними оксидними каталізаторами на основі Ba та Mn. Незважаючи на те, що автори не спостерігали утворення гарячих точок, вони порівнювали результати мікрохвильової НВЧ реакції при 300°C з активністю при

500 °C при звичайному нагріванні. Оскільки раніше повідомлялося в літературі, що гарячі точки можуть підніматися на 100–200 градусів вище виміряної температури. Тим не менш, різниця в конверсії NO порівняно з BaMnO_3 була значною (93,7% у молекулярній масі проти 28,1% при звичайному нагріванні). Одна річ, що слід враховувати в цьому прикладі, це використання «модифікованого зонда термопари, вставленого в шар каталізатора», що передбачає використання екранованої термопари, а не датчика FO. Порівнюючи це, наприклад, з окисним зв'язуванням метану, в якому не спостерігалось ефекту СМ з киснем, тоді як активація газової фази/гарячі точки/дуга спостерігалися за відсутності кисню, це дослідження однозначно зменшує простір для сумнівів навколо мікрохвильової НВЧ печі. Ці приклади ілюструють необхідність точного та належного вимірювання температури та показують, що навіть датчик FO може не підійти для всіх застосувань, особливо в гетерогенній каталітичній системі, де як твердий каталізатор, так і полярний субстрат (рідкий або газоподібний) можуть бути активовані НВЧ мікрохвилями окремо. У біо переробному заводі це можна використовувати, наприклад, для активації вторинного CO_2 , наприклад, у реакції сухого реформінгу. Крім того, необхідні інші способи вимірювання температури на мікроскопічному рівні, щоб чітко розділити твердження про різні мікрохвильові НВЧ ефекти.

Інший спосіб вирішення питань з вимірюванням температури, порівнянням реакторів або типом нагріву запропонували Обермайер [3] і його співробітники. Вони припустили, що скляний реактор Pyrex, який використовується в мікрохвильових НВЧ експериментах, можна замінити на карбід кремнію, який зупинить мікрохвилі від перспектив проникнення в посудину і взаємодії з реакційною сумішшю. Таким чином, мікрохвильовий НВЧ реактор і вимірювання температури (наприклад, FO) залишаться незмінними, а мікрохвилі все ще можна використовувати для нагрівання SiC, який, у свою чергу, нагріє реакційний розчин. Причиною цього є дуже сильне поглинання нагріву діелектрика SiC. Однак пізніше та ж група показала шляхом поєднання електромагнітного моделювання та експериментів, що, незважаючи

на здатність SiC ефективно блокувати мікрохвильове НВЧ-випромінювання, частина електричного поля все ще присутня всередині посудини з карбїду кремнію, що, у свою чергу, не повністю блокує мікрохвильове НВЧ-випромінювання. Нещодавно Horikoshi та його співробітники порівняли гідроліз целюлози з каталізатором із сульфованим активованим вугіллям як у загальній мікрохвильовій НВЧ-установці в посудині Pyrex, так і в посудині з SiC для блокування мікрохвиль НВЧ, які безпосередньо взаємодіють з реакційною сумішшю.[3] Порівнюючи скляний і SiC реактори, автори виявили, що при 150, 180 і 200 °C вихід загального відновленого цукру був майже в 1,7, 1,2 і 1 рази вищим відповідно, що відображає ефективність кислотно-каталізованого гідролізу целюлози. Це означає, що в міру підвищення температури гідроліз і глибина проникнення збільшуються, а коефіцієнт діелектричних втрат води зменшується, що дозволяє селективне нагрівання частинок вуглецевого каталізатора (і, можливо, целюлозної підкладки). Однак вихід лише глюкози був подібним у всіх трьох випадках температури в межах експериментальної помилки.

Подібним чином інші вчені вивчали гідроліз целюлози для виробництва HMF у двофазній системі, що каталізується HCl, і порівнювали їх реакцію, починаючи з целюлози, глюкози та фруктози, також шляхом реакції в SiC посудині. Вони виявили збільшення швидкості реакції гідролізу целюлози під мікрохвильовим опроміненням у 2,3 рази порівняно з SiC реактором при 177°C, а також збільшення швидкості ізомеризації глюкози у фруктозу в 2,5 рази.

Слід додати ще один момент для гетерогенного каталізу, головним чином газофазних реакцій. Оскільки основною проблемою є вимірювання температури в каталітичному шарі та гарячих точках у прозорому реакторі СВЧ, технологія SiC, ймовірно, не буде такою корисною. Однак може бути корисним значною мірою заблокувати більшу частину діелектричного нагріву, якщо проблему з датчиком температури можна вирішити.

1.7. Конструкція реактора мікрохвильової технології в НВЧ-печах

Конструкція реактора має важливе значення для його моделювання та створення. Необхідно враховувати такі параметри, як тип (послідовний/протоковий), режим роботи (моно/полі), розміри, матеріали, частоту мікрохвиль (НВЧ), однорідність і глибину проникнення (форму), які часто взаємопов'язані між собою.

Вимоги та потреби впливають на вибір розмірів і форми резонатора, глибину проникнення, однорідність поля та частоту мікрохвиль. У мономодовому режимі розподіл мікрохвиль у порожнині або певній точці дуже чітко визначений. Зазвичай використовуються невеликі порожнини, і реактор розміщується безпосередньо всередині хвилеводу, де концентрація НВЧ є максимальною. Однак можливе утворення стоячих хвиль є недоліком. Масштабування в мономодовому режимі може створювати складнощі через обмежену область однорідного поля і глибину проникнення. Наприклад, використання частоти 915 МГц дозволяє застосовувати більші хвилеводи завдяки більшій глибині проникнення, що підходить для безперервних проточних НВЧ-реакторів і може знизити вартість системи порівняно зі стандартною частотою 2450 МГц.

РОЗДІЛ II

2.1. Спеціальна установка для дистиляції ароматів кави з водяною парою

Парова дистиляція є способом розділення речовин, що мають різні температури кипіння, із застосуванням перегрітої водяної пари. Під час перегонки тепло, яке передається від пари, сприяє переведенню розчину в газоподібний стан, де і відбувається поділ на складові з різними точками кипіння. Потім газ, що містить ці компоненти, конденсується, і речовини розділяються на окремі частини.

Згідно із законом Дальтона, сумарний тиск газової суміші дорівнює сумі парціальних тисків кожного компонента, що входить до складу суміші, зокрема, дистильованого компонента D та води V:

$$P = P_D + P_V$$

Загальний тиск у паровій суміші завжди перевищує тиск кожного компонента окремо, а температура кипіння цієї суміші нижча, аніж температура кипіння найбільш тугоплавкого компонента. Склад дистиляту визначається не загальною кількістю вихідної сировини, а співвідношенням парціальних тисків речовин у суміші з водяною парою. Ця умова не є абсолютно точною, оскільки деякі речовини можуть бути певною мірою розчинними.

При підвищенні температури тиск пари води та інших нерозчинних з нею речовин збільшується незалежно один від одного. Кипіння речовин настає за температури нижчої за 100°C (при атмосферному тиску), коли сума парціальних тисків дорівнює атмосферному. Перегонка з водяною парою не є унікальною властивістю, але характерна для речовин із достатньо високим тиском пари за наявності води.

Перед перегонкою матеріал сушать, а потім перевіряють на леткість, додаючи компонент до 1-2 мл води й доводячи суміш до кипіння в дистиляційному апараті, пробірці Ерліха або малій склянці, накритій

годинниковим склом, що виконує функцію холодильника. Якщо конденсована пара має каламутний вигляд, речовина може бути перегнана з водяною парою.

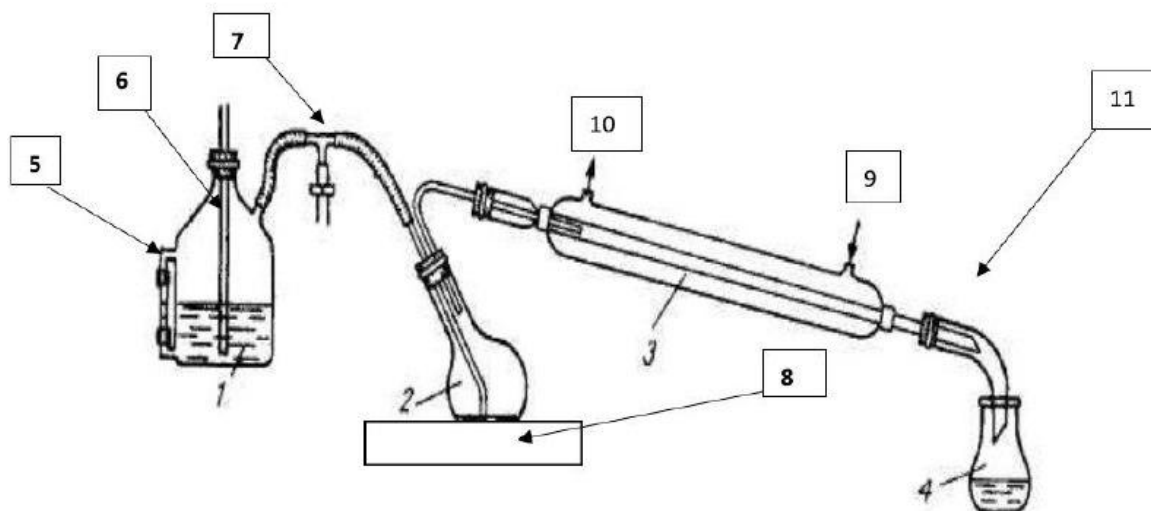


Рис. 2.1 Установа для перегонки речовин з гострим паром води. Складається з: 1-5-рівнемір для води в пароутворювачі, 6-сифон(запобіжна трубка), 7-трьохходовий вентиль, 2-перегонна колба для аніліну або кави, 8-електроплитка, 9-штуцер для подачі охолоджувальної води, 10-штуцер для виходу охолоджувальної води, 11-алонж.

Установа для перегонки з перегрітою парою складається з кількох елементів, зокрема парогенератора, дистиляційної колби, холодильника, водопровідної труби та ресивера (рис. 2.1). Випарник — це пристрій, який застосовується в хімії для видалення речовин з розчинів через нагрівання й випаровування рідини. Він може бути виготовлений з металу або термостійкого скла й оснащений паропроводами, що врівноважують тиск через запобіжні труби, що доходять до дна. Це запобігає стрибкам тиску під час нагрівання, коли вода підіймається, а охолодження пари призводить до потрапляння повітря. Металевий випарник також має скляний водомір.

Для процесу проведення дистиляції застосовують круглодонну колбу, яку щільно закривають пробкою з двома трубками: одна приєднує колбу до випарника через трійник, інша з'єднує колбу з холодильником. Для запобігання проникненню дистиляту в приймач краще використовувати колбу з довгим горлом, наповнюючи її рідиною на третину об'єму, й приєднувати трубку до холодильника. Для відділення вологи з пари застосовують скляний трійник із

гумовою трубкою та гвинтовим затискачем, що функціонує як водовіддільник, зливаючи накопичену воду, щоб не переповнювати дистиляційну колбу.

Процес перегонки розпочинається заповненням парогенератора водою на рівень між половиною та двома третинами об'єму і додаванням води в дистиляційну колбу. Після з'єднання установки одночасно починають нагрівати парогенератор і дистиляційну колбу. Коли вода закипить у парогенераторі, а рідина в колбі дійде до кипіння, трійник закривають, щоб пара проходила через суміш у колбі, захоплюючи речовину, і надходила в холодильник, де конденсується. Для запобігання конденсації пари в колбі її підігрівують, а горловину обертають термоізоляцією. Після завершення перегонки затискач на трійнику відкривають і припиняють нагрівання. Якщо потрібно, дистилят розділяють за допомогою ділильної воронки. Щоб видалити зайву вологу, рідини зберігають із відповідним осушувачем, а щодо твердих речовини — в сушильній камері або духовці при певній температурі.

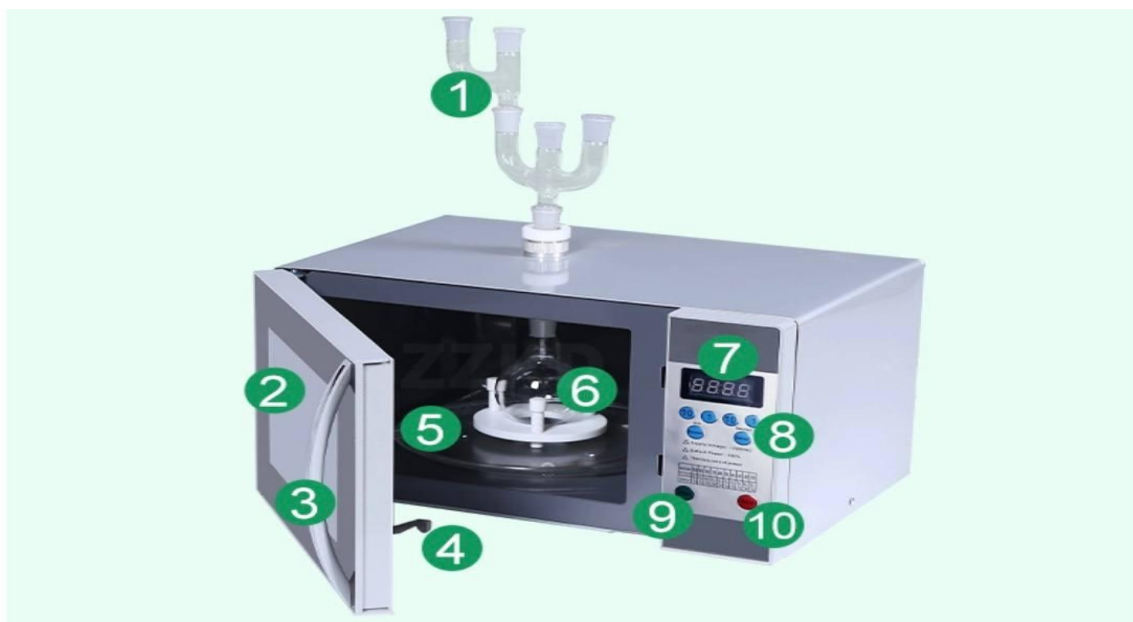
2.2. Характеристика мікрохвильового хімічного реактора WBFY-201 для обсмажування зерен зеленої кави

1. Максимальна потужність нагрівального пристрою становить до 650 Вт.

2. Для цього пристрою можна встановити 10 рівнів потужності. На мікрохвильовому реакторі WBFY-201 можливі регулювання від 10% -20%-30%-40%-50%-60%-70%-80%-90% до 100% від максимальної потужності, а також можна проводити реакції в залежності від часу увімкнення і вимкнення (в хв і с) реактора WBFY-201 (в робочому циклі).рис.2.2.

3. При виборі однакової величини потужності і часу роботи, можна отримати однакові умови реакції. Експеримент має задовільну повторюваність.

4. Мікрохвильовий реактор WBFY-201 пристосований для встановлення в його внутрішній СВЧ камері скляної лабораторної установки для проведення різних хімічних реакцій, забезпечуючи відсутність витоку НВЧ-хвиль за межі мікрохвильової НВЧ-печі.



• **Рис.2.2 Мікрохвильовий хімічний реактора WBFY-201**

- 1 Скляна трубка скляної установки для виходу парів і газів.
- 2 Оглядове скляне віконце на дверцятах реактора WBFY-201
- 3 Ручка дверцят реактора WBFY-201
- 4 Вимикач блокування і розблокування дверцят реактора WBFY-201
- 5 Скляна підставка приводу обертання столика в НВЧ реактора WBFY-201,
- 6 Конструкція тримача колби з тефлоновими гвинтовими регуляторами висоти.
- 7 Цифровий дисплей регулятора часу і потужності НВЧ реактора WBFY-201
- 8 Кнопки вибору і регулювання часу витримки в НВЧ реактора WBFY-201 в секундах і хвилинах.
- 9 Кнопка пуску реактора WBFY-201
- 10 Кнопка зупинки реактора WBFY-201

Таб.2.1 Технічні характеристики НВЧ-реактора

N Модель НВЧ реактора	WBFY-201	WBFY-205
1.Номінальна потужність споживання (Вт)	1100	1100
2. Номінальний максимум вихідна потужність (Вт)	750	650
3.Максимальний вхід струм (А)	7.8	7.8
4.Операційна напруга (В)	220	220
5.Частота НВЧ (МГц)	2450±50	Регульована частота
6.Розмір камери (мм)	330*365*235	290*295*190

2.2.3. Особливості конструкції мікрохвильового реактора WBFY-201

Мікрохвильова піч (НВЧ реактор WBFY-201) –працює на основі взаємодії різновиду електромагнітних хвиль надвисокої частоти(2450±50 МГц) з реакційним сердовищем досліджуваної речовини, так як ці електромагнітних хвилі високої частоти являються тепловими хвилями. Оскільки мікрохвилі в природі розсіяні та не сфокусовані, їх не можна використовувати як джерело енергії. Але за допомогою магнетрона –генератора мікрохвиль можна перетворити направлену електричну енергію на мікрохвильову.

Мікрохвилі, що генеруються магнетроном у цьому пристрої НВЧ-реакторі WBFY-201, можуть проникати в реакційне середовище за допомогою надвисокої частоти коливань DPS 2450 МГц. Коли середовище досліджуваного зразка має відповідну діелектричну проникність і діелектричне розсіювання, воно буде вібрувати з надвисокою частотою в полі мікрохвиль НВЧ. Таким чином у середовищі накопичується енергія тертя. З точки зору хімічної реакції, він може викликати теплові ефекти та нетеплові ефекти одночасно.

Мікрохвилі НВЧ можуть поглинатися полярним середовищем речовин в різному агрегатному стані. А ще можуть добре проникати через неполярні матеріали, такі як скло, кераміка, полімери, тощо. При цьому мікрохвилі НВЧ відбиватимуться від поверхні металів або металізованих поверхонь. Як правило, вихідна потужність магнетрона в основному однакова. Регулювання потужності може бути досягнуто шляхом зміни рівня потужності магнетрону або поточного часу реакції перебування об'єкту дослідження при ввімкненні і вимкненні магнетрону (робочий цикл). Управління мікропроцесором НВЧ-реактора WBFY-201 дуже проста і зручна робота. Умови повторної хімічної реакції можна отримати, якщо вибрати той самий робочий режим потужності і часу.

2.2.4. Установка мікрохвильового реактора WBFY-201

1. Розпакування та перевірка пристрою WBFY-201. Розпакуйте коробку та вийміть мікрохвильовий реактор.

2. Відрізний хвилевід. WBFY-201 та відсікаючий хвилевід встановіть у верхній частині камери. Затягніть його, якщо він ослаб під час транспортування.

3. Рейка тримач колби з політетрафторетилену. Зазвичай вгвинтіть три довгі болти в гвинтові отвори диска та відрегулюйте висоту відповідно до ваших потреб та величини скляної колби реактора в середині печі. Стежте, щоб скляна колба не торкатися металічної основи НВЧ-реактора WBFY-201.

4. Встановлення WBFY-201. Робоче середовище для встановлення: добре рекомендована вентиляційна лабораторна шафа – витяжка. WBFY-201 необхідно розташувати горизонтально. Верхній дефлегматор або установку для додавання рідини має бути закріплені поза межами реактора WBFY-201 лабораторним зажимом з ізолюванням від металу прокладкою. На відстані 15 см від заднього вентиляційного отвору не можна розміщувати інші предмети.

5. Джерело живлення: потрібне стабільне джерело живлення змінним струмом, яке є стабільне за напругою і струмом. Якщо воно недоступне, вам слід

мати спеціальну лінію електроживлення, на якій немає іншого великого електричного обладнання. Лінію необхідно заземлити запобіжником на 8 А.

Панель управління, поз.7.8.9. рис.1.

На панелі управління знаходяться цифрові клавіші, функціональні клавіші, екран дисплея, вимірювач потужності, ручку керування потужністю, перемикач магнітної мішалки та ручку регулювання.

1. Час реакції, витримки в реакторі. Натисніть цифрову клавішу відповідно до вибраного часу реакції (окремо в хвилинах та додатково в секундах), потім натисніть кнопку запуску.

2. Контроль потужності. Обертайте ручку керування потужністю за годинниковою стрілкою (спочатку швидко, а потім повільно) до потрібних показників потужності, які вказує вимірювач потужності (зверніть увагу, що спочатку високої напруги недостатньо для вібрації магнетронної трубки, вона не буде видавати мікрохвильову потужність, доки не досягає певної напруги). Не змінюйте розташування потужності після завершення реакції, якщо наступний експеримент вимагає такої ж кількості вихідної потужності, вам потрібно лише встановити час.

3. Натисніть клавішу очищення, якщо поточні експерименти потрібно зупинити.

4. Перегляньте час реакції. Спочатку натисніть клавішу очищення, а потім ще раз цифрову клавішу нового періоду часу реакції.

5. Припинення експерименту. Натисніть клавішу паузи, якщо потрібно призупинити експеримент під час реакції. Після повторного натискання кнопки активації мікрохвильова продовжить виконувати програму, встановлену спочатку. Відкрийте перемикач магнітної мішалки, а потім відрегулюйте ручку перемішування до потрібної швидкості, якщо потрібно перемішати рідину в склянці.

6. Звуковий сигнал зумера. При правильному натисканні клавіші пролунає звуковий сигнал. Якщо звуку немає, це означає, що реактор не отримує сигнал. Після завершення реакції в печі пролунає шестикратний звуковий сигнал.

7. Екран дисплея. Після запуску мікрохвильового реактора на екрані відображається «00:00». Перші дві цифри позначають хвилину, дві останні - секунди. Коли ви встановлюєте час відповіді, курсор блимає на першій цифрі. Після введення цифри курсор повернеться назад. Мікрохвильова піч не буде працювати або не буде змінена, доки не буде встановлено всі чотири цифри. Натисніть клавішу активації, і на екрані відобразиться встановлений час зворотного відліку до кінця програми.

2.2.5. Технологічні процедури на НВЧ-реакторі WBFY-201

Парова дистиляція є способом розділення речовин, що мають різні температури кипіння, із застосуванням перегрітої водяної пари. Під час перегонки тепло, яке передається від пари, сприяє переведенню розчину в газоподібний стан, де і відбувається поділ на складові з різними точками кипіння. Потім газ, що містить ці компоненти, конденсується, і речовини розділяються на окремі частини.

1. Сушка матеріалів. Сушіння вологих матеріалів, наприклад дегідратація і осушення. Для цього осушуваний матеріал треба помістити безпосередньо в скляний реактор або на поворотний столик для сушіння. Після роботи переконайтеся, що скляна колба охолола, перш ніж опускати її у воду на випадок вибуху.

2. Випробування герметичного скляного реактора, колби, пробірки. Зверніть увагу на наступні моменти з огляду на безпеку оператора та мікрохвильового НВЧ-реактора:

- (1) Реакційні гази не повинні проходити через герметично з'єднані шліфами скляні трубки лабораторного реактора і установки.
- (2) Ущільнювальна трубка повинна бути виготовлена зі скла, що витримують тиск і хімічну дію реакційного середовища, і кількість реакційного матеріалу має суворо контролюватися.

- (3) Краще спочатку помістити ущільнювальну трубку в пластикову коробку для мікрохвильової НВЧ-печі, а потім помістити їх у скляний поворотний столик і запустити реактор.

3. Рідина або рідка/твердофазна хімічна реакція

- (1) Використовуйте колбу на 50 - 200 мл, якщо є невелика кількість реагенту і немає необхідності перемішувати. Помістіть політетрафторетиленову пластину в центральну нижню частину печі, а потім вставте прямий адаптер у колбу через закриваючий катетер безпосередньо з верхньої частини печі. Потім встановіть відповідний дефлегматор у верхній частині лабораторної установки.

- (2) Якщо кількість реагенту велика або її потрібно перемішати (примітка: мішалка має бути скляною або PTFE, металеві перемішувачі недоступні), ви можете використовувати колбу на 250 або 500 мл. Спочатку з'єднайте перемішувальну планку мішалки з трубкою типу Н і трубкою типу □, потім вставте штангу в колбу через верхню частину реактора, а останнім встановіть дефлегматор і крапельну воронку.

4. Хімічна твердофазна реакція

- Розташуйте гнучку реакційну посудину та процедуру роботи відповідно до різних експериментів. Дотримуйтесь наступних принципів:

- (1) Їдкі та подразнюючі гази як можуть виділятися в печі НВЧ призведуть до пошкодження схеми та плати комп'ютера і печі. Тому, якщо ви проводите реакції, які спричиняють утворення газів, пам'ятайте про встановлення скляного реактора з перехідником та виведення вихлопних газів через трубку на зовні печі у витяжну шафу лабораторії.

- (2) Оскільки реагенти та продукти мають різну діелектричну проникність і діелектричні втрати, вони поглинають різну кількість мікрохвильової НВЧ-енергії в мікрохвильовому полі. Через деякий час зазвичай спостерігається часткова різниця температур. Таким чином, у процесі твердофазної реакції оператору потрібно перемішувати реагенти та вибирати низьку вихідну потужність, щоб провести гомогенну реакцію.

- (3) Будь-який хімічний реагент у мікрохвильовому НВЧ-реакторі не можна поміщати у відкритий контейнер, оскільки він може спричинити розбризкування та забруднення камери. Тим часом не кладіть реагент у герметичний закритий контейнер або колбу без запобіжного пристрою, оскільки він може вибухнути.

2.2.6. Техобслуговування НВЧ-реактора WBFY-201

1. Очищення реактора WBFY-201

- Після реакції оператор повинен перевірити, чи не залишився в камері печі водяний туман, хімічні реагенти чи інші продукти. Якщо так, обов'язково приберіть та очистіть реакційну камеру СВЧ-печі від залишків реагентів. Стінки порожнини та дверцята слід очистити злегка вологою м'якою тканиною, потім протерти їх сухою м'якою тканиною. Не використовуйте грубі, абразивні мийні засоби або скраб. Використовуйте злегка вологу тканину, щоб очистити корпус, і будьте обережні, щоб рідина не потрапила в камеру. Відкрийте дверцята під час очищення панелі керування у разі її запуску. Натисніть клавішу очищення, щоб видалити число на екрані оператора після завершення очищення.

2. Миття реактора WBFY-201

- Використовуйте гарячу воду з милом, щоб помити скляну поворотну тарілку, шарніри та тefлоновий піддон. Промийте їх водою та витріть для подальшого використання. Якщо вони не чисті, вони можуть не лише створювати шум під час реакції, але й поглинати мікрохвильову енергію та перешкоджати хімічній реакції.

3. Вентилятор реактора WBFY-201

- Вентилятор у цьому пристрої модифіковано для безперервної роботи для охолодження, дегазації та осушення контуру. Не забувайте регулярно запускати пристрій у дощову пору року, щоб захистити його від вологи.

4. Осушення реактора WBFY-201

- Відразу після роботи вийміть колбу та закрийте дверцята, вентилятор продовжує працювати більше десяти хвилин для видалення вихлопних газів і туману. Після цього вимкніть живлення.

5. Довгі зупинки реактора WBFY-201

- Перед вихідними(в не робочі дні), повністю очистіть реактор. Зніміть усі скляні частини, очистіть камеру та запустіть вентилятор для роботи щонайменше на десять хвилин. Одягніть невеликий ковпачок на хвилевід відсікання, помістіть як осушувач-силікагель в камеру, а потім закрийте дверцята.

2.2.7. Післяопераційне техобслуговування НВЧ-реактора WBFY-201

1. Інструментам НВЧ-реактора WBFY-201 надають 1 рік гарантії на продукти, описані тут (за винятком скла та деталей, що швидко руйнуються).

2. Гарантія поширюється на дефекти деталей і виробничі дефекти. У разі дефекту деталі або виробничого дефекту пристрій підлягає гарантійному ремонту або заміні згідно з умовами гарантії.

3. За межами гарантійного терміну проблеми з пристроєм також можуть бути вирішені нашою компанією, але за додаткову оплату.

4. Продуценти НВЧ реактора WBFY-201 не несуть відповідальності за будь-які збитки, заподіяні в результаті неналежного використання.

5. Якщо у вас виникнуть проблеми під час використання наших продуктів, будь ласка, зв'яжіться з нами по телефону або електронною поштою, ми будемо готові негайно надати консультації, технічне обслуговування та інші послуги.

2.3. Термохімічний процес мікрохвильової термообробки зеленої кави

Підготовка зерен зеленої кави

Підготовка зелених кавових зерен є важливим етапом у технологічному процесі їх термічного обсмаження. Вона складається з кількох ключових кроків.

1. Відбір сировини: Якість вибраних зелених зерен безпосередньо впливає на кінцевий продукт. Для мікрохвильового обсмаження оптимальними є високоякісні зерна з належним рівнем вологості та відповідними фізико-хімічними властивостями.

2. Сортування та очищення: Зелені зерна сортують для видалення дефектних екземплярів та сторонніх домішок. Цей етап важливий для забезпечення однорідності сировини, що підвищує загальну якість продукту.

3. Зволоження (за потреби): У деяких випадках зерна піддаються зволоженню для досягнення оптимального рівня вологості. Це сприяє більш рівномірному обсмаженню та допомагає уникнути надмірного випаровування під час термічної обробки.

Термічне обжарювання кавових зерен

Етап термічного обсмажування є ключовою частиною технологічного процесу і охоплює кілька важливих кроків:

1. Завантаження кавових зерен: Підготовлені зерна поміщають у спеціальну камеру мікрохвильового реактора. Камера повинна бути розроблена так, щоб забезпечувати рівномірний розподіл мікрохвиль та уникати утворення локальних перегрівів.

2. Налаштування параметрів обсмажування: Параметри, такі як потужність магнетрона, час обсмажування та температура, встановлюються відповідно до виду кавових зерен і бажаного ступеня обсмажування. Оптимальні параметри визначаються експериментально та можуть змінюватися в залежності від умов виробництва.

3. Процес нагрівання: Мікрохвилі проникають у зерна і викликають їхнє нагрівання зсередини завдяки коливанням полярних молекул, зокрема молекул води. Це забезпечує швидкий і рівномірний нагрів, сприяючи формуванню ароматичних і смакових властивостей кави.

4. Контроль процесу: Під час обсмажування важливо регулярно контролювати температуру та інші параметри, щоб уникнути перегріву й

забезпечити рівномірний процес. Для цього використовуються датчики та автоматизовані системи контролю.

Охолодження

Завершальним етапом технологічного процесу мікрохвильового термічного обсмажування кави є охолодження, що має важливе значення для збереження якості продукту:

1. Швидке охолодження зерен кави: Після завершення обсмажування необхідно швидко охолодити зерна, щоб припинити процес нагрівання і уникнути їх перегрівання. Це дозволяє зберегти ароматичні, смакові та харчові властивості кави.

2. Методи охолодження кави: Зерна можна охолоджувати різними способами, наприклад, повітряним або вакуумним методом. Охолодження повітрям передбачає продування зерен холодним повітрям, а вакуумне охолодження забезпечує швидке видалення тепла завдяки зниженню тиску.

3. Контроль вологості зерен: Під час охолодження важливо слідкувати за рівнем вологості, щоб уникнути пересушування. Це має велике значення для збереження текстури та смакових якостей кави.

4. Стабілізація зерен: Після охолодження зерна проходять стабілізацію, під час якої відбувається вирівнювання внутрішньої температури та вологості. Це сприяє підтримці високої якості кави протягом тривалого зберігання.

Існує декілька ступенів термообробки кавових зерен. Подані у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Ступені термообробки кавових зерен

№	Ступінь термообробки	Властивості кави	Швид- міш.	Час Термо- оброб.	Втрат а ваги,	Темпе- рату- ра,	Потуж- ність випрмN	Ознаки
			об/хв	Хв.	%	°C	вт	
1	Зелена і чорна кава , сорту Арабіка, виду "Brasil Santos" фірми «Salvia Paradise» розф. в Чеській респуб.	1.Стадія сушки: Сирі зерна, зеленої кави(блід-зелені з майже без запаху). Сушка кавових зерен від вологості (при 60°C 15 хв.) при відкритій на повітрі ємності для сушки.	250	15	0,5-2,5	20-60	300	Зелені (зелені з сіруватим відтінком) неприємний запах і гладенькі кавові зерна. Трохи кавових зерен біля маг. мішалки пожовкли і стали темнішими до темно жовтого кольору, колба помутніла від випар. води. Певною мірою зник неприємний запах зеленої кави.
2	Brown , коричневого кольору арабіка, виду "Brasil Santos" фірми «Salvia Paradise» розф. в Чеській респуб.	2. Після стадії сушки №1 (при 60°C, 15хв. втр.=1,9%). Прожарювання із зворотнім холодильником та дефлегматором: випаровування пари зумовлює розширення кавового зерна.	250	+20=35	2,8	35-105°	300	Рівномірно від жовтого до світло-коричневого ко-льору. Зник запах зеленої кави. Легка насиченість смаку, слабкий аромат з хлібним запахом. Відпадиння верхньої обо-лонки (шелухи) від поверхні кави. Відсутність масел кави на поверхні.
3	Brown , арабіка, виду "Brasil Santos" фірми «Salvia Paradise, Бразилія розф. в Чеській респуб.	3.Після стадії сушки проходить підсма-жування з викорис-танням зворотнього холодильника та дефлегматора, при збільшеній потужності СВЧ реактора.	250	+20= 35	4,8	35-125°	400	Помірно темно-коричневого кольору, з сухою повер-хнею. З'явився запах сма-женої кави. Відпадиння верньої оболонки (шелухи) від поверхні кави. Зерна продовжують набухати і збільшуватися. Чутно «nhtr
4	Brown , арабіка, виду "Brasil Santos" фірми «Salvia Бразилія розф. в Чеській респуб.	4.Після стадії сушки проходить підсма-жування в ізотер-мічному режимі з використанням деф-легматора і зворотного водяного холодильника в коніч. колбі. і маг. мішалкою при збіль-шеній потужності СВЧ реактора.	250	+20= 40 хв.	3,5	20-135	600	Коричнева Зелена і чорна кава з особливим запахом, відмінно прожарених кавових зерен (запах печеного хліба). Є різниця між кавовими зернами. Збільшуються в 1.5 рази, де-не-де утворюються сліди кавової олії. Повністю відходить лушпиння з поверхні зерен.
5	Americana , арабіка, виду "Brasil Santos" фірми «Salvia Paradise, Бразилія розф. в Чеській респуб.	5.Після стадії сушки проходить підсма-жування з викорис-танням дефлегматора і зворотного водяного холодильника з коніч. кол. і маг. мішалкою , при збільшеній по-тужності СВЧ реактора.	250	20	13,5	20-145	700-800	Темно Коричнева Зелена і чорна кава зі специфічним запахом добре пожареної кави. Збільшуються в розмірах в 1.5 рази, де-не-де помітні сліди жиру. Лушпиння з поверхні кавових зерен відходить.
		5.1 Після стадії сушки Без перерви проходить Прокалювання з викорис-танням деф-легматора і зворотного водяного холодильника з коніч. колбою на 250мл з магнітною мішалкою. Теор. Втрати=15,0%	250	20	13,5	20-145	700-800	Чорна підсмажена Зелена і чорна кава . Зерна тріщать (2 тріск) від виділення газів. Коричневого кольору середньої насиченості, . Збільшуються в розмірах 2 рази, помітні сліди олії на поверхні зерен. Етап «спікання» та частково обуглення закінчується.
		<i>Сумарно</i>	250	Σ= 40	15-16 %	20-145 °C	300-800	Чорна підсмажена Зелена і чорна кава з приємним кавови запахом і смаком.
6	Americana , арабіка«Salvia»		250	Σ= 40	15-16 %	20-145 °C	300-800	

Існує альтернативна класифікація рівнів обсмажування кави, основні з яких такі: світлий, середній, середньо-темний і темний. При обсмажуванні до світло-коричневого відтінку зерна зберігають більше фруктових нот і кислотності, отримуючи назву "Light". Кава середнього обсмаження, або "Medium", має коричневий колір із легкими плямами, зберігаючи частину кислотності, але також набуваючи нот солодкості та горіхів. Середньо-темне обсмаження або "Medium-Dark" передбачає темно-коричневий відтінок із виразнішими плямами; таке обсмаження відзначається меншою кислотністю, але насиченими карамелізованими та гіркуватими нотами. Зерна, обсмажені до глибокого коричневого або майже чорного кольору з маслянистими плямами на поверхні, вважаються "Dark", і мають найнижчу кислотність і виразну гіркоту.

Таким чином, мікрохвильова технологія термічного обжарювання кави включає в себе ретельну підготовку зерен, точне налаштування параметрів обсмажування та належне охолодження, що сприяє досягненню високої якості продукту з бажаними смаковими та ароматичними характеристиками.

2.4. Способи та умови помелу зерен кави після обсмажування

Подрібнення обсмажених кавових зерен є ключовим етапом у приготуванні напою, адже від нього залежить якість екстракції ароматичних і смакових компонентів. Правильно підібраний ступінь помелу дозволяє воді повноцінно розкрити всі смакові та ароматичні властивості кавових зерен. Цей процес враховує низку факторів, включно з сортом кави, ступенем обсмажування та методом заварювання.

Кожен метод заварювання потребує специфічного розміру помелу. Наприклад, для еспreso необхідний дрібний помел, оскільки висока інтенсивність тиску та короткий час екстракції вимагають максимальної доступності смакових речовин. При надто грубому помелі напій може вийти недостатньо насиченим і водянистим.

Для досягнення потрібного дрібного помелу важливо контролювати його тривалість, оскільки зерна повинні мати консистенцію цукрового піску або навіть борошна. Еспресо зазвичай заварюють за 25-30 секунд, і надмірний помел може призвести до гіркоти.

При приготуванні фільтр-кави або аеропресу слід обирати середній помел, який забезпечує оптимальний баланс між швидкістю екстракції та глибиною смаку. Важливо не лише досягти ефективної екстракції, але й зберегти чистоту напою, адже занадто дрібний помел може спричинити осад і гіркоту. Зерна мають бути подрібнені до текстури грубого цукру, що дозволяє зберегти баланс між екстракцією та смаком. Час заварювання для цих методів зазвичай триває 4-6 хвилин, що сприяє належній екстракції.

Для френч-пресу підходить грубий помел, який запобігає надмірній екстракції та знижує гіркоту, адже кавові зерна залишаються у воді довше. Крупні частинки легко фільтруються, що забезпечує м'який та збалансований смак. Зерна повинні мати текстуру морської солі, що сприяє оптимальній екстракції протягом 4-5 хвилин, надаючи напою насиченості без гіркоти.

Також важливо враховувати ступінь обсмаження зерен при виборі помелу. Свіжозернові з легким обсмаженням краще розкривають свої фруктові та солодкі ноти при більш дрібному помелі, тоді як темне обсмаження може потребувати грубшого помелу, щоб уникнути надмірної гіркоти.

Кавомолки можна поділити на два основні типи: електричні та механічні.

1. Електричні кавомолки: швидкі й зручні у використанні, з лезами або жерновами.

- Жернові кавомолки є оптимальним вибором для подрібнення кави, оскільки подрібнюють зерна між двома жерновами.
- Сталеві жернова швидко подрібнюють каву, хоча можуть перегріватися, що впливає на смак, але забезпечують високу точність. Багато моделей дають змогу регулювати ступінь помелу.

- Керамічні жернова працюють повільніше, не перегріваючи зерна, що допомагає зберегти аромат. Кераміка також відзначається підвищеною стійкістю до зносу.
- Кавомолки з лезами популярні завдяки доступності, однак мають певні недоліки. Леза залишають великі частинки, що нерівномірно екстрагуються, впливаючи на смак, та можуть перегрівати каву, що знижує її аромат.

2. Механічні кавомолки: зазвичай працюють вручну, дозволяючи контролювати ступінь помелу. Вони також можуть мати жернова або леза. Механічні кавомолки зазвичай компактніші та доступніші за ціною, але вимагають більше фізичних зусиль.

Окрім звичайного подрібнення кави, є й інші методи, зокрема подрібнення за допомогою лабораторного пристрою НС-150 (як показано на рис. 2.3) або розтирання зерен у дрібний порошок за допомогою ступки з маточкою.



Рис. 2.3 Подрібнювач НС-150(швидкісний лабораторний млин)

Правильне зберігання кави має важливе значення для збереження її свіжості та аромату:

- Температура: Каву слід зберігати в прохолодному, сухому місці. Висока температура та вологість можуть погіршити її якість.

- Контейнер: Рекомендується використовувати герметичні контейнери з темного скла або металу, що запобігають доступу повітря та світла.

- Вологість: Не варто зберігати каву в холодильнику, оскільки волога спричиняє злипання часток та знижує якість смаку.

Загалом, вибір правильного ступеня подрібнення — це не лише технічний момент, а ключова частина мистецтва приготування кави. Різні способи помелу можуть значно вплинути на смакові якості, розкриваючи нові відтінки аромату. Тому експериментуючи з помелом, можна знайти оптимальний варіант, що відповідає вашому смаку.

2.5. Метод водно-парової дистиляції ароматних речовин з меленої кави

Для приготування кави в перегінній колбі слід виконати кілька етапів. Спершу налейте воду в парогенератор, заповнивши його на 1/2 або ж 2/3 об'єму. Потім змішайте 50 г змеленої кави з 100 мл дистильованої води в перегінній колбі об'ємом 250 мл. Після цього з'єднайте всі елементи обладнання та розпочніть нагрівання парогенератора і перегінної колби одночасно. Коли вода в парогенераторі закипить, а рідина в колбі досягне точки кипіння, закрийте трійник за допомогою гвинтового затискача (див. рис. 6). У процесі перегонки водяна пара з парогенератора (позначено 2), розташованого в СВЧ-печі (позначено 1), проходить через суміш змелених кавових зерен у реакторній колбі (позначено 2), що дозволяє їй забрати ароматичні сполуки з кави. Суміш далі проходить до холодильника (позначено 4) і конденсується у вигляді конденсату, який збирається у приймачі (позначено 6). Для запобігання передчасній конденсації пари в колбі її підтримують в нагрітому стані, а горловину термостатують за допомогою теплоізоляції та дефлегматора (позначено 7). Згодом після завершення перегонки відкрийте затискач на трійнику та припиніть нагрівання.

Під час процесу перегонки пара проходить через подрібнену каву, що дозволяє їй витягувати ароматичні компоненти. Потім ця суміш переміщається в холодильник, де пара конденсується і збирається в приймачі. Для запобігання конденсації водяної пари у колбі, її обов'язково нагрівають, а горловину обробляють термостатуванням. Згодом після завершення перегонки потрібно зняти затискач на трійнику і припинити нагрівання.

Щодо температура, то вона для перегонки залишається стабільною на рівні 96 °C. Використовуючи 50 г змеленої кави, можна отримати орієнтовно 170-200 мл дистильованої рідини з інтенсивним кавовим ароматом. Час, необхідний для дистиляції, складає близько двох годин.

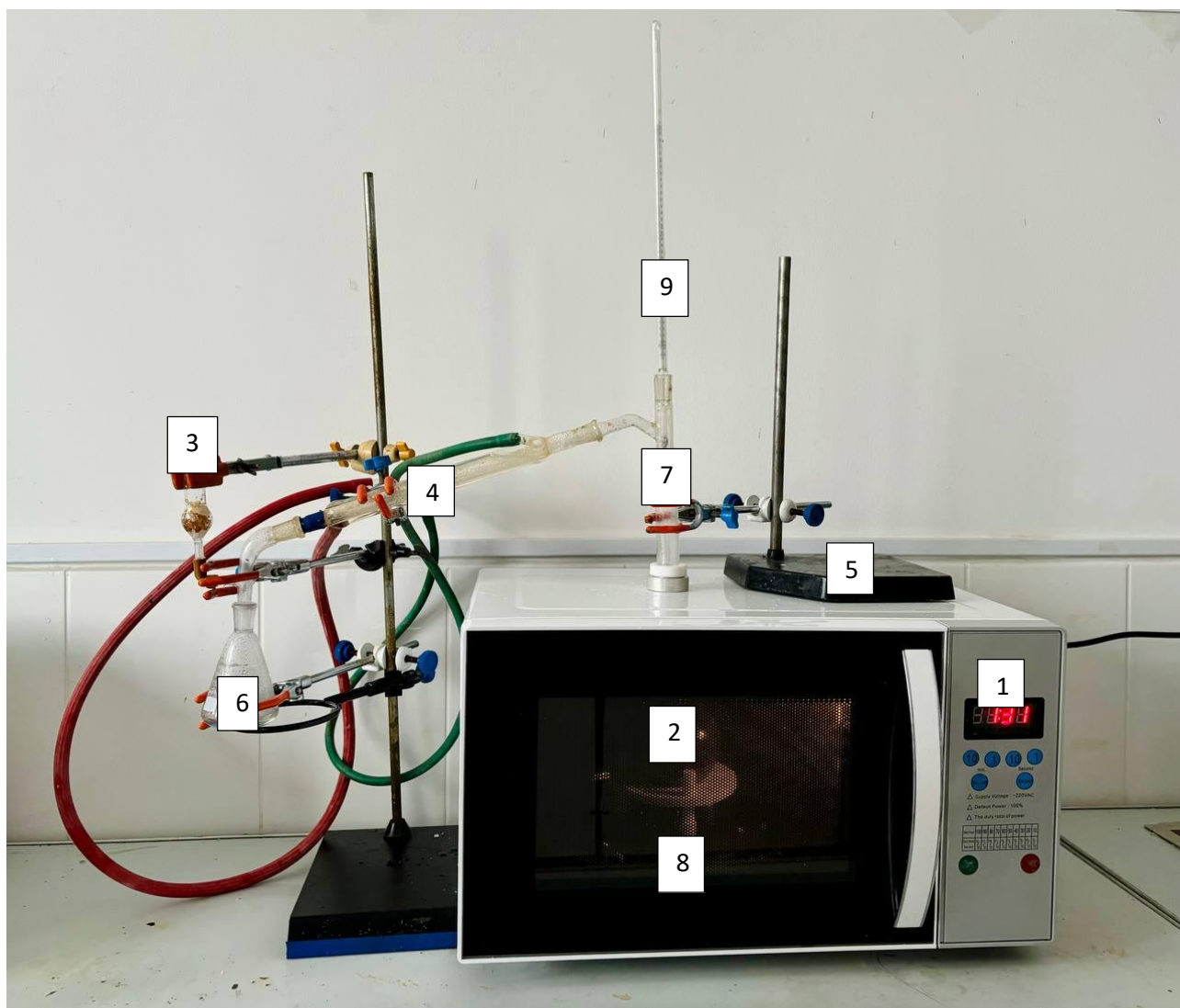


Рис.2.3 Лабораторна установка для вилучення ароматичних речовин із змелених кавових зерен за допомогою водно-спиртових парів складається з наступного обладнання: мікрохвильовий хімічний реактор WBFY-201 для генерування НВЧ-хвиль (1), скляна одnogорла колба для перегонки з водяним паром (2), осушувальна трубка (3), прямий водяний холодильник (4), штатив (5), приймальна колба для збору ароматичних компонентів кави (6), зворотний скляний холодильник-дефлегматор (7), магнітна мішалка НВЧ-реактора (8), термометр (9)

РОЗДІЛ III

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1. Результати термообробки зелених зерен кави в НВЧ-печі

В ізотермічній мікрохвильовій печі MWR-SPR «Microwave Reactor for Solid-phase Reactions» від Milestone (Італія) можна здійснювати обсмажування кавових зерен різних сортів за варіативністю температурних режимів та тривалості обробки.

У результаті досліджень ізотермічного термооброблення зерен арабіки "Brasil Santos" і робусти "Vietnam" були визначені оптимальні технологічні умови. Після кожного етапу термообробки проводилося вимірювання температури, тривалості процесу, втрат маси кавових зерен, швидкості обертання та потужності мікрохвильової печі. Результати було внесено до таблиці (3.1) разом із записом спостережень.

За підсумками експериментів було встановлено оптимальні параметри термообробки зерен арабіки "Brasil Santos" та робусти "Vietnam" у мікрохвильовій ізотермічній печі MWR-SPR (див. рис. 3.1). Вони включають тривалість обробки від п'ятнадцять до двадцять хвилин, зменшення маси на 15–18%, температурний діапазон від 145 до 195 °C і потужність мікрохвильової печі від 300 до 800 Вт.

Ці параметри суттєво відрізняються від традиційного обсмажування на відкритому вогні або електронагрівачах, де температура значно вища — до 220–260 °C, водночас тривалість обробки триває до 30 хвилин.

Таблиця 3.1.

Умови термічного обжарювання зелених зерен арабіки в ізотермічній мікрохвильовій печі MWR-SPR «Microwave Reactor for Solid-phase Reactions», Milestone (Італія).

№	Ступінь термообробки	Властивості кави	Швид-міш.	Час Термо-оброб.	Втрати ваги,	Темпе-ратура,	Потуж-ність випрмN	Ознаки
			об/хв	Хв.	%	°C	вт	
1	Зелена і чорна кава , сорту Арабіка, виду “Brasil Santos” фірми «Salvia Paradise” розф. в Чеській респуб.	1.Стадія сушки: Сирі зерна, зеленої кави(блідо-зелені з майже без запаху). Сушка кавових зерен від вологості (при 60°C 15 хв.) при відкритій на повітрі ємності для сушки.	250	15	0,5-2,5	20-60	300	Зелені (зелені з сіруватим відтінком) неприємний запах і гладенькі кавові зерна. Трохи кавових зерен біля маг. мішалки пожовкли і стали темнішими до темно жовтого кольору, колба помутніла від випар. води. Певною мірою зник неприємний запах зеленої кави.
2	Brown , коричневого кольору арабіка, виду “Brasil Santos” фірми «Salvia Paradise розф. в Чеській респуб.	2. Після стадії сушки №1 (при 60°C, 15хв. втр.=1,9%). Прожарювання із зворотнім холодильником та дефлегматором: випаровування пари зумовлює розширення кавового зерна.	250	+20= 35	2,8	35-105°	300	Рівномірно від жовтого до світло-коричневого ко-льору. Зник запах зеленої кави. Легка насиченість смаку, слабкий аромат з хлібним запахом. Відпадіння верхньої обо-лонки (шелухи) від поверхні кави. Відсутність масел кави на поверхні.
3	Brown , арабіка, виду “Brasil Santos” фірми «Salvia Paradise, Бразилія розф. в Чеській респуб.	3.Після стадії сушки проходить підсма-жування з викорис-танням зворотнього холодильника та дефлегматора, при збільшеній потужності СВЧ реактора.	250	+20= 35	4,8	35-125°	400	Помірно темно-коричневого кольору, з сухою повер-хнею. З’явився запах сма-женої кави. Відпадіння верньої оболонки (шелухи) від поверхні кави. Зерна продовжують набухати і збільшуватися. Чутно «nhtr
4	Brown , арабіка, виду “Brasil Santos” фірми «Salvia Бразилія розф. в Чеській респуб.	4.Після стадії сушки проходить підсма-жування в ізотер-мічному режимі з використанням деф-легматора і зворотного водяного холодильника в коніч. колбі. і маг. мішалкою при збіль-шеній потужності СВЧ реактора.	250	+20= 40 хв.	3,5	20-135	600	Коричнева Зелена і чорна кава з особливим запахом, відмінно прожарених кавових зерен (запах печеного хліба). Є різниця між кавовими зернами. Збільшуються в 1.5 рази, де-не-де утворюються сліди кавової олії. Повністю відходить лушпиння з поверхні зерен.
5	Americana , арабіка, виду “Brasil Santos” фірми «Salvia Paradise, Бразилія розф. в Чеській респуб.	5.Після стадії сушки проходить підсма-жування з викорис-танням дефлегматора і зворотного водяного холодильника з коніч. кол. і маг. мішалкою , при збільшеній по-тужності СВЧ реактора.	250	20	13,5	20-145	700-800	Темно Коричнева Зелена і чорна кава зі специфічним запахом добре пожареної кави. Збільшуються в розмірах в 1.5 рази, де-не-де помітні сліди жиру. Лушпиння з поверхні кавових зерен відходить.
		5.1 Після стадії сушки Без перерви проходить Прокалювання з викорис-танням деф-легматора і зворотного водяного холодильника з коніч. колбою на 250мл з магнітною мішалкою. Теор. Втрати=15,0%	250	20	13,5	20-145	700-800	Чорна підсмажена Зелена і чорна кава . Зерна тріщать (2 тріск) від виділення газів. Коричневого кольору середньої насиченості, . Збільшуються в розмірах 2 рази, помітні сліди олії на поверхні зерен. Етап «спікання» та частково обвуглення закінчується.
		<i>Сумарно</i>	250	Σ= 40	15-16 %	20-145 °C	300-800	Чорна підсмажена Зелена і чорна кава з приємним кавови-запахом і смаком.
6	Americana , арабіка«Salvia»		250	Σ= 40	15-16 %	20-145 °C	300-800	

3.2. Диференціальний термічний аналіз термооброблених зерен кави

Табл. 3.2 Дослідження ДТА кривих сирих зерен кави сорту Арабіка

№	Швид- кість нагрі- ву v $^{\circ}\text{C}/\text{хв}$	Час нагрів у t , хв	Темпера- турний діапазо- н нагріву T , $^{\circ}\text{C}$	T_1 max Швидко- сті дегідра- тації, $^{\circ}\text{C}$	T_2 max Швид- кості прожа- рюван- ня $^{\circ}\text{C}$	ΔT_1 , діапазон дегідрата- ції $^{\circ}\text{C}$	Час дегідра- тації Δt_1 , хв	Середня. швидкість дегідрата- ції v_1 %/хв	Δm , Втрати маси Кави, %		ΔT_2 , діапазо- н прожар- ювання $^{\circ}\text{C}$	Час прожа- рюван- ня Δt_2 , хв	Сер. Швид- кість прожа- рювання v_2 %/хв
									Дегідра- тація Δm_1 , %	Про- жар- юван- ня Δm_2 , %			
1	10	28	20- 240	70	230	20-150	16	0.625	10	32	150- 230	36	0.88
2	5	28	18- 130	66	115	18-130	28	0.22	11,5	-	-	-	-
3	5	52	20- 240	50	245	20-130	33	0.42	14	51	130- 230	70	0.53

Аналіз здійснювався за допомогою методу диференційного термічного аналізу (ДТА) на дериватографі Q-1000D MOM (Paulik-Erdey). Зразки кави, масою 92,4 і 99,9 мг відповідно, нагрівалися із заданою швидкістю (5 і 10 $^{\circ}\text{C}/\text{хв}$) до температурних меж 125 і 250 $^{\circ}\text{C}$.

Під час дослідження зерен зеленої арабіки для кожного зразка реєструвалися криві ТГ, ДТГ, ДТА і Т, фіксуючи дані протягом 30 хвилин до стабілізації значень. Показники ДТА зведені в табл. 3.2 та на рис. 3.1., демонструють, що при обсмажуванні зелених зерен виділяються різноманітні ароматичні сполуки. Після завершення нагрівання реєстрація показників продовжувалася ще півгодини до моменту стабілізації кривих ДТА. Для кожного зразка було зареєстровано залежність ТГ, ДТГ, ДТА та Т від часу, при цьому значення ТГ були переведені в процентні величини для полегшення порівняння.

Згідно з табл. 3.2 та рис. 3.1 (а, б, в), термообробка зерен зеленої кави включає два основні процеси: 1) ендотермічний процес дегідратації у температурному діапазоні 20-130 $^{\circ}\text{C}$, тривалістю 10-15 хвилин, а також 2) екзотермічний процес термічного спікання зерен у діапазоні 130-200 $^{\circ}\text{C}$. Цей останній процес зумовлений реакцією Майяра між глюкозою, фруктозою та амінокислотами. Швидкість цього процесу, що проявляється в втраті маси 0,53-

0,88 мас.%/хв, перевищує швидкість сушки-дегідратації зерен сирих бобів, яка складає 0,22-0,62 мас.%/хв.

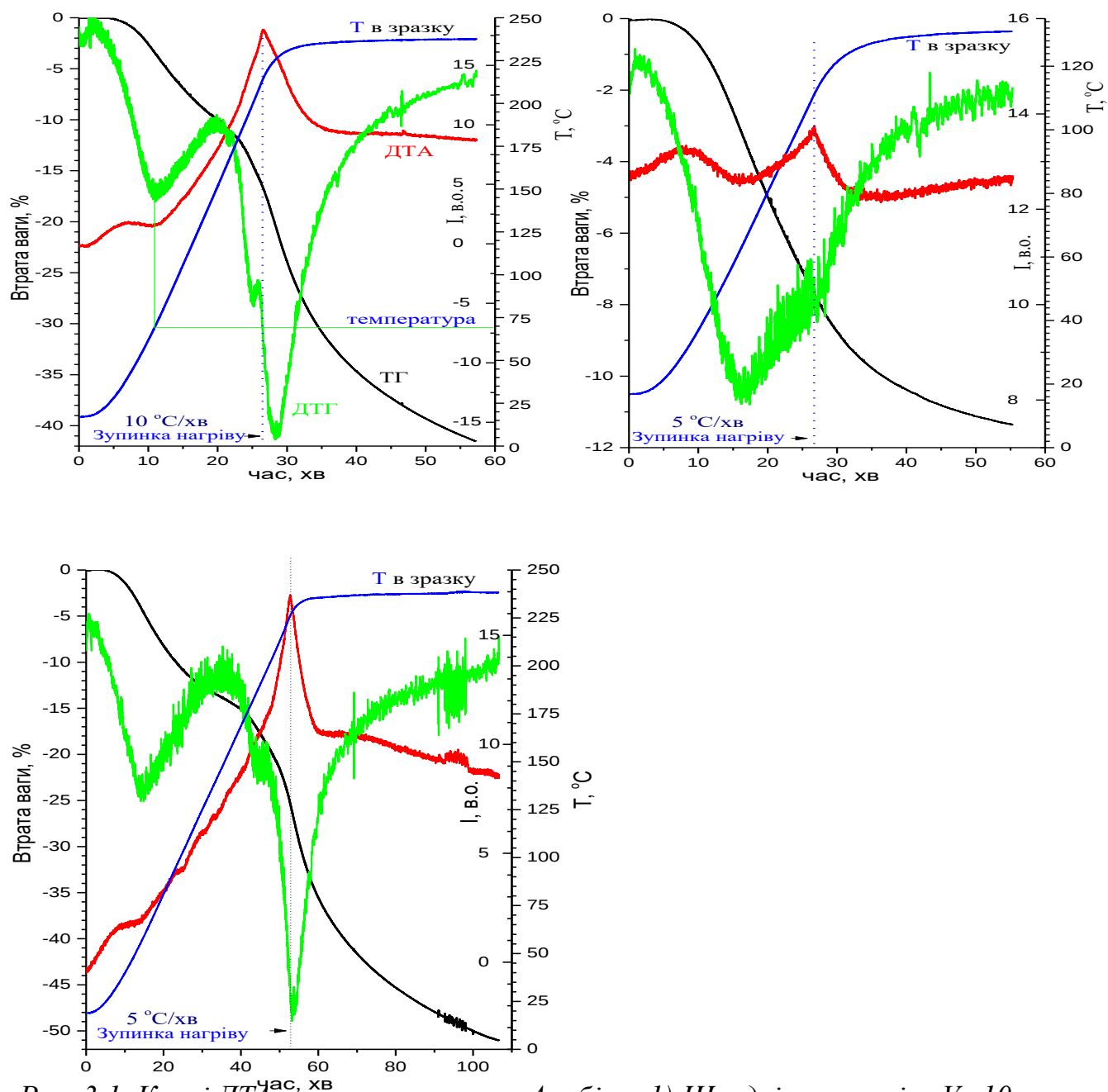


Рис. 3.1. Криві ДТА зелених зерен кави Арабіка :1) Швидкість нагріву $V=10\text{ °C/хв}$ до 250 °C 2) Швидкість нагріву $V= 5\text{ °C/хв}$ до 130 °C . 3) Швидкість нагріву $V= 5\text{ °C/хв}$ до 250 °C

3.3. Процес виділення ароматних хімічних сполук з кави дистиляцією з водяною парою

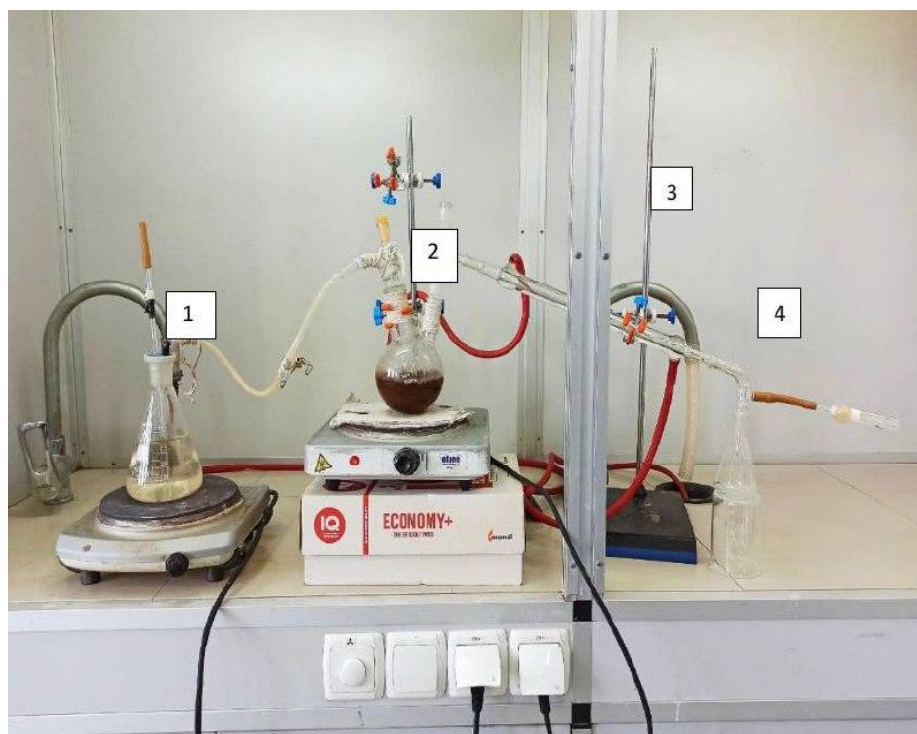


Рис. 3.2. Лабораторна установка для вилучення ароматичних речовин кави за допомогою водно-спиртової пари, що складається з парогенеруючої колби на електроплиті –поз.1, колби для екстракції кави парою на електроплиті –поз.2, прямого водяного холодильника –поз.3, та приймальної колби для збирання ароматичних речовин кави –поз.4.

У ході експерименту досліджувались різні сорти кавових бобів: «Арабіка», «суміш Арабіки та Робусти (США)», «сірі зерна кави (Колумбія)», а також «LAVAZZA Crema e Gusto». Із даних зразків були виділені ароматичні компоненти, які розділили за кількома характеристиками (див. табл. 3.3), зокрема за такими параметрами:

1. Вміст сухого залишку після висушування - С,
2. Показник заломлення - n ,
3. Оптична густина - %,
4. Водневий показник - рН
5. Органолептичні властивості.

Результати відгону ароматних компонентів водяною парою з чорної кави

Аналітичні показники		Дистильована вода	Арабіка	Арабіка + Робуста (США)	Зелена кави (Колумбія)	Кави сорту LAVAZZA
Сухий залишок, С	г	0,0004	0,0021	0,003	0,0012	0,006
	%	0,00404	0,02135	0,03386	0,012122	0,0607
Показник заломлення, n		1,333	1,3328	1,3329	1,333	1,3327
Оптична густина, світлопропускання T,%		100	100	94	>100	90
Водневий показник, рН		6,97	3,40	3,83	3,43	3,65

У цій роботі зазначено порівняльна характеристика екстрактів кави, отриманих на дистильованій воді, яка застосовувалась для їхнього приготування. Результати щодо даного аналізу наведено у таблиці 3.3 та на рис. 3.3. Для того, щоб відбулося визначення сухих залишків кави у зразках дистилату з кожного зразка було взято по 10 мл аліквот, які висушували в сушильній шафі при температурі 105°C протягом 2-х годин, відповідно до методики, описаної в літературі. Дані досліджень показують - відсоток сухого залишку в помеленій каві підріс з 0,0021 аж до 0,006 від Арабіки до Лавацци, що є суттєвим збільшенням у три рази. Цього було досягнуто через більш високий ступінь помелу кавових зерен та підвищеному вмісту ароматичних компонентів.

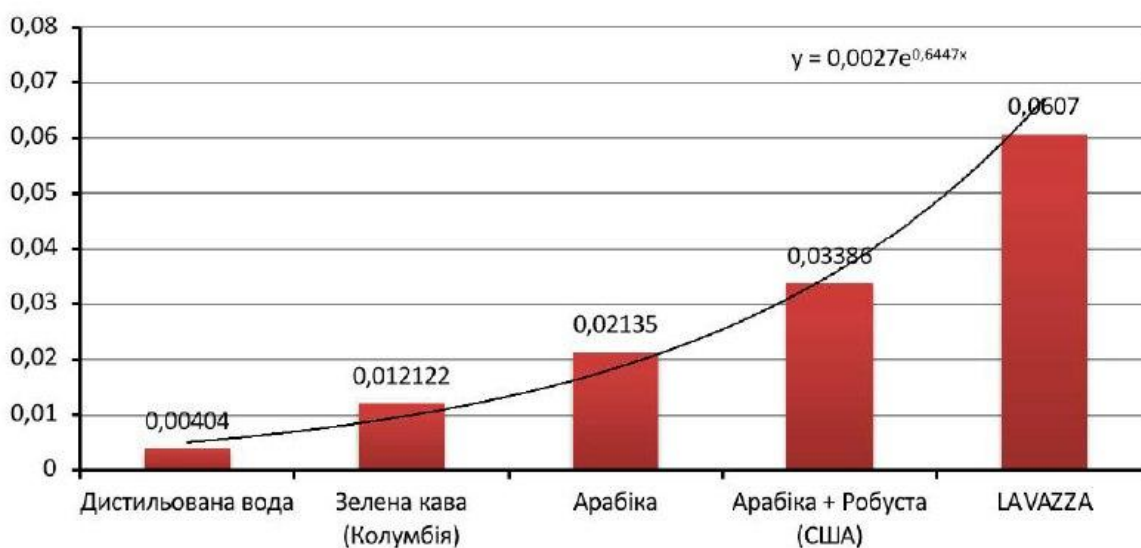


Рис. 3.3. Залежність сухого залишку екстракту змелених сирих та чорних бобів різних сортів, отриманого методом парової сушки-дистиляції

Результати вимірювання рівня водневого показника витяжок кави наведені в таблиці 3.3, а також на рисунку 3.4. Дослідження водневого показника дистиляту виявило, що присутність ароматичних складових суттєво впливає на створення кислого середовища, зокрема за рахунок карбонових і ароматичних кислот та їх похідних, що містяться у каві.

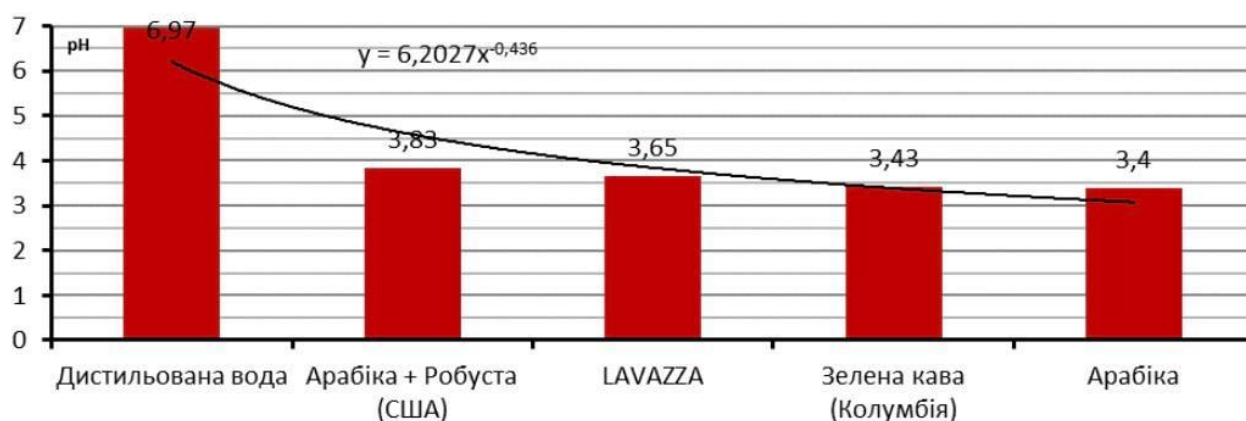


Рис.3.4. Водневий показник отриманих дистилятів кавових зерен у H_2O

У процесі дослідження було виявлено, що під час перегонки дистилятів з ароматичними складовими показник заломлення залишається майже незмінним. Проведені експерименти дозволяють підтвердити присутність ароматичних і маслянистих складових в дистилятах кави різноманітних сортів, як-от Арабіка, Робуста, а також Лавацца.

3.4. Методологія виділення ароматних хімічних складників з кави дистиляцією з розчином етанолу

Для підвищення ефективності видалення ароматичних речовин було досліджено вплив додавання різних концентрацій винного спирту у водний розчин під час приготування еспресо. Результати експерименту занесені до таблиці 3.4.

Як ми можемо побачити з експериментальних даних у таблиці 3.4, а також на рисунку 3.5, додавання винного спирту у водний розчин збільшило рН екстрактів до нейтрального рівня, що в свою чергу відрізняло їх від кислих

водних екстрактів кави. Це, ймовірно, зумовлено нейтральним значенням рН винного спирту, хоча органічні екстракти зазвичай майже не впливають на водневий показник розчинів.

Таблиця 3.4

Підсумок відгону ароматних складників з кави парами винного спирту

Показник		Дистильована вода	Водний екстракт кави	Спиртовий екстракт (66% спирту)	Спиртовий екстракт (92% спирту)	Спирт етиловий (96%)
Водневий показник, рН		5,175	3,335	5,03	5,025	6,96
Показник заломлення, n		1,333	1,3125	1,3645	1,361	1,364
Оптична густина, світлопропус.Т, %		100	99,75	100	99,5	99,5
Сухий залишок	г	0,0007	0,0046	0,0032	0,0055	0,001
	%	0,007	0,0464	0,0368	0,07	0,013

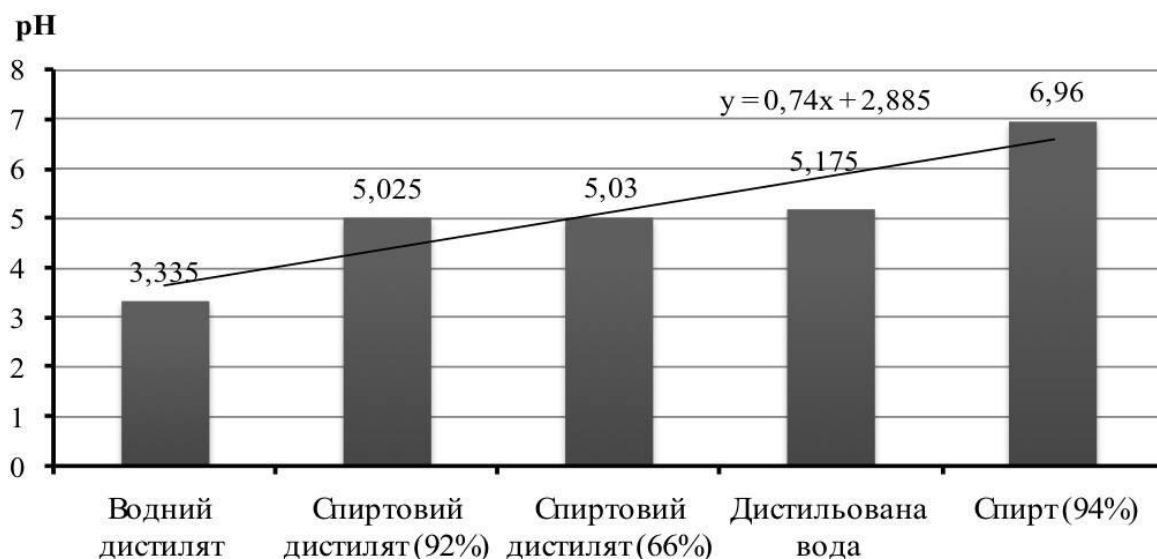


Рис. 3.5 Водневий показник витяжки кави з різним умістом винного спирту

При аналізі водно-винного екстракту кави встановлено, що його показник заломлення був близьким до показника заломлення винного спирту (C_2H_5OH). Отримані дані зображені на рис. 3.6.

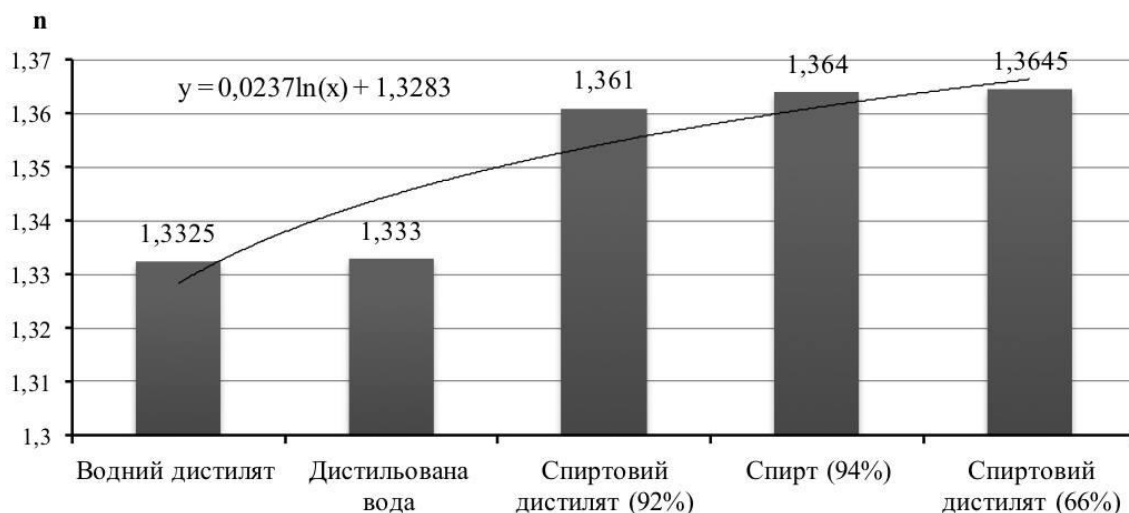


Рис. 3.6 Показник заломлення досліджуваних рідин(екстрактів кави з винного спирту)

Експеримент показав, що додавання винного спирту до кавового екстракту знижує оптичну густину (рис. 3.7) та коефіцієнт пропускання, що свідчить про значно ефективне вилучення ароматичних і маслянистих компонентів з кави. Тому це і є підтвердженням збільшення кількості безводного залишку екстракту кави (рис. 3.6).

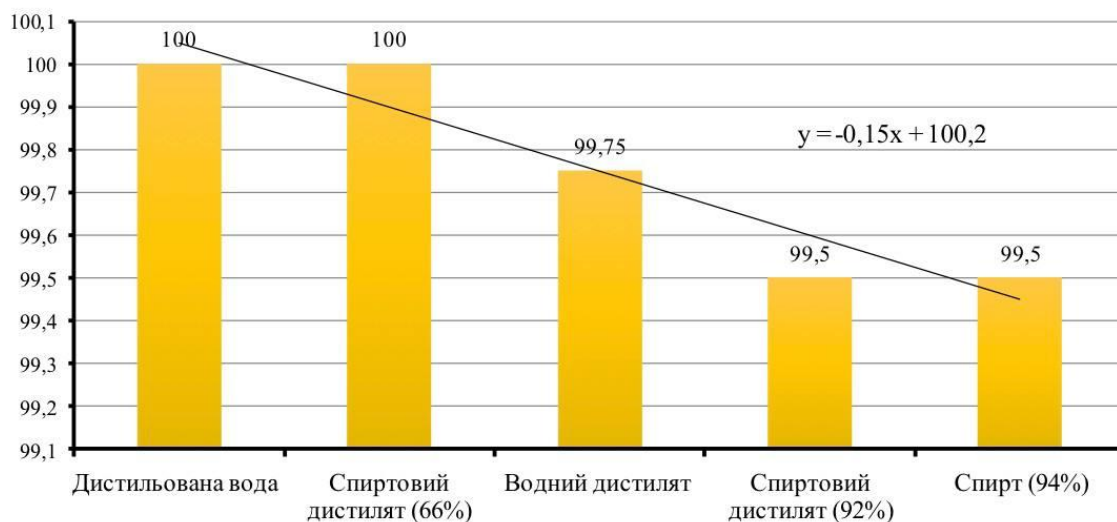


Рис. 3.7 Світлопропускання фракцій кави з різним вмістом винного спирту

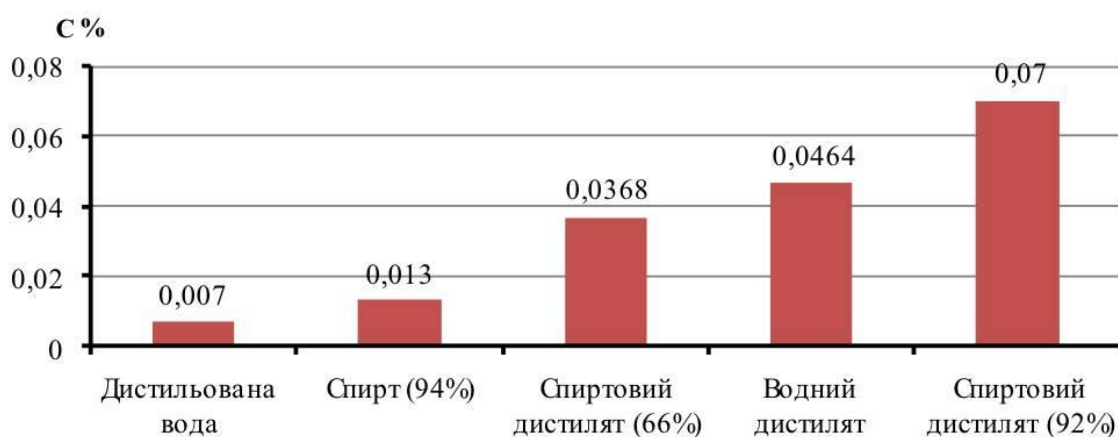


Рис. 3.8. Сухі рештки безводних фракцій кави з різним вмістом винного спирту

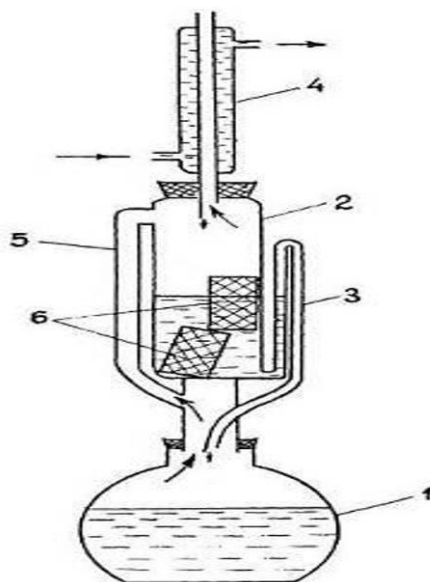


Рис. 3.9 Апарат Сокстлетта складається із таких елементів:

1. Термостійка колба зі шліфом,
2. Апарат Сокслета для витяжки,
3. Переливна трубка,
4. Зворотний холодильник,
5. З'єднувальна трубка,

6.Зразок (чорні і зелені зерна кави).



Рис. 3.10 Зважування подрібненої кави після витяжки з апарату Сокстлетта на визначення безводного залишку у воді та абсолютному спирті



Рис. 3.11 Гістограми відображають залежність ефективності екстракції кави від способу термообсмажування — у ростері або мікрохвильовій печі, а також від виду екстрагента — водного або винного розчину.

З рисунку 3.11 можна дійти висновку, що теплообробка зерен у мікрохвильовій печі сприяє збільшенню кількості екстрагованих компонентів у водних і винних розчинах на 4% порівняно з традиційною теплообработкою у ростері. Це дає підставу підтверджувати те, що за конкретних умов

термообжарювання кавових зерен у мікрохвильовій печі може забезпечити вищу концентрацію кавових речовин у розчинах та зменшити втрати зерен порівняно з термообжарюванням у ростерах.

3.5. Вивчення хімічного складу водно-спиртових дистилатів кави

3.5.1. Ідентифікація розмірів частинок кави у водно-спиртових екстрактах натуральної кави

В ході дослідження розміру частинок ароматичних молекул кави застосовували пристрій для лазерного кутового розподілу часток NANODS CILAS, що використовувався для аналізу водних та абсолютних екстрактів. Як видно з результатів - розмір молекул у водних екстрактах знаходиться в межах 9000 нм, тоді як у спиртових витяжках цей показник значно менший і варіюється в діапазоні 150–1200 нм (рис. 3.12 кр.1.2). Ймовірно, це і є головною відмінністю, яка впливає на різницю ароматичних властивостей зеленої та чорної кави у водних і винних розчинах.



Рис. 3.12 Діаграма умісту витяжки кави у водних(голубі стовпці) та винних розчинах(червоні стовпці)

3.5.2. Інфрачервоний спектральний аналіз і мас-спектроскопія кавових екстрактів у воді та етанолі

На спектрометрі FTIR Nicolet i S50 ThermoScientific було отримано інфрачервоні спектри кавових екстрактів, що виявили наявність гуараніну при 1600 см^{-1} , ароматичних кислотних речовин при 1400 см^{-1} і складних кетонів або ж альдегідів поблизу 1200 см^{-1} (див. рис. 3.13–3.14). Під час карамелізації бобів кави утворюються насичені кольорові речовини з подвійними сполученими зв'язками, які поглинають світло, надаючи каві типового коричневого забарвлення. Щодо ненасичених полімерів, то вони утворюються у каві при температурі обжарки $190\text{--}200^\circ\text{C}$. У каві можуть виникати карамелан, карамелен та карамелін — органічні сполуки, зокрема $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_9$, $\text{C}_{24}\text{H}_{36}\text{O}_{18}$, і $\text{C}_{36}\text{H}_{50}\text{O}_{15}$. Вони характеризуються різними властивостями, кольором, смаком, а також розчинністю у H_2O та $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, в залежності від ступеня дегідратації. Можливе ще утворення гумінових полімерів, які в свою чергу надають каві темного забарвлення і гіркого смаку.

- a. Карамелан має температуру плавлення 145°C , кут повороту світла $20D = 80$, розчинний у H_2O і 80% карбінолі;
- b. Карамелен плавиться при 205°C , кут повороту світла $20D = 64,5$, розчинний в H_2O ;
- c. Карамелін зовсім не плавиться, кут повороту світла $20D$ відсутній, розчинний у H_2O при кипінні.

Збільшення кількості ненасичених зв'язків ($-\text{C}=\text{C}-$) у карамелізованій каві веде до зростання інтенсивності відтінку, надаючи їй темно-коричневого забарвлення (відповідно до реакції №2).

Для детальнішого хімічного аналізу застосовували метод МАС (матрична активація та лазерна десорбція/іонізація), який базується на молекулярних масах компонентів і здійснюється за допомогою MALDI-TOF. Зразки наносили на сталеву мішень, після чого висушували згідно з шаблоном. Кожен спектр містив близько 200 унікальних спектрів, інтервал експерименту був від 100 до 6000 Да. Для підготовки матриці MALDI-TOF застосовували розчин, що містив 12 мг у

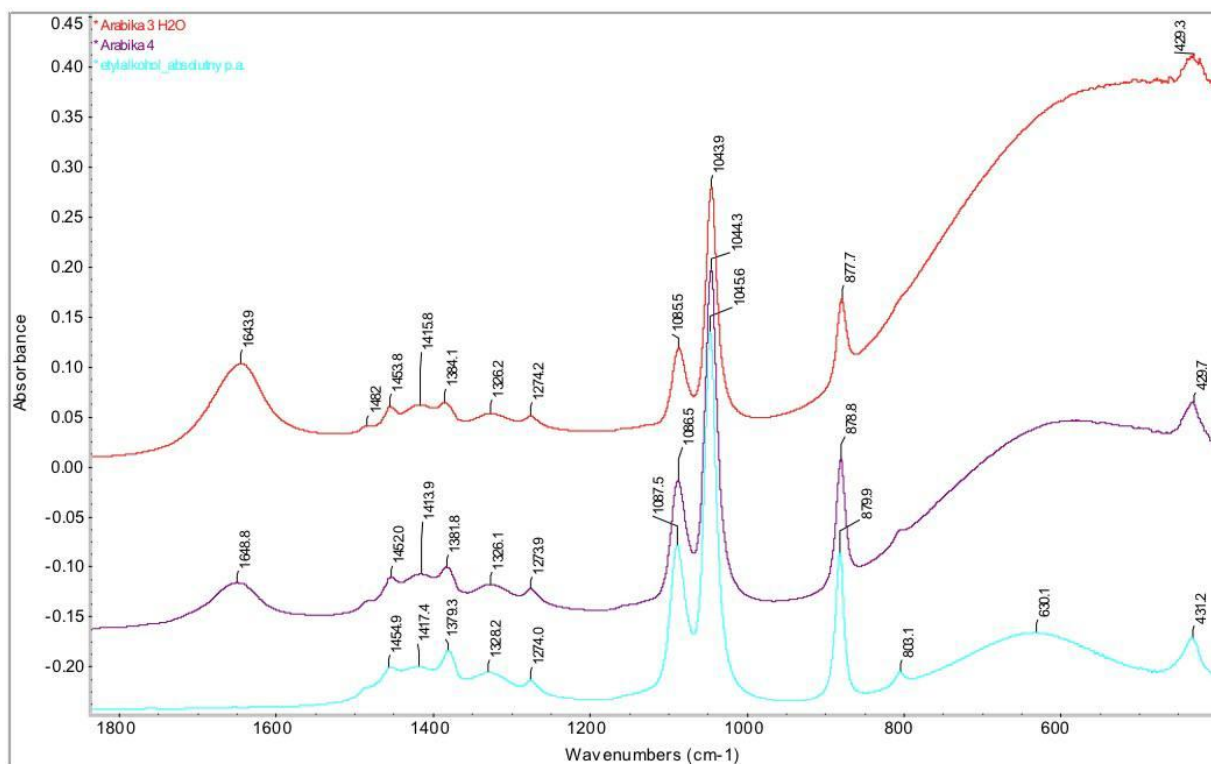


Рис.3.14 Порівняння інфрачервоних спектрів для водного екстракту кави(1), винного екстракту кави(2), і абсолютного спирту(3)

У цьому експерименті було досліджено три зразки зерен кави сорту Арабіка: витяжка заварена в H_2O при $90^{\circ}C$; дистилят, отриманий з водяною парою при $100^{\circ}C$; а також витяжка, отримана за допомогою парів винного спирту при $82^{\circ}C$.

Для кожного зразка було здійснено аналіз молекулярно-масового розподілу речовин за допомогою МАС-спектроскопії. За результатами МАС-спектроскопії ідентифіковано 25 відомих і 10 невідомих складників у кожному зразку витяжки. На основі обрахованих даних було створено гістограми молекулярного розподілу цих компонентів, що представлені на рисунку 3.15.

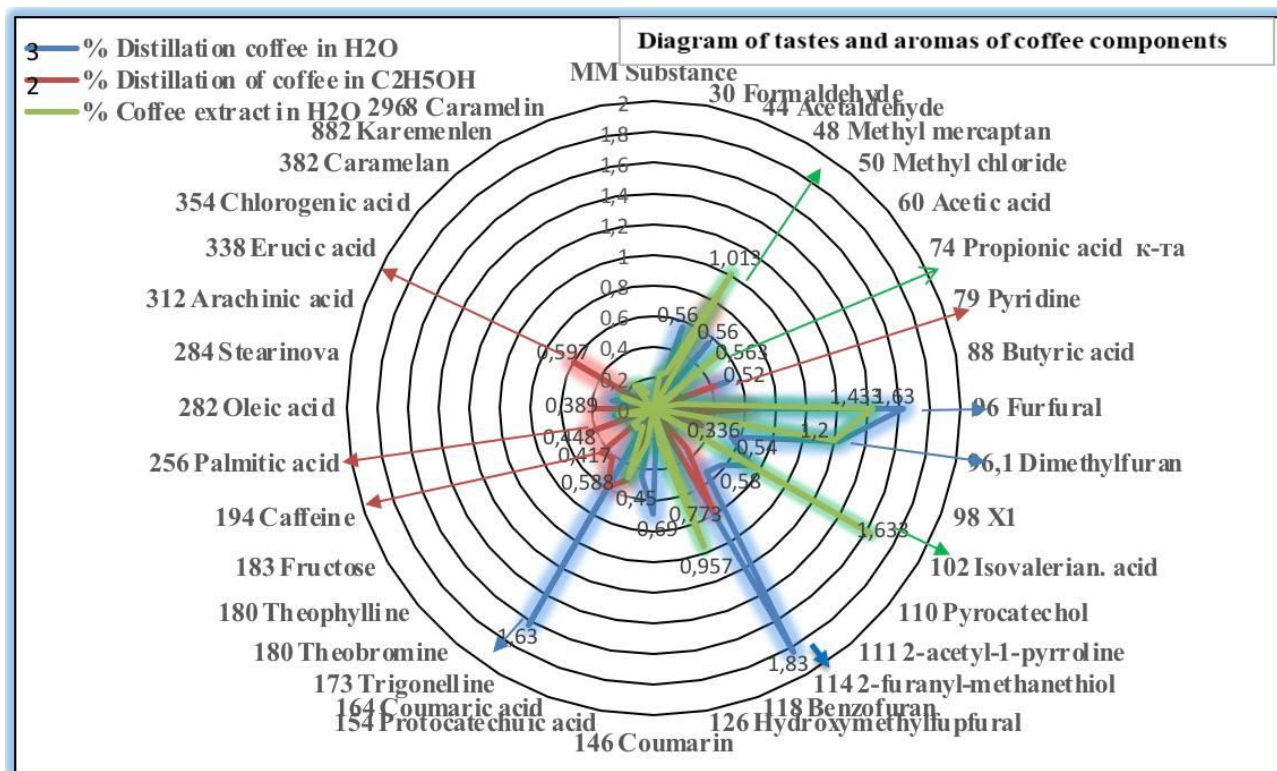


Рис. 3.15 Детальна діаграма смаку і ароматів кавових бобів сорту арабіка за ММ розподілом складу хімічних складних речовин

З аналізу кавових водно-винних екстрактів видно, що їхній водневий показник знаходиться в межах 4-6, що близьке до нейтрального середовища, на відміну від кислих водних витяжок із показником рН 3-4. Ці показники не залежать від сорту чи виду кавових зерен. Оптична густина винних екстрактів була нижчою, ніж у водних, що свідчить про більш ефективне виділення ароматних і маслянистих речовин винним спиртом. Це також підтверджується збільшенням залишків безводних сполук в абсолютних витяжках, які перевищують водні в два-три рази.

Саме аромат завареної кави є одним із ключових аспектів його смаку. Для більш детального аналізу був проведений МАС-спектральний аналіз, спрямований на визначення трьох основних складників, вміст яких у витяжках кави та дистилятах води й етанолу є найвищою. Дані цього дослідження представлені у вигляді гістограм із фоновим підсвічуванням певного кольору (рис. 18). Незважаючи на те, що хімічний склад кави змінюється в залежності від термообсмаження, детальна структура ароматичних і смакових речовин кави

залишається недостатньо дослідженою, що потребує в свою чергу подальших аналізів та досліджень (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Порівняння індивідуальних речовин вогких та термооброблених бобів кави (г на 100 г продукту)

Речовина	У сирих зернах кави	У обсмажених зернах кави
1. Кофеїн	0,70...2,50	0,63...2,25
2. Хлоренова кислота	5,50...10,9	2,20...4,00
3. Дубильні речовини	3,60...7,70	0,50...1,00
4. Сахароза	6,00...10,0	0,56
5. Редукуючі цукру	0,70...1,00	2,22
6. Мінеральні речовини	3,60...4,05	5,00...7,00
7. Ліпіди	9,40...18,0	9,40...18,0
8. Білкові речовини	9,00...10,2	7,65...9,75
9. Органічні кислоти:		
10. -яблучна кислота	0,30	0,18
11. -щавлева кислота	0,05	0,042
12. -винна кислота	0,40	0,28
13. -лимонна кислота	0,30	0,13
14. Екстрактивні речовини	20,0...29,0	21,0...25,0

Отож, у цьому дослідженні було проведено точний аналіз молекулярних мас окремих сполук, що містяться у кавових бобах сорту Арабіка після різних методів обробки, а також дистиляції. У цьому досліді нами було використано МАС-спектральний аналіз трьох зразків кофе, вони були термообжарені в мікрохвильовому реакторі за визначених умов. Зокрема, досліджували: екстракт натуральних чорних бобів кави Арабіка, приготовлений у воді при температурі 100°C; водно-паровий дистилят чорних бобів кави Арабіка, отриманий при

температурі 90°C; і винний дистилят, отриманий із використанням 96% абсолютного спирту при температурі 78-82°C (див. табл. 3.6).

Табл.3.6 МАС-спектрального аналізу було виявлено молекулярні маси та походження ароматичних і смакових характеристик різноманітних компонентів, виявлених в витяжках та дистилятах з кави

№	Назва	Формула	ММ	Природне походження	Характеристика аромату і смаку
1	Формальдегід	CH_2O	30	Утворюється в природних умовах, при фотохімічному окисненні метану або метанолу, при атмосферному тиску	Безбарвний газ, різкий, характерний мурашиний запах, подразнює шкіру, очі і носоглотку і виявляється по запаху в кількості $0,05-1 \cdot 10^{-6}$
2	Ацетальдегід	CH_3COH	44	Ацетальдегід зустрічається в каві, в стиглих фруктах, хлібі, каві і синтезується рослинами з етанолу.	Безбарвний газ з різким запахом, схожим на запах прілого яблука, добре розчиняється у воді, спирті, ефірі.
3	Метилмеркаптан	CH_3SH	48	У газоподібному вигляді важчий за повітря. При високих концентраціях негативно впливає на центральну нервову систему. Метантиол утворюється при розкладанні	Безбарвний отруйний газ з сильним запахом, при малих концентраціях нагадує запах гнилої капусти. Поріг відчуття запаху метантиола при об'ємній концентрації 1 частина на мільй
4	Хлористий метан	CH_3Cl	50	Велика кількість хлорметану виробляється природно в океані дією сонячного світла на біомасу.	Хлорметан безбарвний легко летючий прозорий газ з солодкуватим запахом.
5	Оцтова к-та	CH_3COOH	60	Оцтова кислота міститься в низьких концен-траціях у багатьох рослинних і тваринних сис-темах. синтезується як продукт ферментації вина набув консервант	Оцтова кислота за стандартного стану є безбарвною рідиною із різким запахом. При замерзанні, за температури 16,635 °C, вона перетворюється на прозорі кристали (льодяна оцтова кислота)[1].
6	Пропіонова к-та	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	74	Застосовують як <u>консервант</u> у продуктах для людини та тварин. У природі пропіонова кислота утворюватись внаслідок <u>ферментації (пропіоновокисле бродиння)</u> .	Їдка рідина без кольору з різким олійним запахом, з хімічною формулою проявляє властивості жирних кислот.
7	Піридин	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	79	Без обмежень змішується з водою та практично з усіма органічними розчинниками. З водою (41,3 мас%) утворює азеотропну суміш з температурою кип 93,6 °C	Безбарвна рідина з характерним неприємним запахом.. косткового масла, отримують сухої перегонкою необезжирених костей, Піридин токсичний, діє на нервову систему, шкіру
8	Масляна к-та	$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	88	Масляна кислота і її ефіри в невеликих кількостях містяться у вершковому маслі і нафті.	Безбарвна рідина з різким запахом прогірклого масла, Неприємний запах масляної кислоти зазвичай відчувається в концентрації вище 10 частин на мільйон, цей запах характерний
9	Фурфурол	$\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$	96	Отримують з кукурудзяних качанів, пшеничних висівок, рисового лушпиння і соломки вівса, рису та ін. злаків, волокна конопель,	Рідина з запахом житнього хліба. Це безбарвна масляниста рідина, але на повітрі зразки швидко стають жовтими. Гідролізом рослинної сировини розведеними мінеральними кислотами з безперервною відгонкою продукту з паром.
10	Диметилфуран	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}$	98	2,5-диметилфуран отримують з біомаси. Речовина може бути отримана безпосередньо з рослин і фруктів, з глюкози.	<u>Має запах карамелі і використовується як харчовий ароматизатор</u>
11	Ізовалеріанова к-та	$\text{CH}_3\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{-COOH}$	102	Міститься в кореневих валеріані лікарської у вільному вигляді, в складі борнілізовалеріанат, у вигляді валепотріати - Також виявлена в чайному дереві, хмелі, ефірних маслах кави ряду цитрусових і ін.	Безбарвна розчинна у воді, розчинна в етиловому спирті, діетиловому ефірі, хлороформі виробляється анаеробними бактеріями в ході реакції бродиння білкового субстрату [1], обумовлюючи запах поту деяких сортів сиру.

12	Пірокатехін	$C_6H_6O_2$	110	Отримують при сухій перегонці екстракту з акації катеху пірокатехин, так і його похідні були знайдені в різних рослинах, в деревині і смолах, .	Безбарвні кристали з запахом фенолу. Сильний відновник На світлі і повітрі темніють до коричневого кольору.
13	2-Ацетил-1пирролін	C_6H_9NO	111	2-Ацетилпирролін і його структурний гомолог, можуть бути утворений шляхом реакцією Майяра при нагріванні харчових продуктів, таких як хліб підсмажування кави.	Ароматичну речовина і ароматизатор, який дає білий хліб, рис жасмину і рис басматі, специфічний запах, запах, як схожий на «гарячу, змащену маслом попкури», і
14	2-фураніл-метантіол	C_5H_6OS	114	Природний та Синтетичний ароматизатор. <u>Безбарвна масляна рідина перетворюється в темно-коричневий, при зберіганні, після розведення, стає приємний Кавовий аромат, карамель, солодкий</u>	Це прозора безбарвна рідина в чистому вигляді, але вона стає жовтим кольором при тривалому стоянні. Він володіє <u>сильним запахом смаженої кави і гіркого смаку.</u>
15	Бензофуран	C_8H_8O	118	Бензофуран об'являють в каменнотольній смоле і продуктах карбонізації	Бензофуран є безбарвною рідиною з ароматним запахом, розчинний у воді, етанолі, діетиловому ефірі. полімеризується.
16	Гідрокси-метил-фурфурол	$C_6H_6O_3$	126	Отримують зневодненням деяких <u>цукрів</u> , ^[2] в.т.ч. в каві з <u>біомаси деревини, целюлози та крохмалю</u> , ^[1] . Легко утворюється з <u>моносахаридів</u> при нагріванні <u>меду</u> .	Безбарвна рідина, при зберіганні отримує буре забарвлення. Легкоплавкі безбарвні або жовтуваті кристали
17	Тригонеллін	$C_7H_7NO_2$	137	Тригонеллін - алкалоїд, що міститься в каві і деяких інших рослинах, інша назва - метилбетаннікотінова кислота, відноситься до півтер-іонним з'єднанням. сіллю нікотинової та бетанінові кислот.	Наявність саме цього алкалоїду в каві обумовлює його запах при обсмажуванні тому, що при термічній обробці тригонеллін перетворюється в піридин.
18	Кумарин	$C_9H_6O_2$	146	У вигляді глікозидів міститься в багатьох рослинах, серед них – представники сімейства Айстрові (гербера, ромашка, деревій), буркун, зубрівка, кориця .	Безбарвні кристали з запахом свіжоскошеної трави; тпл 70 ° С, t кип 291 ° С. Кумарин розчинний в спирті і ефірі, в воді - погано, Кумарин застосовується як ароматизатор

19	Протокатехетова к-та	$C_7H_6O_4$	154	У природі вільна протокатехетову кислота була виявлена в маслі асаї в складі кори босвелії в печерних в шкірці цибулі (Allium sera), в лісовій підстилці.	Протокатехетову кислота - один з найпростіших представників так званих <u>поліфенолів</u> і має <u>антиоксидантні властивості</u> . Протокатехетову кислота отримана нагріванням пірокатехіна
20	Кумарова к-та	$C_9H_8O_3$	164	Кумарову кислоту зустрічається в ряді їстівних рослин, арахіс, помідори, морква, базилік і часник. Разом з пилком рослини потрапляє в мед. [3]	<u>Кристалична тверда речовина, слабо розчинна у воді, добре розчиняється в етанолі і діетиловому ефірі. Глікозиди р-кумаринової кислоти знаходяться в хлібі, .</u>
21	Теобромін	$C_7H_8N_4O_2$	180	Теобромін <u>алкалоїд, метаболіт в орг. людини від кофеїну</u> , міститься, У продуктах харчування, я у мате, чаї, кофі, гуарані та каві, какао.	Теобромін <u>Безбарвні кристали гіркого смаку, нерозчинні у воді.</u> Чим більша кількість какао-продуктів було використано при приготуванні шоколаду, тим більше в шоколаді буде теоброміну.
22	Теофілін	$C_7H_8N_4O_2$	180	Теофілін — <u>алкалоїд</u> , міститься в <u>листі</u> чайного куща.	Безбарвні кристали гіркого смаку, нерозчинні у воді.

23	Фруктоза	$C_6H_{12}O_6$	181	Фруктоза (<u>плодовий цукор</u>), $C_6H_{12}O_6$ — <u>моносахарид</u> , що міститься в солодких плодах, меді ^[3] ;	<u>Безбарвні кристали солодкого смаку</u> (солодке сахарози в 1,5 рази і глюкози в 3 рази), t пл 102–104°С; розчинна у воді.
24	Кофеїн	$C_8H_{10}N_4O_2$	194	Кофеїн — <u>міститься в бобах кавового дерева, у листі чаю, мате, ягодах гуарані, а також у какао</u>	<u>Кофеїн — безбарвна з гірким смаком кристалична речовина, гетероциклічний алкалоїд пуринового ряду</u>
26	Пальмітинов а к-та	$C_{15}H_{31}COOH$	256	Пальмітинова к-та входить до складу усіх гліцеридів органічних жирів та рослинних олій, деяких восків. І в кавовій олії- 25—35%.. який утворюється з еуглової..	<u>Неприємний гірко запхлий запах пальмітинової кислоти зазвичай відчувається в концентрації вище 10 частин на мільйон.</u>
26	Олеїнова к-т	$C_{17}H_{33}COOH$	282	Міститься в рослинних жирах і рослинних оліях ^[2] .	<u>Безбарвна рідина, без запаху.</u>
27	Стеаринова к-та	$C_{17}H_{35}COOH$	284	Вміст стеаринової кислоти в рослинних оліях — до 10 % (пальмова олія); кавова і какао-олія та олія ши, в яких вміст стеаринової кислоти сягає 28-45 %	<u>Є білою кристаличною речовиною, нерозчинною у воді і розчинною в діетиловому ефірі. Стеаринова кислота була відкрита в свинячому салі</u>
28	Епікатехін	$C_{15}H_{13}O_6$	289	Міститься в білому чаю, в зеленому. У відчутніших кількостях вони виявлені в багатьох плодах і ягодах (кава, чорному шоколаді. Танін - полімери катехинів,	Специфічний запах Флавоноїди, поліфеноли, таніну.. Кава і Чай містять. Епігаллокатехін (EGC) — його антиоксидантні властивості у 25-100 разів вищі, ніж у вітамінів С і Е. Одна чашка зеленого чаю або кави містить 10-40 міліграмів поліфенолів..
29	Арахідова к Арахідонова	$C_{19}H_{39}COH$ $C_{19}H_{31}COH$	307- 312	В основному міститься в таких продуктах: <u>арахісова олія (1,1 %–1,7 %)</u> кукурудзяна (3 %), та какао-олія	<u>Арахідонова кислота — це поліненасичена жирна кислота, наявна з запахом арахісу.</u>
30	Ізосахаран	$C_{12}H_{20}O_{10}$	324	Кава, мед, цукор, карамелізовані продукти,	При 160-165 °С в каві формуються димери, глюкозану та левулезану
31	Ерукова к-та	$C_{22}H_{42}O_2$	338	Мононенасичена Омега-9[ев] жирна кислота, міститься у насінні ріпаку олія містить до 54 %,	<u>Білий твердий воскоподібний вигляд високий вміст ерукової кислоти у ріпаковій олії 42 % у гірчичній олії.</u>
32	Сахароза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342	Кава, мед, кава природні продукти	<u>Кристалична речовина, без запаху, солодкий смак</u>
33	Хлорогенова к-та	$C_{16}H_{18}O_9$	354	Широко поширена в природі, в <u>значних кількостях міститься в зернах кави</u> , а також насінні соняшнику, листі чорниці,	<u>Являє собою безбарвні кристали з температурою плавлення 206-210 °С. Легко розчинна у воді і етанолі. . Лузний розчин зеленіє на повітрі, звідси назва кислоти.</u>
34	Карамелан	$C_{24}H_{36}O_{18}$ N=4-32	325- 624	Термооброблені моно та дисахариди: карамелан: tпл. = 145 °С, легко розчиняється у H2O та 80%	<u>Карамелан коричневі порошки, гіркі на смак, карамелін – порошок жовтого кольору</u>
35	Карамелен	$C_{36}H_{50}O_{25}$	882	Термооброблені дисахариди: карамелен: tпл. = 205 °С, розчиняється у H2O;	<u>Карамелен – коричневі порошки, гіркі на смак, карамелін – порошок темно жовтого кольору</u>
36	Карамелін (карамель)	$C_{125}H_{188}O_{80}$	2968	Термооброблені полісахариди: карамелін: не плавиться, , розчиняється у H2O при кип'ятінні	<u>Кристаличні або в'язкі при нагріванні полімер подібні, гіркі на смак, темно коричневого кольору</u>

Метод мас-спектроскопії було використано для визначення молекулярних мас компонентів, присутніх у витяжках та дистилятах кави, термооброблених

зерен кави за технологією НВЧ(у мікрохвильовому реакторі). Завдяки цьому аналізу вдалося розпізнати 36 сполук (див. табл. 3.6), які мають важливе значення у формуванні смакових та ароматичних властивостей. Результати даного дослідження подані у вигляді карти ароматів і смаків.

3.5.3.Органолептичний опис кави та сенсорний розбір її дистилятів

Нами було проведено дослідження складу кави, у результаті якого ідентифіковано 36 різноманітних складників у витяжках, а також у відгонах кави за допомогою мас-спектроскопії в водно-винних розчинах. Використовуючи порівняльну діаграму смакових і ароматичних характеристик кавового напою, визначено ключові складники, які формують ароматично-смаковий комплект чорної кави. У цілому, смак і, зокрема, аромат кофе забезпечуються 14 провідними речовинами (табл. 3.6), серед яких: *3-метилмеркаптан (характерний яскраво виражений запах), етаноатна кислота, фурол (приємний аромат житнього хліба), 2,5-диметилфуран (нотки солодкого аромату), бета-метилмасляна кислота (типовий запах валеріани), фуранінметантіол (характерний запах термооброблених бобів), 2,3-бензофуран (різкий сильний аромат), триголенін (перетворюється в піридин під час термічної обробки), 2H-хромен-2он (типовий трав'яний запах), метилтеобромін (надає напою гіркоту), гексадеканова і октадеценева кислоти (характерний запах олії), а також цис-13-докозенова кислота (типовий терпкий присмак).*

Відповідно до результатів аналізу молекулярно-масового розподілу компонентів із водного екстракту кави сорту Арабіка, завареного при 90°C за допомогою НВЧ-обробки, а також даних мас-спектроскопії, представлених на рисунку 5, було встановлено, що складники розчину формують смаковий та ароматичний комплект напою. Діаграма на рисунку 3.15 демонструє порівняння смакових і ароматичних властивостей кави, які були розпізнані на основі молекулярного складу екстракту в водному середовищі. У цьому екстракті

розпізнано шість ключових низькомолекулярних сполук із характерними максимальними значеннями молекулярної маси, а саме:

1. 3-метилмеркаптан (характерний яскраво виражений запах),
2. етаноатна кислота (нотки кислинки),
3. фурол (приємний аромат житнього хліба),
4. 2,5-диметилфуран (нотки солодкого аромату),
5. бета-метилмасляна кислота (типовий запах валеріани),
6. 2,3-бензофуран (різкий сильний аромат).

Відповідно до даних, наведених на рисунках, запах і смак нашого улюбленого напою, отриманого шляхом водяного відгону, формуються за участі п'яти інших, більш високомолекулярних складників. З них тільки два компоненти збігаються з тими, які виявлені в екстракті кави, розчиненому у воді: фурол (приємний аромат житнього хліба) та 2,5-диметилфуран (нотки солодкого аромату). До інших сполук належать бета-метилмасляна кислота (типовий запах валеріани), фуранінметантіол (характерний запах термооброблених бобів) і триголенін, який перетворюється в піридин під час термічної обробки із молекулярною масою 137.

У випадку з пахощами кави, які виділяються під час відгону в етиловому спирті, утворюють аромат та смак кави, які містять 5 вищемолекулярних речовин. З них тільки 3 співпадають з тими, що були в водному відгоні напою: 3-метилмеркаптан(різкий запах), піридин(огидний запах), фурфураль(запах житнього хліба), 2,5-диметилфуран(солодкий запах), фуранінметантіол(запах обжареної кави), триголенін(після обжарки зерен трансформується у піридин). Це може бути основним мотивом, чому кавовий напій містить відмінні пахощі в воді і розчинах спирту. У всіх зразках завжди дублюються смаки і пахощі двох речовин: 2,5-диметилфуран(солодкий запах) і фуранінметантіол(запах обжарених зерен). Тобто, саме дані сполуки дозволено признавати головними, які утворюють смак і пахощі кави в усяких середовищах.

Також нами було проведено серію дослідів, щоб оцінити вплив аромату та смаку кофе на метаболізм винного спирту в людському організмі. У ході

дослідження було з'ясовано, що абсолютний спирт, який надходить в організм, перетворюється на оцтовий альдегід за участі ферменту алкогольдегідрогенази (АДГ). Після цього оцтовий альдегід піддається подальшому перетворенню через рівноважну реакцію:



Аналіз повітря, видихуваного після вживання алкоголю, із застосуванням алкометра "Алкофор-105" показав, що збільшення дози алкогольних напоїв впливає на швидкість їх метаболізму, а також тривалість їх виведення. Виявлено, що використання водно-винної витяжки натуральної кави сприяє прискоренню метаболізму та швидкому перетворенні винного спирту й етанолу в організмі у 1,5-2,5 рази швидше, порівняно зі звичайними спиртовими чи водними розчинами. Відтак, видихуване повітря після споживання кофе зменшує вміст винного спирту та етанолу до допустимого рівня для шоферів в Україні — 0,2 проміле.



Рис.3.16 Алкофор-105 — пристрій для вимірювання вмісту парів винного спирту в пробах видихуваного повітря

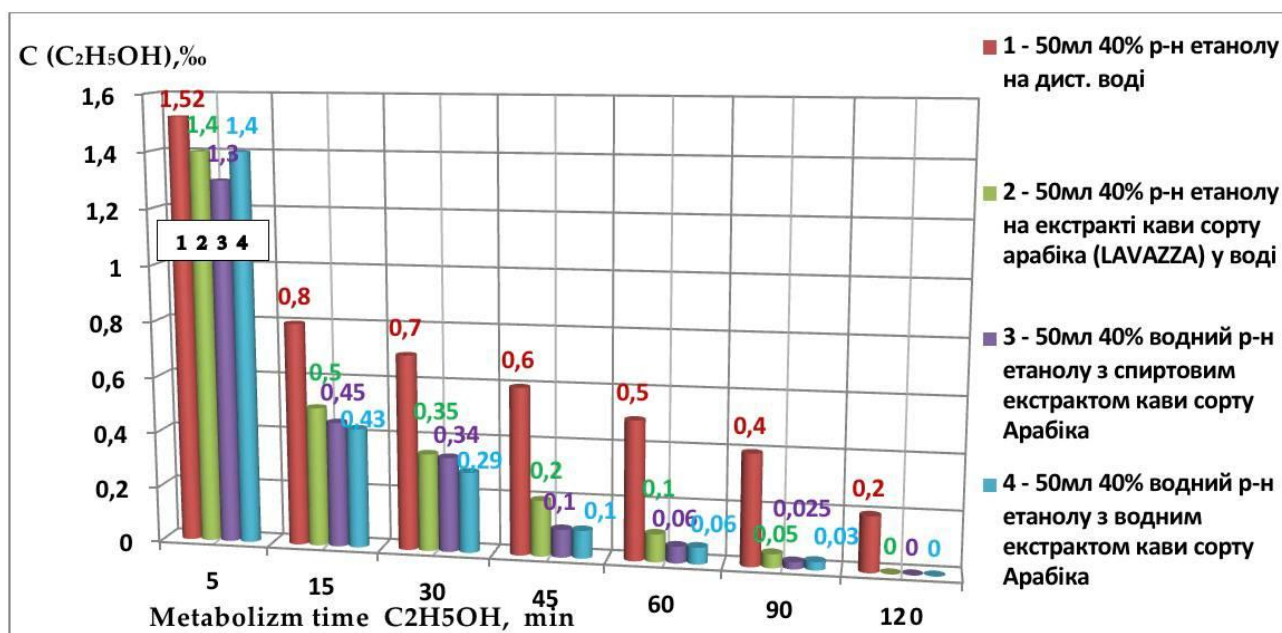


Рис.3.17. Гістограми, що відображають вміст винного спирту і етанолу у видихуваному повітрі реципієнта, побудовані за допомогою алкометра Алкофор-105, демонструють динаміку їх зміни з часом та вплив кавових ароматів, доданих до алкогольних напоїв.

Висновки

1. Мікрохвильове нагрівання за допомогою НВЧ-хвиль обумовлене різними характеристиками сполук, такими як їхня діелектрична проникність, вміст води, діелектрична стала, а також тангенс діелектричних і магнітних втрат.
2. Щодо вимірювання температури, важливо критично оцінити точність ІЧ-датчика температури у порівнянні з оптоволоконним методом. Рекомендується також розглянути можливість одночасного використання дистанційного ІЧ-термометра для вимірювання температури поверхні речовин. Це може сприяти додатковому аналізу та підвищити достовірність оцінки роботи ІЧ-датчика у вимірюванні температури об'ємних рідин або хімічних реакцій.
3. Конструкція мікрохвильового реактора, описаного в роботі, є ключовим фактором у його ефективному застосуванні для термообробки кавових зерен під час обсмажування. Важливо враховувати такі характеристики, як тип та потужність мікрохвильового реактора, режим її роботи. Значущими параметрами є також розміри й конструкція СВЧ-камери та лабораторної установки, особливості їх розташування, матеріали, що використовуються, частота НВЧ-хвиль, а також однорідність і глибина їх проникнення, які нерідко взаємопов'язані.
4. Метод дистиляції ароматних сполук з кави за допомогою водяної пари є ефективним і ґрунтується на використанні пари як розчинника для вилучення летючих речовин з кавових зерен. Вплив пари сприяє відділенню ароматичних компонентів від інших складових кави, що дозволяє зберегти їх у чистому та концентрованому вигляді.
5. У дослідженні було вивчено принцип роботи спеціального мікрохвильового лабораторного реактора WBFY-201 у поєднанні з скляною установкою для термообробки кави та інших твердофазних процесів, що застосовується для термовакуумної обробки кавових зерен і оснащена автоматичним контролером.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://blog.marionsolutions.com/blog/breaking-new-grounds-the-benefits-of-microwave-vs.-drum-roasting-coffee-beans>.
2. Tremblay, J.-F. Microwaving by the ton. Chem. Eng. News 2016, 94 (36), 24–25. DOI.
3. Academia accelerating the world's research. Advantages and Limitations of Microwave Reactors: From Chemical Synthesis to the Catalytic Valorization of Biobased Chemicals. 2023. № 3-4. С. 32-41.
4. D.M. Vinnyk, D.Yu. Suhak, N.Ya. Henega, V.G. Haiduchok, A.S. Andrushchak, M.M. Vakiv Alignment of an acousto-optic microwave Bragg cell in a wide band of operating frequencies - Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic" Series "Electronics" - 2011. - No. 708. - С. 195-200.
5. Tsukahara, Y.; Watanabe, H. Microwave Chemical Process and Chemical Plant. J. Jpn. Pet. Inst. 2018, 61 (2), 156–162.
6. Ахметов, Р. С., Токаренко, І. В. "Дослідження впливу термічної обробки на хімічний склад кави". Хімія і технології продуктів харчування, 2019, №7, с. 77-83.
7. International Coffee Organization. "Coffee Market Report: Global Trends and Statistics". London: ICO Publications, 2021.
8. Канцедаль, Ю. А. "Особливості водно-спиртової екстракції кавових компонентів". Харчова промисловість України, 2019, №5, с. 54-60.
9. International Organization for Standardization (ISO). ISO 3103: Standard for Preparation of Coffee Beverages. Geneva: ISO, 2019.
10. Єфіменко, В. С. "Аналіз молекулярних властивостей кавових напоїв за допомогою мас-спектроскопії". Матеріали міжнародної конференції з харчових технологій, Київ, 2020, с. 88-93.
11. Hansen, C. A., Zhang, Y. "Spectroscopic Analysis of Coffee Extracts Using FTIR and MALDI-TOF". Analytical Chemistry, 2020, Vol. 92(14), pp. 10289-10296.

12. Гончаренко, Т. П., Ковальчук, В. М. "Методи аналізу ароматичних сполук у каві". Технології продуктів харчування, 2019, №3, с. 23-28.
13. Козлова, І. М. "Реакції меланоїдиноутворення при обжарюванні кавових зерен". Журнал харчової хімії, 2018, Т. 15, №2, с. 117-124.
14. Illy, E., Viani, R. "Espresso Coffee: The Science of Quality". 2nd ed. London: Elsevier, 2020.
15. Barbin, D. F., Felicio, A. L. "Application of Infrared Spectroscopy in Coffee Analysis". *Food Analytical Methods*, 2021, Vol. 14(5), pp. 1298-1310.