

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Факультет Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки  
Кафедра Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту  
Ступінь вищої освіти Магістр  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
Освітня програма Системний інжиніринг промислових виробництв



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему Розробка екстрактору для вилучення олії із шлему кави  
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Леонов А.А.  
(прізвище, ініціали)  
2 курсу      СІ-20Мн      групи  
Керівник доц. Терзієв С.Г  
(посада, прізвище та ініціали)  
Консультанти: доц. Всеволодов О.М  
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту  
Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р., протокол № \_\_\_\_.  
Завідувач(ка) кафедри ПОтаЕМ \_\_\_\_\_ Олег Бурдо  
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра	Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	133 «Галузеве машинобудування»
Освітня програма	Системний інжиніринг промислових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заві. кафедри \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024  
року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Леонова Андрія Андрійовича

1. Тема проекту (роботи) «Розробка екстрактору для вилучення олії із шламу кави .»

Затверджені наказом ОНТУ від "25.10.2022" № 749-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 29.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): продуктивність. 50 тонн/добу.

4. Переліки питань, які потрібно розробити:

Анотація; вступ; опис технологічної лінії, опис процесу екстрагування  
огляд існуючого обладнання; схема конструкції машини;

технологічний розрахунок; кінематичний розрахунок; охорона праці та  
правила експлуатації машини; список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

-

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
БЖД	Всеволодов О.М, доц. каф. ПОтаЕМ	03.04.2024	

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_ ПІБ

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ ПІБ

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Вступ	18.02.2024.	
	Актуальність теми екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.	25.02.2024	
	Технологічні та енергетичні проблеми екстрагування в мікрохвильовому полі.	14.03.2024	
	Огляд сучасних технічних рішень вирішення проблем енергетичної та технологічної ефективності.	14.04.2024	
	Сучасні принципи підвищення ефективності екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави .	25.04.2024	
	Експериментальні дослідження процесу екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.	1.05.2024	
	Інструкція з охорони праці при роботі з мікрохвильовим шнековим екстрактором	24.05.2024	
	Оформлення РПЗ та отримання рецензії	до 30.05.2024	

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ ПІБ

Керівник роботи \_\_\_\_\_ ПІБ

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ. Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ ПІБ Підпис

## ЗМІСТ:

Анотація	6
1. ВСТУП	7
Розділ 1. Актуальність теми екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.	8
Розділ 2. Технологічні та енергетичні проблеми екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.	11
Розділ 3. Огляд сучасних технічних рішень вирішення проблем енергетичної та технологічної ефективності екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.	14
Розділ 4. Сучасні принципи підвищення ефективності екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави .	25
4.1. Екологічний моніторинг виробництва розчинної кави .	
4.2. Шляхи утилізації кавового шламу.	26
Розділ 5. Експериментальні дослідження процесу екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.	28
5.1. Моделювання інноваційного обладнання.	29
5.2. Універсальні математичні описи процесів.	31
5.3. Моделювання процесу методом "аналізу розмірностей" .	32
5.4. Методи експериментального моделювання.	36
5.4.1. Визначення коефіцієнту дифузії .	36
5.4.2. Граничні концентрації кавової олії у шламi та в екстрагентах.	37
5.4.3. Завдання та загальна характеристика експериментів .	38
5.4.4. Вплив температури екстрагента .	38
5.4.5. Вплив співвідношення твердої фази та екстрагента .	40
5.4.6. Вплив потужності магнетрону МХ-екстрактора.	42
Розділ 6. Інструкція з охорони праці при роботі з мікрохвильовим екстрактором .	43
6.1 Загальні вимоги безпеки .	43
6.2 Вимоги безпеки перед початком работ.	44

6.3 Вимоги безпеки під час роботи .	45
6.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях .	47
6.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи .	48
Висновки.	49
Перелік літератури та інтернет джерел .	52

## Анотація

Кваліфікаційна робота на тему: «Розробка екстрактору для вилучення олії із шламу кави» містить 53 сторінок тексту, малюнків – 16, таблиць – 3, формул – 14, використаних джерел – 24.

Ключові слова: олія кави, кавовий шлам, біологічно активні речовини, виробництво, екстракція, екстрактори.

Об'єкт дослідження – кавовий шлам, олія кави та теоретичні аспекти її виготовлення.

Предмет дослідження – вплив МХ для екстрагування олії кави з кавового шламу.

Ціль роботи – розробка екстрактора для вилучення олії із шламу кави.

Дослідження проводилося методом аналізу світового досвіду, літератури, результатів досліджень та нормативних джерел.

Практична цінність кваліфікаційної роботи полягає в тому, що розроблений екстрактор готовий до використання у переробці кавового шламу.

## Вступ

Споживчий попит на харчові концентрати постійно зростає. Серед продукції харчоконцентратних технологій значний обсяг займає розчинна кава. Ринок кави є одним із найбільш стабільних. Найбільш популярним у структурі продажів кавової продукції є розчинна кава, яка становить близько 40 % загального обсягу продажів, мелена кава – 30 %, кавові мікси – 25 %. Технологія виробництва розчинної кави характеризується високими витратами дорогої сировини та великими обсягами відходів.

Найбільш динамічно інтерес до розчинної кави зростає в Україні. Випуск цього продукту постійно збільшується, проте загострюються і проблеми, які притаманні його виробництву. По-перше, випуск порошку розчинної кави вимагає дорогої імпоротної сировини, території культивування якої далекі від України. Доставка такої сировини потребує витрат, що відчутно впливає на економічну складову, на собівартість продукції. По-друге, нині в Україні в технології використовується лише третина від купленої сировини, решта – це відходи (кавовий шлам). По-третє, кавовий шлам є активним забруднювачем літосфери. Якщо врахувати, що йдеться про тоннажні виробництва, то проблема захоронення кавового шламу теж відбивається на економіці виробництва. З посиленням регламентацій з екологічної безпеки виробництва гострота питань утилізації шламу лише підвищуватиметься. По-четверте, технологія розчинної кави вимагає концентрування екстракту більш ніж 2 рази, тобто. видалення з нього більше половини води. Відомо, що зневоднення є надзвичайно енерговитратними, це також підвищує собівартість продукції. Високотемпературні процеси екстрагування та сушіння екстракту призводять до серйозних втрат смакових компонентів вихідної сировини. Таким чином, енергія, екологія та якість продукту є ключовими при пошуку шляхів удосконалення технології розчинної кави.

## **РОЗДІЛ 1. Актуальність теми екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.**

Україна почала виробляти харчові концентрати з 1936 року, проте промислове виробництво цих продуктів розпочалося набагато раніше, на початку першої світової війни. У цей період підприємства, спрямовані на задоволення потреб армії й флоту, почали з'являтися на території нашої країни. Харчові концентрати відрізнялися швидким приготуванням, тривалим терміном зберігання й високою якістю, що ставило особливі вимоги до їх виробництва.

Зараз харчові концентрати набувають все більшої популярності серед широкого кола споживачів, оскільки вони пропонують зручність і широкий асортимент. Наприклад, розчинна кава стала одним з найбільш затребуваних продуктів у світі, що призвело до значного зростання кількості працівників у кавовій індустрії (близько 25 млн. чоловік).

Однак українським підприємствам складно конкурувати з провідними виробниками кави через високі ціни на імпортовану сировину та енергоносії, які досягли світових рівнів. Традиційні технології виробництва, такі як екстрагування і сушіння, вимагають значних енергетичних витрат, тому запропоновані інноваційні технології сушіння й екстрагування, а також глибокої переробки сировини та перехід до принципів екоіндустрії, стають важливими.

Завдяки комплексу аналітичних, експериментальних і виробничих досліджень було підтверджено гіпотезу, що принципи адресної доставки енергії є ефективним інструментом для удосконалення переробки харчової сировини. Використання таких систем сприяє інтенсифікації процесів переносу, забезпечуючи значне збільшення продуктивності та ефективності виробництва. Це дає змогу досягти кращої якості харчових концентратів, знизити витрати енергії та вплив на навколишнє середовище.

Окрім цього, постійно відбувається розширення асортименту харчових концентратів та ринків, що відкриває нові можливості для розвитку галузі.

Інноваційні технології дозволяють створювати продукти з новими властивостями та задовольняти зростаючі вимоги споживачів. Наприклад, розробка харчових концентратів з підвищеним вмістом білка або спеціалізованих продуктів для дітей або людей з особливими харчовими потребами.

Україна також спостерігає стрімкий ріст продажу розчинної кави в останні роки. Це свідчить про збільшення попиту на такий продукт серед населення. Незважаючи на складнощі конкуренції з провідними виробниками, українські підприємства активно працюють над покращенням якості та розширенням асортименту своїх розчинних кавових продуктів.

У процесі виробництва розчинної кави шлам становить 60 - 65% вихідної сировини. На 1 т готової продукції припадає 1,5 – 2,0 т шламу . Відповідно шламу в Україні щорічно утворюється близько 1,5 – 2,0 тис. т. Неутилізовані відходи здійснюють несприятливий вплив на навколишнє середовище та створюють екологічно небезпечну ситуацію .

За кордоном кавовий шлам пропонується використовувати для отримання біометану або до екстрагувати на лінії виробництва розчинної кави, повертаючи в одну з секцій екстракційної установки . Найбільш цінними компонентами шламу, придатними для подальшої переробки є: кавова олія (7 – 12 %), целюлоза та лігнін (60 – 75 %), суміш смакоароматичних речовин (3 – 5 %), білків (5 – 7 %) . Крім того, у шламі зберігається 0,12 – 0,15 % кофеїну, 2,4 % органічних кислот, а рН шламу в середньому становить 4,3 – 4,8 . Кавова олія завдяки вмісту дитерпенов кафеолу та кафестолу становить інтерес для фармацевтичної промисловості як протизапальний та онкопротекторний засіб. Таким чином, при утилізації кавового шламу можливе отримання з нього додаткових водорозчинних речовин кави та кавової олії.

Залишок повноякісних екстрактивних речовин (до 4 %) у кавовому шламі міститься в мікро- та нанокапілярах зерен, тому їх не вдається видалити існуючими промисловими технологіями.

## **РОЗДІЛ 2 . Технологічні та енергетичні проблеми екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.**

Кавовий шлам внаслідок високої вологості в первісному вигляді нестійкий при зберіганні і протягом 2 ... 3 діб піддається мікробіологічній псуванню [15]. Присутність води також ускладнює екстрагування олії зі шламу. Вода потрапляє в екстрагент, а це вимагає складних операцій наступної регенерації розчинника. Таким чином, утилізація кавового шламу з отриманням олії повинна передбачати два основні процеси: сушіння шламу та екстрагування олії з висушеного шламу.

Сушіння є одним із ключових процесів у харчоконцентратному виробництві, оскільки вміст вологи в готовому продукті суворо регламентується. Так, вміст вологи в харчових концентратах не повинен перевищувати 10 ... 12%.

У процесі зневоднення відбуваються структурні зміни в продукті. Відбувається коагуляція білка, що підвищує його засвоюваність людським організмом.

Зневоднення здійснюється різними способами: механічним, фізико-хімічним, тепловим (сушіння).

Механічно видаляється лише частина вологи, що міститься у матеріалі. Після механічного видалення вологи зазвичай використовується сушка. Існують три способи теплоперенесення при сушінні: кондуктивний, конвективний та радіаційний. Найбільш поширені конвективні способи сушіння. Вони передбачають використання теплоносія, який попередньо нагрівається і передає теплоту продукту. При радіаційному теплопереносом промениста енергія перетворюється на теплову безпосередньо в продукті .

Серед основних проблем традиційних сушильних технологій виділяють низьку енергетичну ефективність (у конвективній сушарці з відпрацьованим теплоносієм втрачається близько 25% енергії) і навантаження на навколишнє

середовище через велику кількість викидів сушильних агентів [1]. Загально визнана актуальність проблеми інтенсифікації процесу сушіння, скорочення забруднення навколишнього середовища та підвищення енергетичної ефективності технологій зневоднення.

В останні роки зростає інтерес до технологій зневоднення в електромагнітному полі. Одним із способів такої технології є сушіння в мікрохвильовому полі. Тривалість процесу сушіння з підведенням мікрохвильової енергії на 40 ... 90% менше тривалості сушіння традиційними способами. Встановлено, що обробка продуктів у МХ-полі суттєво знижує їх мікробіологічне забруднення. У той же час виділяють ряд обмежень мікрохвильового сушіння: нерівномірність електромагнітного поля всередині мікрохвильової камери, що призводить до нерівномірності нагріву продукту, обмежена глибина проникнення мікрохвильового поля в продукт, дуже висока швидкість масопереносу, яка може викликати небажані зміни в структурі продукту, такі, як спучування поверхні.

## 2.1 Використання мікрохвильових технологій у харчовій промисловості.

Мікрохвильовим випромінюванням називають діапазон частот 300 ГГц ... 300 МГц в електромагнітному спектрі, розташований між інфрачервоними та радіочастотами. У більшості нагрівальних мікрохвильових установках використовується частота 2450 МГц, де працюють побутові мікрохвильові печі. Термін «мікрохвилі» був запозичений із зарубіжної літератури і став використовуватися в останні роки набагато частіше, ніж раніше вживаний термін «надвисока частота» або «НВЧ», що відноситься до того ж діапазону частот.

Для традиційних (термічних) способів нагріву характерна передача теплоти обсяг речовини з його поверхні за допомогою теплопровідності і конвекції. Якщо теплопровідність об'єкта низька, що має місце у діелектриків, то нагрівання відбувається дуже повільно, з локальним перегрівом поверхні.

У разі впливу мікрохвиль на діелектрик нагрівання відбувається «зсередини» одночасно по всьому об'єму зразка за рахунок створення ефекту діелектричних втрат.

За останні 10-20 років мікрохвильові технології, засновані на використанні енергії змінного електромагнітного поля надвисокочастотного діапазону, почали широко використовуватися в різних галузях промисловості.

В Україні для промислового використання дозволено такі діапазони частот: 1 -  $915 \pm 13$  МГц; 2 –  $2450 \pm 50$  МГц; 3 –  $5800 \pm 75$  МГц; 4 –  $24125 \pm 125$  МГц. З чотирьох діапазонів мікрохвильової області у харчовій промисловості використовуються два перші. З цих двох другий використовується в домашніх мікрохвильових печах і використовуються для промислового нагріву.

Слід зазначити, що деякі країни дозволено використання додаткових частот 433,92МГц, 896МГц і 2375МГц .

В даний час інтенсифікація під впливом мікрохвильового випромінювання застосовується в таких промислових процесах як: сушіння харчових продуктів, сушіння та склеювання деревини, виробництво фарфорових та фаянсових виробів, будівництво, розробка нафтових родовищ тощо.

Нагрів мікрохвильовим випромінюванням відрізняється високою швидкістю та великою ефективністю. Застосування енергії мікрохвиль замість використовуваних нині у більшості промислових установок теплоносіїв дозволяє значно спростити технологічну схему, виключити всі процеси та апарати, пов'язані з підготовкою теплоносія, усунути шкідливі викиди в атмосферу.

Проведення досліджень, пов'язаних з визначенням аспектів впливу мікрохвильового випромінювання на перебіг різних процесів, є важливим та актуальним напрямом інтенсифікації цих процесів як на лабораторному рівні,

так і в промисловому масштабі. Мікрохвильове поле - це потенційне джерело теплоти, тому практично всі теплові технологічні процеси можуть бути реалізовані за допомогою мікрохвильової енергії.

З аналізу літератури [7, 10, 15, 16] можна зробити висновок про те, що при використанні мікрохвильового підведення енергії для екстрагування рослинної сировини необхідно менше часу, яке витрачається на процес, при цьому підвищується вихід і якість продукту з меншими витратами енергії.

Розроблені установки використовуються у рамках дослідницьких лабораторних робіт різних галузей промисловості та досвіду застосування у виробничих умовах не відомі.

Тому одним із завдань подальших досліджень є створення нового зразка екстрактора з МХ підведенням енергії та апробація його в умовах виробництва. Об'єктом екстрагування є кавовий шлам.

### **РОЗДІЛ 3. Огляд сучасних технічних рішень вирішення проблем енергетичної та технологічної ефективності екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.**

#### **3.1 Пропоновані принципові схеми екстрагування на основі мікрохвильових технологій.**

Шлам кави – це відхід виробництва розчинної кави. Він являє собою порошкоподібну масу вологістю 79-82%, темно-коричневого кольору, з вираженим ароматом кави. Утворюється після екстрагування водорозчинних речовин з подрібнених зерен кави.

На 1 т готової розчинної кави припадає 1,5...2 т шламу [1]. Відповідно, шламу в Україні утворюється Близько 1,5 – 2 тис. т на рік. Неутилізований шлам спричиняє негативний вплив на навколишнє середовище [2].

Після екстрагування шлам кави містить до 4% екстрактивних речовин [3]. Найбільш цінними компонентами шламу кави, доцільними для подальшої переробки, є: кавова олія (7 – 17%), целюлоза та лігнін (60 – 75%), суміш смако-ароматичних речовин (кофеоль) – (3 – 5%), білок (5 – 7%) [4, 5]. Також у кавовому шламі містяться макро- та мікроелементи і вітаміни В2 і РР [3].

Жирнокислотний склад олії кави наступний: пальмітинова кислота 33,7 - 34,5 %; стеаринова кислота 8,9 - 9,1 %; лінолева кислота 40,3 - 41,0 %; ліноленова кислота 1,0 - 1,1 %; олеїнова кислота 10,2 - 10,4 % [6]. Як бачимо, олія кави є джерелом поліненасичених жирних кислот.

Олія зелених зерен кави використовується у косметичній промисловості завдяки пом'якшуючій дії, зумовленій жирними кислотами та здатності блокувати шкідливу дію сонячного проміння на шкіру людини. Її вміст у зернах складає близько 10 – 15% і ринкові ціни на даний продукт постійно ростуть.

Олія обсмажених кавових зерен також широко використовується як джерело аромату у харчових продуктах та парфумерії. А завдяки зниженому рівню дитерпенових сполук ця олія є значно більш стабільною при зберіганні.

З фізіологічної точки зору найбільш цікавими біологічно активними речовинами кави є кофеїн, дитерпени кафестол і кафеол, поліфеноли, хлорогенова кислота.

Кавова олія містить пентациклічні дитерпени (кафестол і кафеол), які не було знайдено в жодних інших харчових продуктах. Їх кількість коливається від 1,3 – 1,9% у зернах арабіки та 0,2 – 1,5% у робусті.

Для фармацевтичної промисловості кавова олія представляє інтерес завдяки антиканцерогенній та протизапальній дії, притаманній кафестолу і кафеолу.

Одним з найсучасніших методів інтенсифікації процесу екстрагування з рослинної сировини є застосування мікрохвильового поля.

Мікрохвилі – неіонізуючі хвилі частотою від 300 МГц до 300 ГГц і у електромагнітному спектрі розташовуються між рентгенівським та інфрачервоним промінням [7]. Принцип нагріву мікрохвилями базується на їх безпосередній взаємодії з полярними матеріалами та розчинниками і керується двома явищами: іонною провідністю та обертанням диполів, які у більшості випадків відбуваються одночасно. Нагрівання спостерігається лише при частоті 2450 МГц. Коли молекули розчинника прагнуть вишикуватися у лінію за полем, проте електричний компонент поля змінюється з такою швидкістю, що молекули починають вібрувати і внаслідок тертя виникає тепло.

У капілярах рослинної сировини, в тому числі і шламу кави, вода, або полярний розчинник під дією мікрохвиль швидко нагрівається і утворюються локальні зони утворення парових бульбашок. Тиск у капілярі зростає, в певний момент під дією надлишкового тиску відбувається руйнування стінок і цільовий компонент легко потрапляє до потоку екстрагенту, а також додатково турбулізує прикордонний шар. Цей процес називають бародифузією. Слід відмітити, що при використанні мікрохвиль енергія поглинається водою та розчинником (полярним) і не витрачається на нагрівання радіопрозорих структур сировини [2].

### 3.2 Класифікація апаратів для екстрагування.

За режимом роботи розрізняють екстрактори періодичної, напівбезперервної та безперервної дії. У напрямку руху продуктів екстрактори ділять на протиточні та прямоточні. По виду циркуляції екстрактори можуть бути з одноразовим проходженням екстрагента, з рециркуляцією екстрагента та зрошувальні. За тиском їх класифікують на атмосферні, вакуумні та працюючі під тиском. За властивостями твердих частинок розрізняють екстрактори для крупнозернистих, дрібнозернистих, тонкодисперсних, пастоподібних, волокнистих та інших матеріалів.

За конструкцією екстрактори ділять на: колонні, ротаційні, шнекові, зрошувальні, екстрактори з киплячим шаром, камерні та батарейні. За видом транспортного органу – на шнекові, лопатеві, ланцюгові, ковшові, ротаційні, стрічкові. За розташуванням корпусу - на горизонтальні, вертикальні та похилі.

По гідродинамічному характеру процесу апарати бувають з нерухомим шаром твердих частинок, з шаром, що рухається, з киплячим шаром.

Екстрактори періодичної та напівперіодичної дії застосовують у тих виробництвах, де виробляють невеликі партії продуктів різноманітного асортименту. До них відносять камерні апарати (реактори) з механічним, пневматичним та пневмомеханічним перемішуванням; настійні чани з нерухомим шаром твердої фази, з циркуляцією (перколятори) та без циркуляції екстрагента .

Мікрохвильові установки можуть бути системою з обмеженим і необмеженим обсягом. Тип розподілу енергії може бути мультимодовим та мономодовим (рис. 3.1).

При відображенні від стінок мультимодової камери в трьох напрямках генеруються стаціонарні стоячі хвилі, які називаються модами. У камері побутової печі зазвичай створюється від 3 до 6 таких мод, що забезпечують рівномірний обігрів, достатній для харчових продуктів. Інтенсивність поля в

ній неоднакова, існують «гарячі та холодні» зони. Ступінь нагрівання зразка в різних

точках камери може суттєво різнитися, особливо якщо зразок невеликих розмірів.

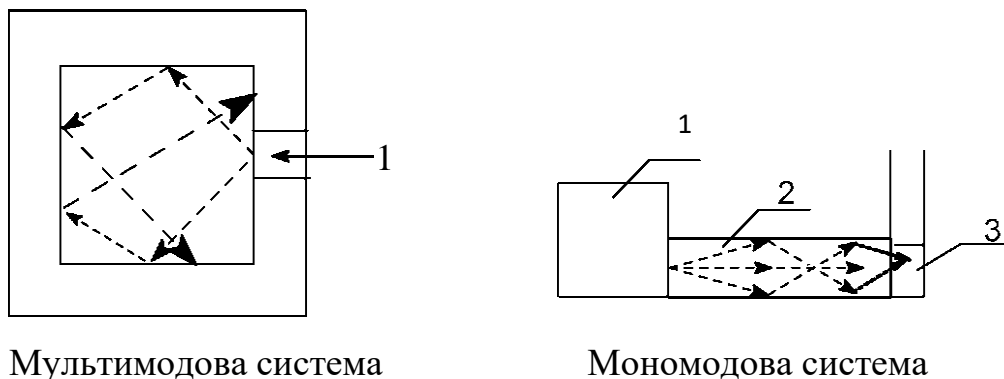


Рис. 3.1. Типи розподілу мікрохвильової енергії: 1 – магнетрон; 2 – хвилевід; 3 – об'єкт.

Крім того, нерівномірному розподілу електромагнітної енергії сприяє періодичний режим роботи магнетрону (періоди нагрівання чергуються з періодами охолодження). Частина енергії поглинається зразком, інша частина розсіюється як тепла в довкілля. У мономодових реакторах енергія через хвилевід надходить безпосередньо на об'єкт, що обробляється. Втрати енергії мінімальні за значно меншого енергоспоживання порівняно з мультимодовими системами. У хімічних мономодових реакторах МХ випромінювання підводиться до основи реакційного судини як сфокусованого променя. Проте, мономодовий режим придатний обробки лише невеликих кількостей реагентів .

Існують два види комерційно доступних мікрохвильових екстракційних установок: із закритими екстракційними ємностями та сфокусовані мікрохвильові камери. В установках першого типу екстракція протікає в умовах контрольованих тиску та температури. В установках другого типу лише частина екстракційної судини містить зразок опромінюється мікрохвилями. Обидві системи використовуються як мультимодових, так і мономодових системах .

Мультимодова система дозволяє довільне розподілення мікрохвильового випромінювання всередині камери, таким чином, кожна зона в камері і зразок

однаково опромінюються. Мономодові системи направляють мікрохвилі до певної зони, де розташований зразок. У цьому випадку зразок піддається сильнішому електричному полю, ніж у мультимодовій системі.

Мікрохвильова екстракційна установка складається з наступних основних компонентів: генератор електромагнітного випромінювання (магнетрон); хвилеводів; резонаторної камери для нагріву; аплікатора, у якому розміщується зразок; системи вентиляції та охолодження магнетрону та камери; системи захисту від надмірного випромінювання; системи вимірювальних приладів та блоку управління.

### **3.3. Принципові схеми МХ-екстракторів.**

Класифікація апаратів для МХ-екстракції представлена установками періодичної (камерної), напівбезперервної (циркуляційної) і безперервної (проточної) дії. Камерні поділяються на ємнісні (резервуар є резонаторною камерою) та установки із зовнішньою резонаторною камерою. Циркуляційні установки, що працюють у режимі кипіння розчину, припускають наявність зворотного холодильника. Проточні апарати мають найбільший інтерес для промислового використання.

Проточний процес екстрагування характеризується тим, що його стадії протікають одночасно, але роз'єднані у просторі, тобто. він здійснюється у різних частинах однієї установки.

У Канадському Дослідницькому Технологічному Центрі на початку 1994 р. було створено першу пілотну установку для екстрагування рослинної сировини. Установка (рис. 2.5) складається з генератора потужністю 6 кВт, хвилеводу, камери, в якій відбувається процес, патрубків у середині камери, якими проходить сировина з екстрагентом, завантажувальні вікна для сирого рослинного матеріалу і розчинника [7]. Маса рухається всередині труб,

завдяки насосу з продуктивністю 900 л/год. Рух сировини та розчинника прямоточний.

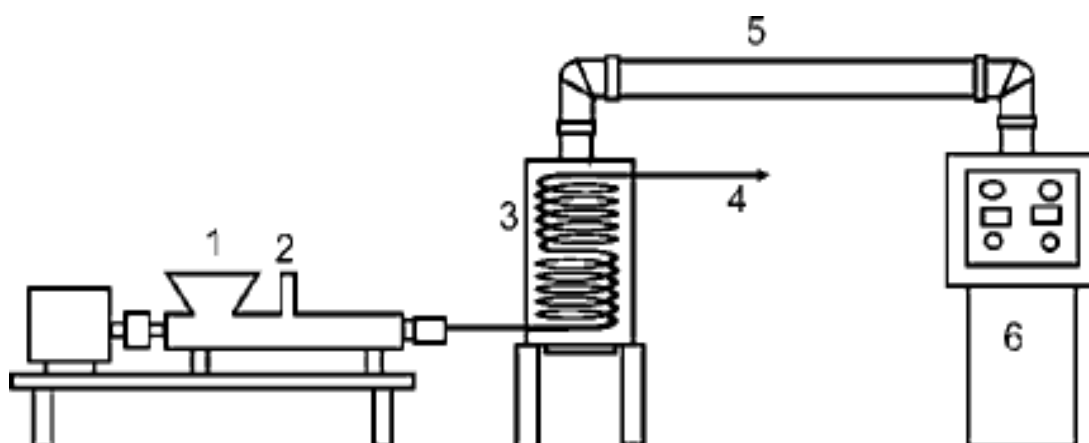


Рис. 3.2. Експериментальне установка Канадського Дослідницького Технологічного Центру:

1 – завантажувальний бункер для сировини; 2 – подача екстрагента; 3 – екстракційна камера; 4 – патрубок; 5 – хвилевід; 6 – мікрохвильовий генератор.

Дослідницьким шляхом визначено можливості використання подібних установок у промисловому виробництві олій із насіння рослин, натуральних біологічно активних речовин із свіжих рослин та інших матеріалів. На підставі пілотної установки спільно з французькою компанією SAIREM було сконструйовано встановлення більшої потужності. Великомасштабне використання технології дозволить перейти до так званого «зеленого» індустриального процесу.

Екстрагування з використанням мікрохвильової енергії є революційним методом вилучення, заснованим на селективному та обмеженому нагріванні залишкової вологості в рослинному матеріалі мікрохвилями. Це локалізоване нагрівання йде дуже швидко і завершується руйнуванням фізичної структури вихідного матеріалу, що веде до прямого переміщення цільових компонентів розчинник. Цей процес дозволяє витягувати ширший діапазон розчинних речовин, підбираючи необхідний розчинник. Розчинники вибираються прозорими до мікрохвиль, щоб нагрівався лише вихідний матеріал. Результат – нижче споживання енергії та екстракти високої якості.

Відомий спосіб , який заснований на наступному принципі: подачі суміші в поле відцентрових сил з утворенням плівкового режиму течії та обробці плівки мікрохвильовою енергією. Пристрій додатково містить антенну систему для рівномірного опромінення сировини, що забезпечує повне поглинання енергії. Діелектрична камера обертається із частотою 2...10 об./хв. У металевій камері можливе створення розрідженого чи підвищеного тиску.

У США запропоновано попередньо процентрифугований шлам повертати в одну з екстракційних секцій установки [243]. Соболевим А.І., Кузнецовим Д.І. та Івановим В.Є. розроблено лінію екстрагування олії з кавового шламу та відходів кавового виробництва (рис. 3.3) [244]. Сировину попередньо обробляють спиртом або його водним розчином, що дозволяє забезпечити умови для ефективного екстрагування олії легколету-

ними вуглеводневими розчинниками, переважно гексаном.

Попередня обробка сировини спиртом або його водним розчином (концентрацію спирту вибирають в залежності від вихідної вологості сировини) дозволяє забезпечити умови для ефективної екстракції олії легколетким вуглеводневим розчинником, переважно гексаном; водно-спиртовий екстракт, що отримується при цьому і містить каву, можна використовувати в кондитерській і виноробній промисловості, наприклад у виробництві лікерів. Застосування для обробки спиртом так само, як і для обробки гексаном, шнекових екстракторів забезпечує одноступінчасту протиточну взаємодію з матеріалом, що екстрагується, найбільш доцільне в даному випадку. У барабані, що провітрює, при невеликому розрідженні і природній температурі з залишку після спиртової обробки, віджатого в центрифuzі, відганяється волога з парами спирту, але деяка її кількість зберігається в матеріалі, що обробляється гексаном. Це необхідно для того, щоб гексан проник у клітину і "підійшов" до жиру, що міститься в клітині, що збільшує ефективність екстракції.

Застосування такого ж барабана для обробки мінерального залишку

після екстракції гексанової також дозволяє виключити високотемпературний нагрівання і відігнати легколетючий розчинник. Гексанову місцелу на першій стадії упарюють у трубчастому пристрої, а на другій у роторному плівковому випарнику.

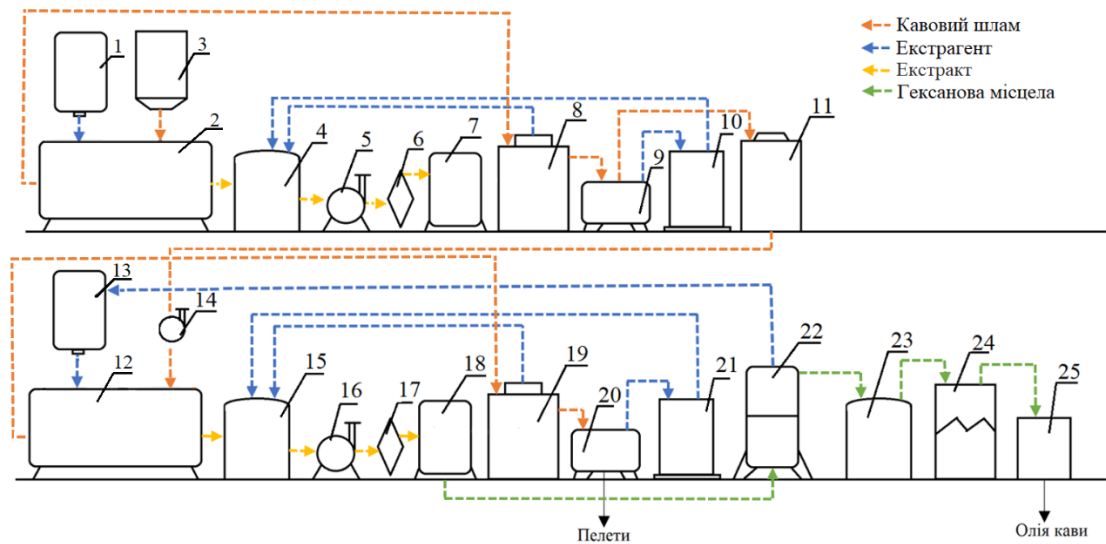


Рис.3.3 Лінія екстрагування олії з кавового шламу та відходів кавового виробництва.

1- Ємність для спирту , 2-Двошнековий горизонтальний протиточний екстрактор , 3- Бункер-накопичувач для сировини, 4- Збірник , 5- Насос , 6- Фільтр , 7-Накопичувальну ємність для водно-спиртового екстракту, 8- Центрифуга , 9-Необігріваний провітрювальний барабан , 10- Конденсатор для парів спирту , 11- Млин молоткового або дискового типу, 12- Екстрактор , аналогічний по конструкції екстрактору 2, 13- Ємність для гексану або іншого легколетючевуглеводневого розчинника, 14- Насос , 15- Збірник місцели, 16- Насос , 17- Фільтр , 18- Накопичувальну ємність для місцели , 19- Центрифуга , 20- Необігріваний провітрюючий барабан , 21- Конденсатор парів гексану, 22- Трубчастий випарювач , 23- Проміжну ємність , 24- Випарник плівковий з холодильником 25.

Лінія працює в такий спосіб.

Кавова сировина з бункера-накопичувача 3 надходить в екстрактор 2, куди подають спирт або його водний розчин з ємності 1. Одержуваний при

протиточній взаємодії водно-спиртовий екстракт стікає в збірник 4, звідки насосом через 5 фільтр 6 його відводять в накопичувальну ємність 7 для відвантаження споживачеві. Відпрацьований матеріал надходить у центрифугу 8 де віджимається. Рідка фаза також йде в збірник 4, а тверда барабан 9, з вентилятором. Відігнані при провітрюванні пари води і спирту конденсуються в конденсаторі 10 і в рідкому вигляді повертаються в збірник 4. Сухий залишок з барабана 9 відводиться в млин 11 де його дроблять в крупку. Крупку подають в екстрактор 12 разом з гексаном з ємності 13, нагнітається насосом 14. Гексанова міцелла стікає в збірник 15 і насосом 16 через фільтр 17 подається в накопичувальну ємність 18. конденсатора 21 повертається у збірник 15 так само, як і рідка фаза з центрифуги 19. Сухий залишок з барабана 20 відводиться і використовується для приготування комбікорму. Міцелла проходить через трубчастий упарювач 22, де з неї відганяється близько 90% гексану в тонкій плівці, і через проміжну ємність 23 плівковий роторний випарник 24 для остаточної відгону.

### **3.4. Принципові схеми МХ-екстракторів, розроблених в ОНТУ.**

Оригінальний підхід до вирішення конструкції апарату було зроблено В.Г. Терзієвим . Апарат був розроблений для одержання коньячних спиртів. Технічна ідея полягала в тому, що корпусом екстрактора (масообмінного модуля) служила деревина, в середині якої осями X, Y, Z виконані канали для проходу екстрагента. Сам масообмінний модуль розміщувався усередині мікрохвильової камери. Конструкція виявилася ефективною умов коньячного виробництва, де виснаження твердої фази триває тривалий час. Для завдань із швидким виснаженням твердої фази запропоновано кілька важливих схем (рис. 3.4).

Принцип (3.4,в) у спрощеній формі використовувався у роботі . Основними елементами екстрактора з електромагнітним інтенсифікатором (рис. 3.4) були: камера 3, де створюється мікрохвильове поле, екстрактор 2, два мірних резервуари 1 і 4, що функціонують за принципом сполучених судин, а також термопари T1 і T2, підключені до вимірювача 5.

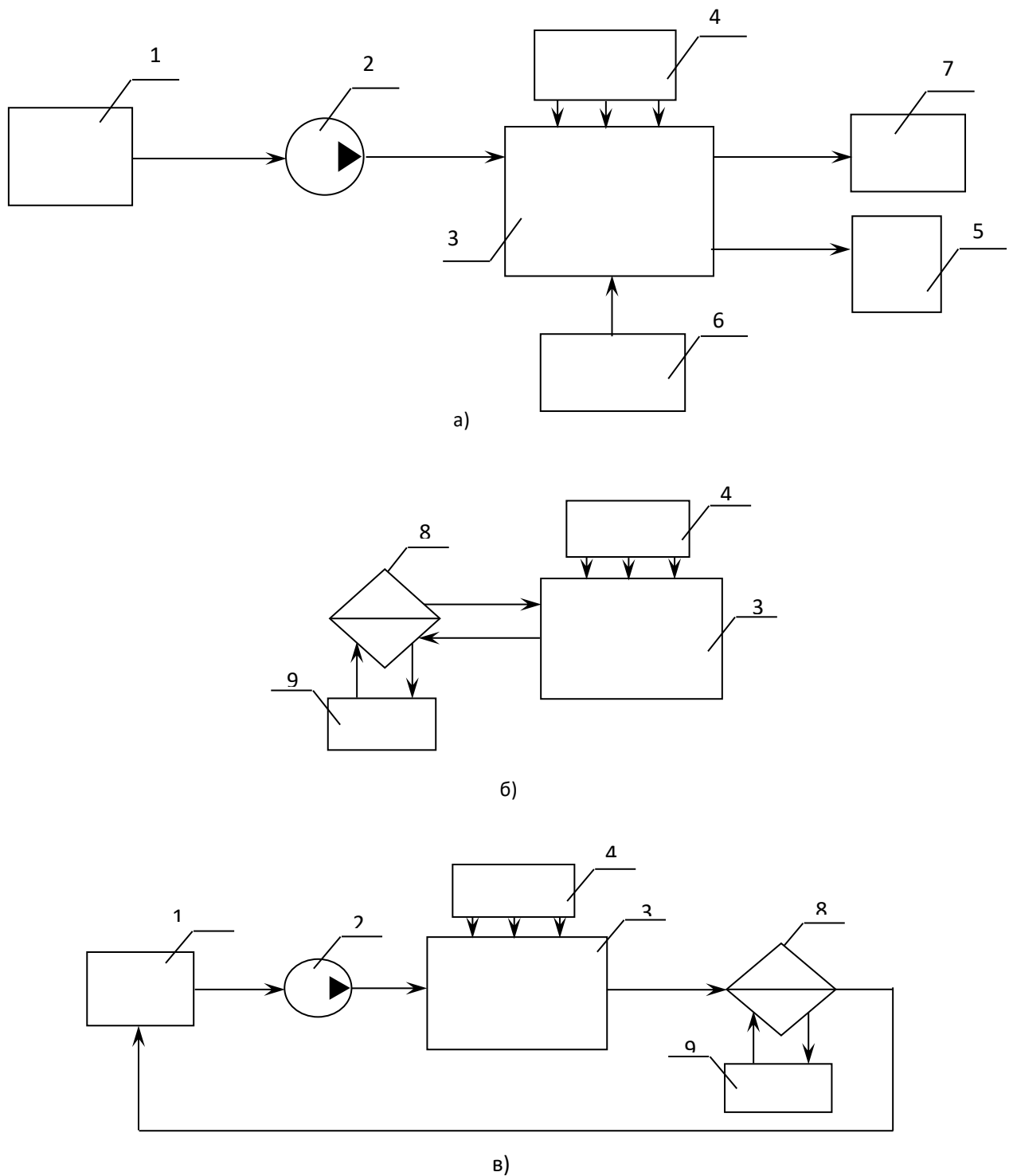


Рис. 3.4. Принципові схеми екстракторів з мікрохвильовим підведенням енергії:

а) – проточна; б) – камерна; в) – циркуляційна, де 1 – резервуар із розчинником; 2 – насос; 3 – екстракційна камера; 4 – магнетрон; 5 – резервуар з екстрактом; 6 – резервуар із вихідною сировиною; 7 – резервуар для шламу; 8 – охолоджувач; 9 - автономна холодильна установка.

В екстракторі знаходився вихідний матеріал - кавові зерна, через який пропускався розчинник - вода, яка надходила з резервуара 4 резервуар 1, після чого резервуари міняли місцями і екстрагент протікав у зворотному напрямку. Таке проведення процесу дозволяло вимірювати об'ємну витрату екстрагента, фіксуючи час проведення процесу та обсяг, що заповнюється в мірному резервуарі.

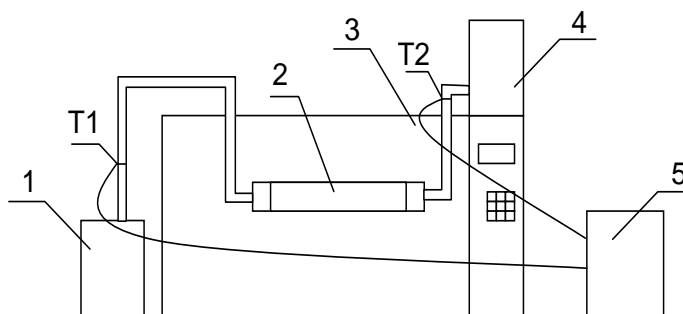


Рис. 3.5. Схема екстрактора з електромагнітним інтенсифікатором:

1, 4 – резервуари для екстрагента; 2 – екстрактор; 3 – мікрохвильова камера; 5 – вимірювальний прилад; T1 та T2 – термопари.

Термопари T1 і T2 вимірювали температуру екстрагента на вході та на виході з екстракційної камери [7].

Надалі були освоєні всі 3 схеми (рис.3.4) та обґрунтовано ефективність кожної залежно від виду рослинної сировини.

Разом з тим, створення методів розрахунку розглянутих схем, їх випробування та вдосконалення, визначення доцільних умов експлуатації потребує комплексних досліджень, результат та обсяг яких багато в чому визначається коректною їхньою постановкою.

## РОЗДІЛ 4. Сучасні принципи підвищення ефективності екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шламу кави.

### 4.1. Екологічний моніторинг виробництва розчинної кави.

Функціонування підприємства з виробництва розчинної кави надає серйозне навантаження на навколишнє середовище. Забруднювачами атмосфери є складові потоку відпрацьованого теплоносія: волога і пил кави, а також теплота. За рік на одній установці губиться 4,5 т порошку кави. Джерелами забруднень літосфери є кавовий шлам. На 1кг готового продукту утворюється 6 ... 8кг вологого кавового шламу.

Техніка вивантаження передбачає отримання на виході рідкої та твердої частин шламу. Системи екологічного захисту повинні бути спрямовані на уловлювання з аерозольних викидів розпилювальної сушарки теплоти, вологи та пилу харчового продукту (рис.4.1).



Рис. 4.1. Схема утилізації аерозольних викидів сушильної установки з використанням тепломасоутилізатора.

Тепломасоутилізатор розділяє аерозольний потік на чисте повітря, який повертається в навколишнє середовище, і розчин кави, який використовується в технології, змішується з первинним екстрактом. У процесі поділу утилізується теплота, яка йде на попереднє нагрівання повітря перед калорифером [1, 2].

#### 4.2. Шляхи утилізації кавового шламу.

Самостійним завданням є утилізація шламу кави. Відомо, що цей шлам містить до 8% олії кави, цінні білки. Олія кави, аналог поширеної олії ка-као, становить інтерес для парфумерної, фармацевтичної, кондитерської та хлібопекарської промисловості.

Пропонується схема послідовного вилучення цінних компонентів із кавового шламу.

На першому етапі видобувається олія кави. Виходить знежирений шлам.

На другому етапі методом баротермічної обробки активується білок, який використовується як зв'язуючий матеріал для одержання цегли та інших будівельних матеріалів (рис. 4.2).

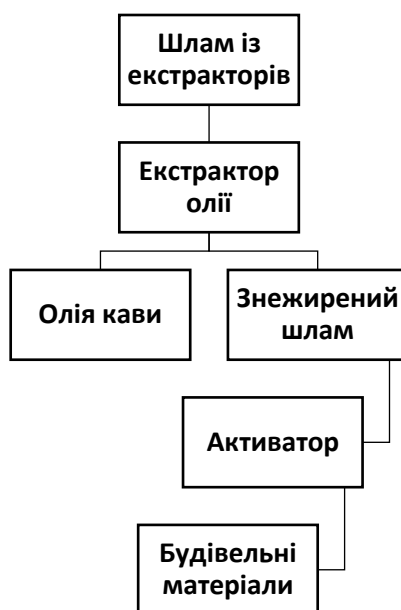


Рис. 4.2. Схема утилізації шламу кави для виробництва будівельних матеріалів.

Переробка кавового шламу на паливні пелети (рис.4.3) є більш простим шляхом його утилізації. Такі технології широко застосовують у світовій практиці. Для цього варто встановити лінію переробки шламу на агропелети, які можуть повністю замінити природний газ у системі опалення і в розпилувальній сушарці.

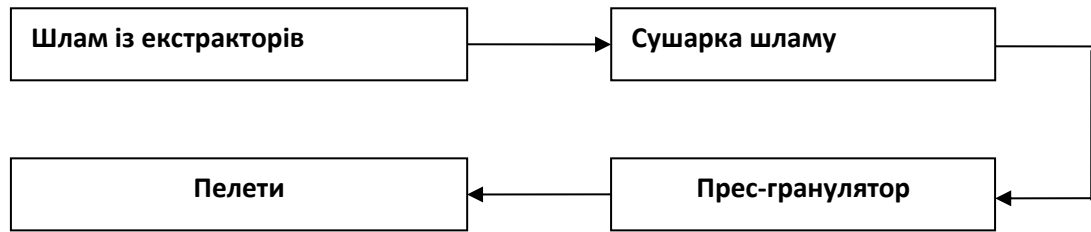


Рис. 4.3. Схема утилізації кавового шламу для виробництва пелет.

Таким чином, комплексно вирішується проблема ефективного використання ресурсів у технології кавопродуктів. При утилізації шламу екстрагуванням виділяється олія кави. Активізація знежиреного шламу дозволяє отримати сполучний компонент та виготовляти на основі тільки шламу будівельні матеріали, цеглу. Незважаючи на серйозні екологічні проблеми, пов'язані зі специфікою кавового шламу, і втрати в традиційних технологіях з ним цінних речовин, практичних прикладів його переробки в Україні немає.

#### 4.3. Лінія екстрагування кавового шламу у МХ-полі.

У схематичному вигляді запропонована нова лінія екстрагування у мікрохвильовому полі олії із шламу кави. Основою цієї лінії став МХ - екстрактор розроблений в ОНТУ. Перевагою такого методу екстрагування є суттєве зменшення витрат енергії за рахунок впровадження нових технологій і скорочення витраченого часу на екстрагування.

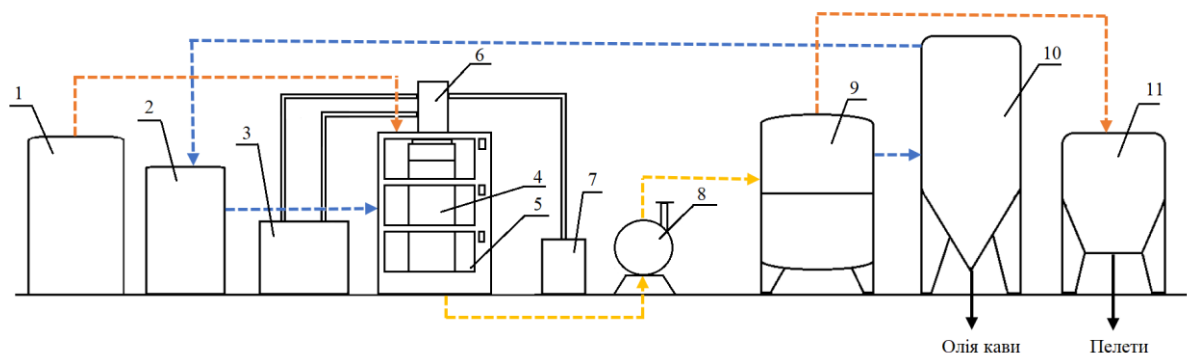


Рис. 4.4. Лінія екстрагування кавового шламу у МХ-полі

1 – Ємність з шламом ; 2 – Ємність для екстрагенту ; 3 – Холодильна машина ; 4 – Ємність для продукту ; 5 – Мікрохвильова камера; 6 – Зворотний холодильник ; 7 – Вакуумний насос ; 8 – Насос ; 9 – Сепаратор ; 10 – Випарна установка ; 11 – Сушарка;

## РОЗДІЛ 5. Експериментальні дослідження процесу екстрагування в мікрохвильовому полі олії із шлему кави.

### 5.1. Моделювання інноваційного обладнання.

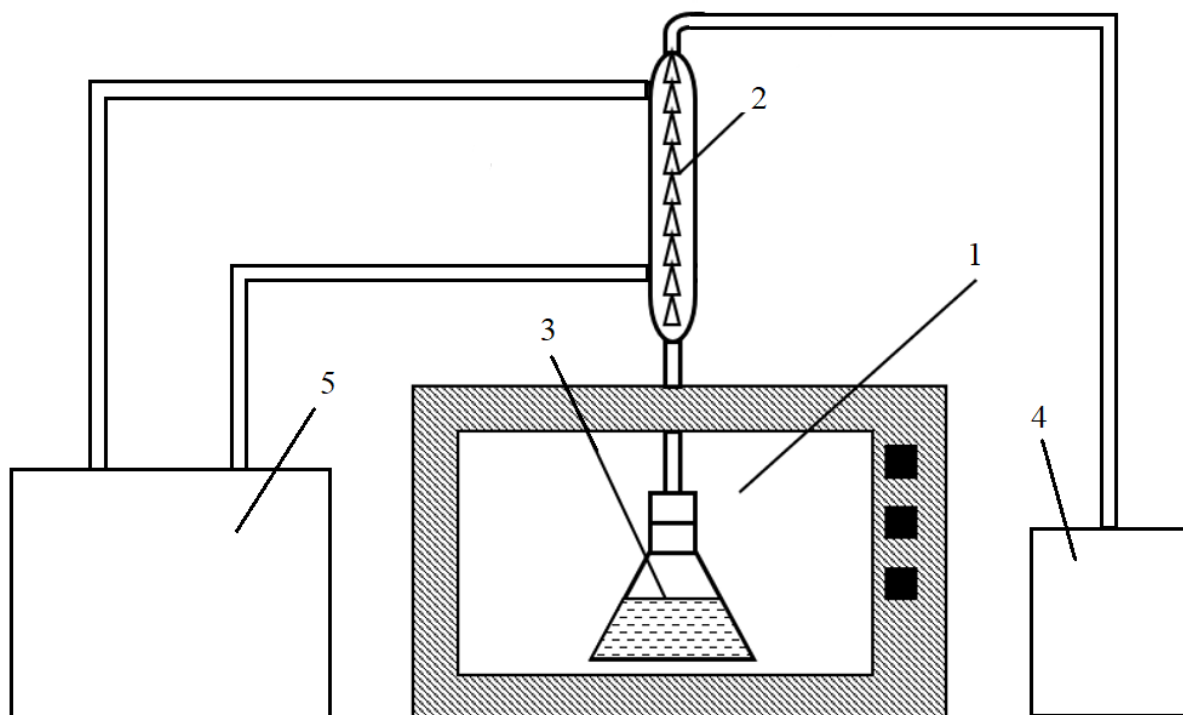


Рис. 5.1 Схема екстрактора з мікрохвильовим підведенням енергії:

1 – Мікрохвильова камера; 2 – Зворотний холодильник; 3 – Ємність для продукту; 4 – Вакуумний насос; 5 – Холодильна машина;

За конструктивним оформленням даний екстрактор безперервної дії є вертикальним, принцип його дії заснований на протиточному переміщенні сировини і рідини, що екстрагує.

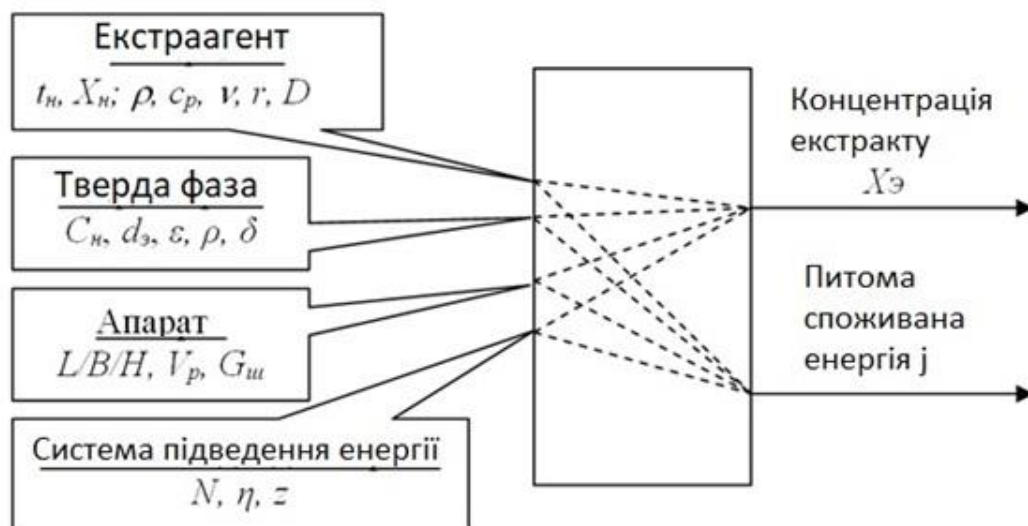
Основна проблема при проектуванні екстрактора пов'язана з розрахунком масопереносу у системі «кавова сировина – вода». Головними незалежними вхідними параметрами є: початкові стани екстрагента, твердої фази та продуктивність апарату. Для розрахунку необхідно знати концентрації екстрактивних речовин у твердому тілі ( $C_n$ ) та екстракт ( $XЭ$ ), температуру

екстрагента ( $t_n$ ) та тиск в апараті. Важливу роль відіграють властивості екстрагента: щільність ( $\rho$ ), теплоємність ( $c_p$ ), в'язкість, питома теплота фазового переходу ( $r$ ) та коефіцієнт дифузії ( $D$ ). Для твердої фази слід враховувати еквівалентний розмір частки ( $d_3$ ), пористість шару ( $\epsilon$ ) та його товщину ( $\delta$ ). Сам апарат характеризується габаритними розмірами ( $L/V/H$ ), обсягом реакційної зони ( $V_p$ ) та масою завантаження твердої фази ( $G_{ш}$ ). В принципі зазначені вище параметри є традиційними для всіх екстракторів. Принципово вперше враховуються показники системи підведення енергії. Визначальними тут вважаються потужність одного генератора ( $N$ ), його ККД ( $\eta$ ) та кількість випромінювачів (рис.5.2).

Варіювати параметрами в даному випадку приймаються витрата екстрагента, концентрація розчину на виході з апарату, температура процесу, потужність мікрохвильового поля, конструктивні характеристики масообмінних модулів екстрактора.

При постановці завдання формування алгоритму розрахунку є обґрунтування параметричної моделі апарату. Важливо коректно визначити групи параметрів, системи, які є значущими в процесі екстрагування. Серйозним питанням вважається обґрунтування функції мети.

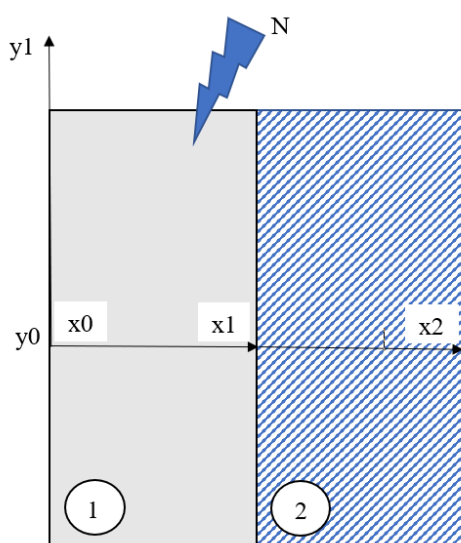
Звісно ж, як функції мети логічно визначити два параметри: концентрація цільового компонента в екс-тракті і величина питомих витрат енергії на процес (рис.5.2). Вплив на значення функції мети надають такі елементи системи: екстрагент, шлам (або зерна кави), конструкція апарату та система мікрохвильової подачі енергії (рис.5.2).



**Рис.5.2. Параметрична модель мікрохвильового екстрактор.**

Температуру екстрагента ( $t_n$ ) , концентрація екстрагент ( $X_n$ ), щільність ( $\rho$ ), теплоємність ( $c_p$ ), швидкість ( $v$ ) , питома теплота фазового переходу ( $r$ ) , коефіцієнт дифузії ( $D$ ) , концентрація екстрактивних речовин ( $C_n$ ) , еквівалентний розмір частки ( $d_s$ ), пористість шару ( $\epsilon$ ) , товщина шару ( $\delta$ ) , обсягом реакційної зони ( $V_p$ ) , маса завантаження твердої фази ( $G_w$ ), потужність одного генератора ( $N$ ), ККД ( $\eta$ ) , кількість магнетронів ( $z$ )

Наступним кроком стало розробка фізичної схеми мікрохвильового екстрактора.



**Рис.5.3 Фізична схема мікрохвильового екстрактора.**

1- Шлам ,  $x_0 \leq x \leq x_1$  ,  $y_0 \leq y \leq y_1$  , маса шламу  $m_{\text{ш}}$  ;  $N = \text{const}$  - потужність магнетрону.

2-Екстрагент  $x_1 \leq x \leq x_2$  ,  $y_0 \leq y \leq y_1$  , маса екстрагент  $m_{\text{ек}}$  ;  $N = \text{const}$  - потужність магнетрону .

## 5.2. Універсальні математичні описи процесів.

Підведення енергії до рідкої системи, що рухається, описується добре відомим рівнянням енергії, яке має вигляд :

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \frac{\partial t}{\partial y} = a \cdot \nabla^2 \cdot t \quad (5.1)$$

Рівняння конвективного масопереносу (зміна маси речовини (або його концентрації) в потоці рідини, що рухається) має вигляд :

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \cdot \nabla^2 c, \quad (5.2)$$

$$\nabla^2 c = \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (5.3)$$

Універсальний математичний опис процесу рівняння Нав'є-Стокса :

$$p \cdot W \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) = p \cdot g - \left( \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial y} \right) + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (5.4)$$

## 5.3. Моделювання процесу методом "аналізу розмірностей"

Більшість розмірностей може бути виражено через розмірність основних величин, і називаються похідними величинами.

Основним положенням, яке використовується в методі аналізу розмірностей при знаходженні кількості і виду чисел подія, є аксіома про те, що складатися і відніматися можуть тільки величини і комплекси величин, що мають однакову розмірність, а також та обставина, що одні розмірності ви -Бражаються через інші у вигляді їх твору у відповідних ступенях. На цій основі встановлюється, що якщо будь-яка фізична величина  $N$  шукається як функція інших фізичних величин  $A, B, C, \dots$ , то ця залежність може бути представлена у вигляді добутку цих розмірностей в деяких ступенях  $a, b, c, \dots$

Складаємо модель процесів екстрагування олії із шламу кави. Для цього вибираємо параметри які безпосередньо впливають на наш процес.

Користуючись методом аналізу розмірностей, замінимо функцію залежністю між числами подібності. У даному випадку число змінних  $n = 11$ , число одиниць виміру  $m = 3$ . Тоді, згідно з  $\pi$ -теоремою, число безрозмірних комплексів, що описують процес, має дорівнювати  $(n - m) = 8$ .

**Таблиця 5.1** Список параметрів.

Параметр	Символ	Розмірність
Ефективний коефіцієнт масовіддачі	$\beta_{\epsilon}$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Розмір часток	$d$	$\text{м}$
Різниця концентрацій	$\Delta C$	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Середня щільність потоку	$\rho$	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Середня в'язкість потоку	$\mu$	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$
Коефіцієнт дифузії	$D$	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
Теплота пароутворення	$r$	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Потужність мікрохвильового поля	$N$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
Маса екстрагенту	$m_{\text{ек}}$	$\text{кг}$
Маса продукту	$m_{\text{п}}$	$\text{кг}$
Гравітаційна стала	$g$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$

Функціональна залежність має вигляд :

$$\beta_{\epsilon} = f(d, \rho, \mu, D, r, \Delta C, N, m_{\text{ек}}, m_{\text{п}}, g). \quad (5.5)$$

Відповідно до принципу аналізу розмірностей залежність представляємо у вигляді степеневого ряду.

$$\beta_{\epsilon} = A \cdot d^n \cdot \rho^s \cdot \mu^t \cdot D^m \cdot r^k \cdot \Delta C^p \cdot N^q \cdot m_{\text{ек}}^y \cdot m_{\text{п}}^e \cdot g^w \quad (5.6)$$

Для вирішення цього завдання складаємо матрицю

**Таблиця 5.2 Розмірна матриця**

	n	s	t	m	k	p	q	y	e	w	$\beta_{\epsilon}$
<i>M</i>	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
<i>L</i>	1	-3	-1	2	2	-3	2	0	0	1	1
<i>T</i>	0	0	-1	-1	-2	0	-3	0	0	-2	-1

На основі матриці складаємо систему рівнянь алгебри:

$$s+t+p+q+y+e=0 \quad (5.7)$$

$$n-3s-t+2m+2k-3p+2q+w=1 \quad (5.8)$$

$$-t-m-2k-3q-2w=-1 \quad (5.9)$$

Вирішуємо рівняння :

$$q=-s-t-p-y-e$$

$$m=1-t-2k-3q-2w$$

$$n-3s-t+2(1-t-2k-3q-2w)+2k-3p+2(-s-t-p-y-e)+w=1$$

$$n=5s+5t-1+2k+6q+3w+5p+2y+2e$$

Тоді рівняння набуде вигляду :

$$\beta_{\epsilon} = A \cdot d^{5s+5t-1+2k+6q+3w+5p+2y+2e} \cdot \rho^s \cdot \mu^t \cdot D^{1-t-2k-3q-2w} \cdot r^k \cdot \Delta C^p \cdot N^{-s-t-p-y-e} \cdot m_{\text{ек}}^y \cdot m_{\text{п}}^e \cdot g^w \quad (5.10)$$

Поеднуємо параметри з однаковими показниками ступеня

$$\frac{\beta_{\epsilon} \cdot d}{D} = A \left( \frac{d^5 \cdot p}{N} \right)^s \cdot \left( \frac{d^5 \cdot \mu}{D \cdot N} \right)^t \cdot \left( \frac{d^2 \cdot r}{D^2} \right)^k \cdot \left( \frac{d^6}{D^3} \right)^q \cdot \left( \frac{d^3 \cdot g}{D^2} \right)^w \cdot \left( \frac{d^5 \cdot \Delta C}{N} \right)^p \cdot \left( \frac{d^2 \cdot m_{\text{ек}}}{N} \right)^y \cdot \left( \frac{d^2 \cdot m_{\text{п}}}{N} \right)^e \cdot \left( \frac{p}{N} \right)^s \quad (5.11)$$

Отримано залежність відомих чисел подібності :

$$\frac{\beta \cdot d}{D} = \text{Sh} - \text{Число Шервуда}$$

$$\frac{\mu \cdot p}{D} = \text{Sc} - \text{Число Шмідта}$$

$$\frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{ек}}} = \text{H} - \text{Гідромодуль}$$

$$\frac{d^3 \cdot \Delta C \cdot g}{D^2} = \text{Gr} - \text{Число Грасгофа}$$

$$\frac{N}{r \cdot m_{\text{ек}}} = \text{Bu} - \text{Число Бурдо}$$

Записуємо залежність у остаточному вигляді :

$$\text{Sh} = A(\text{Sc})^n \cdot (\text{Bu})^m \cdot (\text{Gr})^p \cdot (\text{H})^t \quad (5.12)$$

Число Грасгофа  $(Gr)^p$  В умовах виникнення ефекту механо дифузії вплив природної конвекції мізерно малий відповідно число Грасгофа буде прагнути до нуля тому з цього рівняння ми можемо його виключити".

Так отримано структуру критеріального рівняння для періодичного процесу екстрагування у МХ-полі:

$$\text{Sh} = A(\text{Sc})^n \cdot (\text{Bu})^m \cdot (\text{H})^t \quad (5.13)$$

Математичним шляхом отримана модель та наступним етапом буде перевірка її на адекватність. Для цього будуть проведені експериментальні дослідження, розраховане експериментальне число Шервуда для порівняння його з Числом Шервуда отриманим математичним шляхом . Це буде наше завдання для подальших досліджень.

#### 5.4. Методи експериментального моделювання.

Метод експериментального вивчення різних фізичних явищ може дати надійні результати лише у разі дотримання фізичної подоби реального явища та моделі. Подібність досягається за рахунок рівності для моделі та реального явища значень чисел подібності. Експериментальні дані, отримані методом фізичного моделювання, поширюються реально явище також з урахуванням чисел подібності.

##### 5.4.1. Визначення коефіцієнту дифузії

Коефіцієнт дифузії (**D**) кількісно характеризує швидкість перенесення маси, і, отже, є ключовим параметром аналізу кінетики масообмінних процесів. За фізичним змістом коефіцієнт дифузії – це кількість речовини, яка проходить через одиницю площі поверхні за одиницю часу при градієнті концентрацій на одиницю довжини, що дорівнює одиниці.

У літературі не було знайдено значень коефіцієнта дифузії для систем «кавова олія – етанол», «кавова олія – гексан», тому їх визначали експериментально за допомогою стенду №2.

Концентрації розчину вимірювалися за певні проміжки часу на різних рівнях занурення (**Z**) від межі поділу фаз. Досліди проводилися в термостаті, за температури 25 °С. Коефіцієнти дифузії розраховувалися за такою формулою:

$$D = \frac{dMdz}{Fdt\Delta C} \quad (5.14)$$

Результати досліджень наведено у табл. 5.3.

**Таблиця 5.3. Значення коефіцієнтів дифузії для кавової олії при температурі 25 °С**

Система	$D \cdot 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$
Кавова олія-спирт	1,13

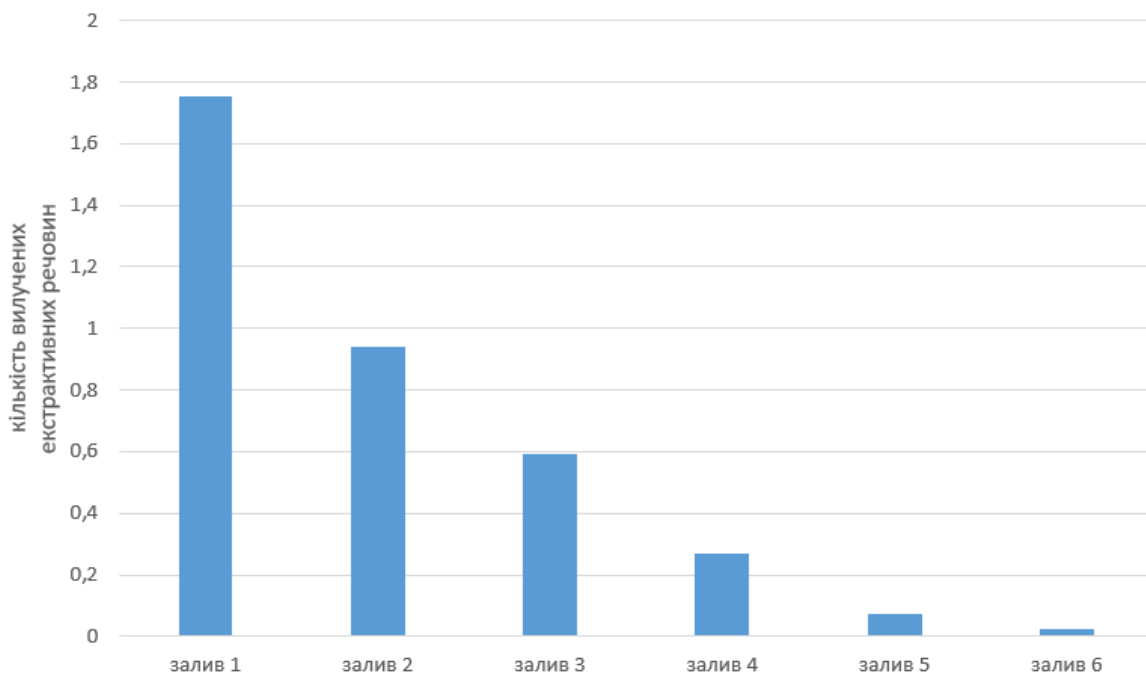
Таким чином, швидкість дифузії олії з шламу в гексан більша, ніж в етанол. Можна припустити, що швидкість екстрагування олії гексаном буде більшою, ніж етанолом.

#### **5.4.2. Граничні концентрації кавової олії у шламі та в екстрагентах.**

В умовах кипіння розчинника з гідромодулем 1:3 вивчався масоперенос із частинок кавового шламу під дією мікрохвильового поля.

Здійснювалося 6 заток шламу екстрагентами до тих пір, поки тверда фаза не вичерпалася, тобто концентрація масла в останній затоці не стала практично рівною 0. Кількість вилученого масла визначалося насичення екстракту. У п'ятому заливі концентрація олії в спиртовому екстракті становила 0,1 г/л. У шостому заливі концентрації олії становила менше 0,1 г/л.

Розподіл екстрактивних речовин по затоках для етанолу наведено на Рис. 5.5.



**Рис. 5.5. Розподіл кількості одержаної олії (гідромодуль 1:3):– спирт.**

Загалом із 10 г шламу було вилучено 2,09 г олії етанолом у мікрохвильовому полі, тобто 20,8 – 20,9 %. Найбільше вилучення олії спостерігалось після першої затоки і становило 12,7% маси сухого шламу для етанолу. Далі, у міру виснаження шламу, маса екстрактивних вилучених речовин значно зменшувалася. Розрахункове значення маси масла, яке перейшло в розчин, перевіряли зважуванням висушеного після шостої затоки шламу.

З літературних джерел відомо, що без застосування мікрохвильової інтенсифікації максимальна кількість екстрактивних речовин, вилучених із кавового шламу, становила трохи більше 17% [52]. Таким чином, встановлено, що внаслідок мікрохвильової обробки вихід екстрактивних речовин із шламу збільшується порівняно з традиційними способами на 20%. Пояснити цей факт можна тим, що в умовах МВ-поля масло витягується і з важкодоступних елементів сировини (мікро-і нанокапілярів).

#### **5.4.3. Завдання та загальна характеристика експериментів.**

Досліди з екстрагування олій із кавового шламу проводилися в широкому діапазоні температур, об'ємів. Досліджували інтенсивність масопереносу в умовах мікрохвильового підведення енергії.

Завданням експериментальних досліджень було визначення впливу на інтенсивність масопереносу таких факторів, як:

- Температура екстрагента;
- співвідношення твердої фази та екстрагента;
- Характер підведення енергії.

Вплив розміру частинок не досліджувався, оскільки шлам є відходом переробки подрібненої сировини.

#### **5.4.4 Вплив температури екстрагента .**

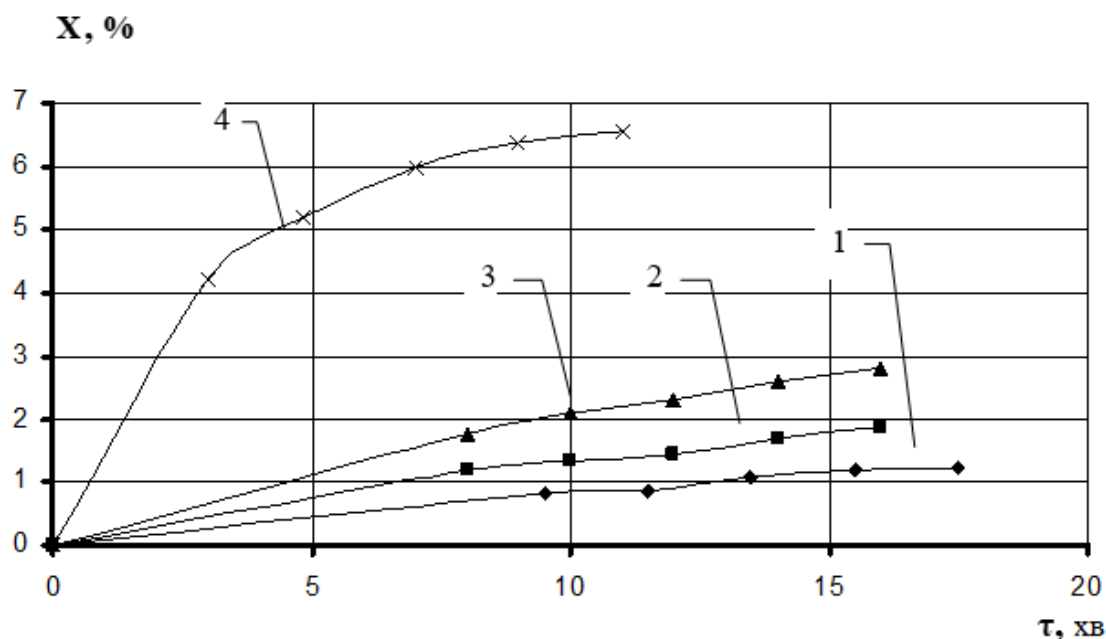
Зі зростанням температури екстрагента збільшується коефіцієнт дифузії. Температура процесу залежить від підведеної енергії. Вплив даного параметра вивчався за умов дії мікрохвильового поля (рис.5.6 ).

Експерименти проводилися в термостаті та в МВ-екстракторі. Гідромодуль складав 1:3. Температура контролювалася за допомогою електронного контактного термометра DAN-1000.

У разі екстрагування в мікрохвильовому полі температура пов'язана з кількістю підведеної мікрохвильової енергії. Концентрацію екстракту контролювали кожні 2 хв, починаючи з виходу на заданий температурний режим.

Інтенсивність екстрагування збільшується зі зростанням температури (рис. 5.6). В умовах кипіння утворення пари викликає турбулізацію прикордонного шару, що значно збільшує швидкість процесу.

Цей висновок загальний і для процесу екстрагування в термостаті, і для технологій з мікрохвильовим підведенням енергії.



**Рис. 5.6.** Вплив температури екстрагенту (етанолу) в умовах дії МХ-поля 1 – 40° С; 2 – 50°С; 3 – 60°С; 4 – 78,5 °С (кипіння).

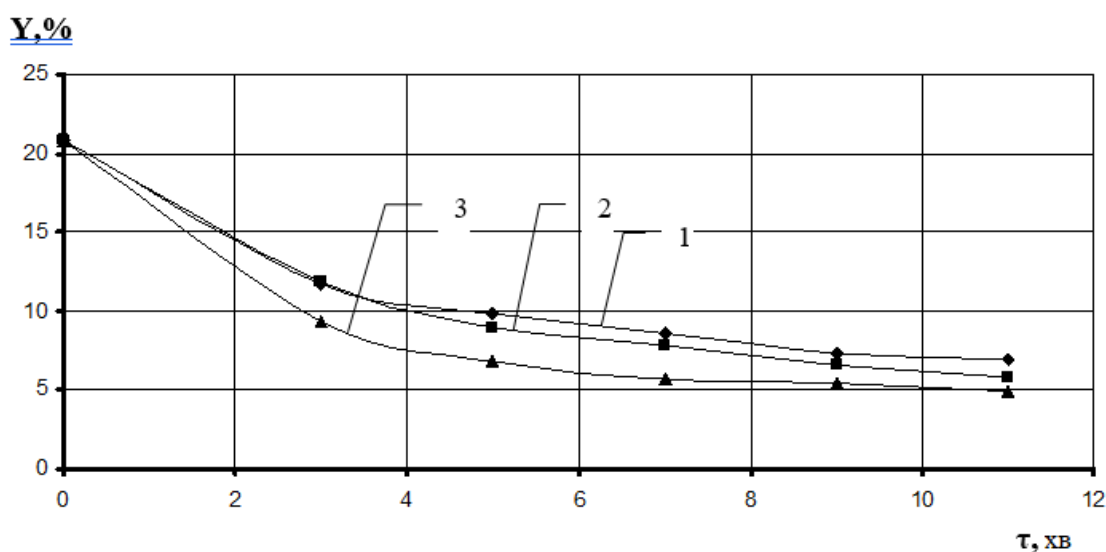
Результати досліджень (рис. 5.6) показали, що у мікрохвильовому полі зі збільшенням температури збільшується швидкість вилучення екстрактивних речовин із шламу. При цьому, в умовах кипіння розчинника швидкість процесу та кількість вилучених речовин значно більша, що пояснюється тур-булізацією прикордонного шару. Це все очікуваний результат.

#### **5.4.5. Вплив співвідношення твердої фази та екстрагенту.**

Співвідношення твердої фази та екстрагенту впливає на рушійну силу процесу екстрагування. Чим більший гідромодуль, тим більша різниця концентрацій екстрактивних речовин. У той же час використання великих обсягів екстрагенту збільшує витрати енергії на його видалення з екстракту і тривалість процесу відгону. Отже, визначення впливу зазначеного чинника предмет оптимізації процесу.

Досліди проводилися в режимі кипіння екстрагента, вивчали гідромодулі 1:3 (33 г сировини на 100 мл екстрагента), 1:5 (20 г шламу на 100 мл екстрагента) і 1:10 (10 г шламу на 100 мл екстрагента).

Концентрація олії в розчині зі збільшенням гідромодуля зменшується внаслідок того, що на ту ж масу олії в сировину припадає більший об'єм розчинника. Таким чином, коректно оцінити вплив співвідношення твердої фази і екстрагента на інтенсивність процесу можна по концентрації масла в твердій фазі-  $Y$ , %.



**Рис. 5.7. Вплив гідромодуля: 1 – 1:3; 2 – 1:5; 3 – 1:10**  
(досліди при кипінні спирту в МХ-полі)

Видно (рис. 5.7), що чим більший гідромодуль, тим швидше виснажується тверда фаза, оскільки зменшення концентрації олії в розчиннику збільшує рушійну силу процесу. У той самий час різниця між швидкостями виснаження твердої фази за різних гідромодулів незначна. Так, на десятій хвилині процесу різниця між концентраціями була в межах 2% для етанолу.

#### 5.4.6. Вплив потужності магнетрону МХ-екстрактора.

Експеримент проводився в трьох режимах потужності магнетрону : мінімальний 127 Вт , середній 425 Вт , високий 850 Вт . З гідромодулем 1:3 ( 100 г. шламу 300 г. спирту ) . Тривалість експерименту була 60 хв. і кожні 10 хв. відбиралася проба екстракту для визначення концентрації олії кави в розчині . Результати експерименту на Рис 5.8

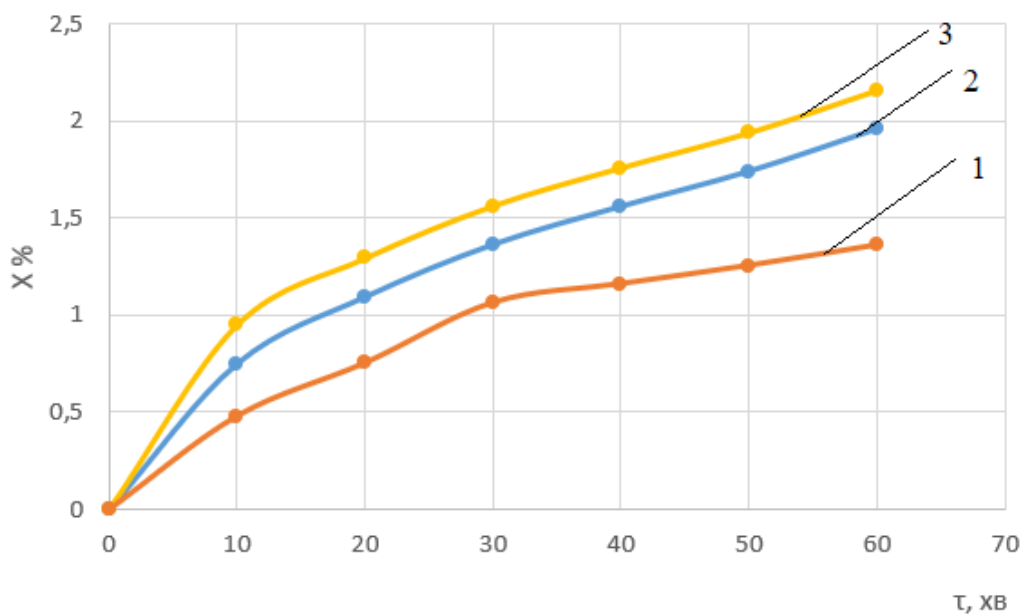


Рис. 5.8 Вплив потужності магнетрону МХ-екстрактора : 1- мінімальний 127 Вт , 2 - середній 425 Вт , 3 - високий 850 Вт

## **6. ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З МІКРОХВИЛЬОВИМ ЕКСТРАКТОРОМ (МХЕ)**

### **6.1 Загальні вимоги безпеки**

6.1.1. До робіт з експлуатаційно - технічного обслуговування МХЕ допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, придатні за станом здоров'я, навчені безпечним методам праці, пройшли перевірку знань вимог з безпеки праці, що мають групу з електробезпеки не нижче III та мають відповідну підготовку згідно з тарифно - кваліфікаційним довідником.

6.1.2. Працівники, здійснюють експлуатаційно - технічне обслуговування МХЕ, зобов'язані дотримуватися і виконувати встановлені для підприємства правила внутрішнього розпорядку, затверджені та узгоджені встановленим порядком графіки чергувань, тобто. дотримуватися часу початку і кінця роботи, перерви протягом робочого дня для відпочинку та їди.

6.1.3. У приміщеннях, де розташований МХЕ, характерні та присутні такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- небезпечні рівні напруги в електричних ланцюгах, замикання яких може статися через тіло;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання дуже високих (ВВЧ) або надвисоких (НВЧ) частот;
- Підвищений рівень шуму на робочому місці;
- Підвищена температура повітря на робочому місці;

6.1.4. Працівники, які здійснюють експлуатаційно-технічне обслуговування МХЕ, повинні бути забезпечені спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до чинних нормативів та несуть відповідальність за правильне їх застосування, використання та збереження.

6.1.5. Кожен працівник повинен вивчити вимоги пожежо- та вибухобезпеки, дотримуватись їх та вміти застосовувати наявні в апаратних засоби первинного пожежогасіння.

6.1.6. Кожен працівник повинен знати порядок повідомлення адміністрації підприємства про випадки травмування працівників, про аварії та несправності обладнання, пристроїв тощо. надзвичайні події та ситуації, для чого на робочих місцях мають бути списки телефонів відповідальних осіб

керівного складу підприємства, швидкої допомоги, пожежної охорони та міліції.

6.1.7. За порушення вимог інструкції з охорони праці працівники підприємств залучаються до дисциплінарної, адміністративної, а у відповідних випадках та до матеріальної та кримінальної відповідальності у порядку, встановленому чинним законодавством.

## 6.2 Вимоги безпеки перед початком работ

6.2.1. Особа з оперативного персоналу, прийшовши на чергування, має ухвалити зміну від попереднього чергового.

6.2.2. При прийманні зміни оперативний персонал зобов'язаний:

- ознайомитись за схемою зі станом та режимом роботи обладнання на своїй ділянці шляхом особистого огляду в обсязі, встановленому інструкцією;
- отримати відомості від чергового, що здає зміну, про обладнання, за яким необхідно вести ретельне спостереження для попередження аварії або неполадок, та обладнання, що знаходиться в ремонті або резерві;
- перевірити та прийняти інструмент, матеріали, ключі від приміщень, засоби захисту, оперативну документацію та інструкції;
- ознайомитися з усіма записами та розпорядженнями за час, що минув з його останнього чергування;
- оформити приймання зміни записом у журналі, відомості, а також на оперативній схемі підписами особи, яка приймає зміну, та особи, яка її здає;
- доповісти старшому за зміною про вступ на чергування і неполадки, помічені під час приймання зміни.

6.2.3. Приймання та здавання зміни під час ліквідації аварії, виробництва перемикань або операцій з увімкнення та відключення обладнання забороняється. За тривалого часу ліквідації аварії здавання зміни здійснюється з дозволу адміністрації.

6.2.4. Приймання та здавання зміни при забрудненому обладнанні, неприбраному робочому місці та ділянці, що обслуговується, забороняється.

6.2.5. Приймання зміни при несправному обладнанні або ненормальному режимі

його роботи допускається лише з дозволу особи, відповідальної за дану електроустановку, або вищої особи, про що робиться відмітка в оперативному журналі.

### 6.3. Вимоги безпеки під час роботи

6.3.1. Особа з оперативного персоналу під час свого чергування є відповідальною за правильне обслуговування та безаварійну роботу всього обладнання на дорученій йому ділянці.

6.3.2. Експлуатаційно-технічне обслуговування може здійснюватися однією або декількома особами. Вид обслуговування, кількість осіб персоналу у зміні визначається Правилами технічної експлуатації .

6.3.3. Одноосібне обслуговування обладнання допускається за таких умов:

- наявність резервного обладнання, що включається замість несправного;
- наявність у приміщеннях, де розміщені технічні засоби, телефонів для виклику аварійно-профілактичної групи та можливості передачі інших екстрених повідомлень та пожежної сигналізації.

6.3.4. До одноосібного обслуговування обладнання допускаються інженерно-технічні працівники або електромонтери, які мають стаж практичної роботи на аналогічному робочому місці не менше 3-х років.

6.3.5. Особи, які обслуговують обладнання одноосібно, повинні мати групу з електробезпеки не нижче IV.

6.3.6. Перелік робіт, що дозволяється виконувати одиночному черговому, повинен визначатися технічним керівником (головним інженером, заступником начальника) підприємства за погодженням з виборним профспілковим органом.

6.3.7. При одноосібному експлуатаційно-технічному обслуговуванні обладнання дозволяється виконання експлуатаційних операцій лише із зовнішнього боку шаф обладнання.

6.3.8. Особи, які не мають відношення до обслуговування обладнання і не виконують роботи за нарядами або розпорядженнями, можуть допускатися до технічних приміщень станції у супроводі та під наглядом працівника з числа чергової зміни. Супроводжуючий зобов'язаний невідлучно перебувати поряд з допущеними до технічних приміщень особами та стежити за їх безпекою.

При вході в приміщення супроводжуючий повинен попередити, що наближатися до обладнання заборонено. Якщо керівництво станції та цеху відсутнє, то старший зміни має право допускати до технічних приміщень станції інспекторський та відряджений персонал за наявності відповідних документів.

6.3.9. Огляд обладнання може проводитись однією особою:

- адміністративно – технічним працівником з V групою з електробезпеки (напруга вище 1000 В) та IV (напруга до 1000 В);
- працівником із числа змінного персоналу з групою з електробезпеки не нижче IV (закріплене за ним обладнання);
- працівником аварійно-профілактичної групи з групою з електробезпеки не нижче IV.

6.3.10. Список осіб адміністративно-технічного персоналу, яким дозволяється одноосібний огляд обладнання, встановлюється головним інженером підприємства, що експлуатує РРЛ. Попередній запис у журнал або видачі наряду для огляду обладнання не потрібний.

6.3.11. При виявленні в процесі огляду несправності, яка не повинна усуватися однією особою, той, хто виявив несправність, зобов'язаний негайно повідомити про це старшому зміни і зробити відповідний запис у журналі виявлених технічних несправностей.

6.3.12. Установка та зняття запобіжників, як правило, проводиться при знятій напрузі. Під напругою, але без навантаження допускається знімати та встановлювати запобіжники на ділянках електроустановки, у схемі яких відсутні комутаційні апарати.

6.3.13. Під напругою та під навантаженням допускається знімати та встановлювати запобіжники трансформаторів напруги та запобіжники закритого типу в електроустановках напругою до 1000 В.

6.3.14. При знятті та встановленні запобіжників під напругою необхідно користуватися:

- в електроустановках напругою вище 1000 В - ізолюючими кліщами, штангою, діелектричними рукавичками та захисними окулярами (маскою);
- в електроустановках напругою до 1000 В - ізолюючими кліщами або діелектричними рукавичками, а за наявності відкритих плавких вставок та захисними окулярами (маскою).

6.3.15. Персоналу слід твердо пам'ятати, що після зникнення напруги може бути подано на обладнання без попередження як в умовах нормальної експлуатації, так і в аварійних випадках.

6.3.16. Профілактичний огляд, чищення та ремонт обладнання дозволяється проводити лише після зняття напруги на силовому щиті з цього обладнання. Щоб уникнути випадкового включення напруги, необхідно

застосовувати ізолюючі накладки в рубильниках, автоматах і т.п. При цьому на рукоятках вимкнених пристроїв вивішуються плакати з написом: "Не вмикати. Працюють люди".

6.3.17. Виконувати ремонт та чищення апаратури, що перебуває під напругою, забороняється.

Примітка. Виняток становлять стійки обладнання, харчування яких здійснюється напругою до 42, за умови відсутності на елементах стійки напруги більшої величини (апаратура "КУРС" і т.п.).

6.3.18. При блоковій побудові апаратури виймати блоки, приєднувати їх подовжувальними шлангами і підключати переносні вимірювальні прилади до блоків дозволяється тільки при вимкненому напрузі живлення, за винятком блоків, живлення яких здійснюється напругою не вище 42 В. Подовжувальні шланги повинні мати щоб після їх підключення була відсутня можливість дотику

до відкритих струмоведучих частин.

6.3.19. При вимірі режиму робіт апаратури або при знятті показань приладів повинна бути виключена можливість дотику персоналу до частин, що знаходяться під напругою. Металеві корпуси приладів, які застосовуються для

вимірювання, повинні бути заземлені.

6.3.20. При налаштуванні та вимірюваннях апаратури вимірювальні прилади слід розташовувати так, щоб не захаращувати доступ до вимірюваної апаратури.

6.3.21. Джерелами випромінювання ЕМП НВЧ можуть бути також вимірювальні прилади: НВЧ - генератор, вимірювальна лінія та ін, тому їх виходи (не використовуються) повинні бути закриті узгодженими навантаженнями. При необхідності розстикування хвилеводів вимірювальної лінії рефлектометра його генератор повинен бути вимкнений.

#### 6.4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

6.4.1. При виникненні несправностей обладнання, інструменту, травмуванні працівник зобов'язаний, залежно від конкретного випадку, припинити виконані роботи, повідомити керівника про несправності, викликати АПГ, вжити заходів до їх усунення.

6.4.2. У разі нещасного випадку з товаришем по роботі працівник повинен уміти надати йому першу (довлікарську) допомогу, викликати при необхідності лікаря.

6.4.3. При отриманні травми – повідомити керівництво, звернутися до лікаря.

6.5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

6.5.1. Привести в порядок робоче місце, перевірити наявність та відповідність інструменту, матеріалів, ключів від приміщень, засобів захисту, оперативної документації та інструкцій.

6.5.2. Зробити здачу чергування приймаючої зміни, для чого:

- повідомити приймаючу зміну про обладнання, за яким необхідно вести ретельне спостереження для попередження аварії або неполадок, та обладнання,

- що знаходиться в ремонті або резерві;

- ознайомити з усіма записами та розпорядженнями, зробленими за чергування;

- оформити здачу зміни записом у журналі, відомості, а також на оперативній схемі підписами особи, яка приймає зміну, та особи, яка її здає;

- доповісти старшому за зміною про здачу зміни.

6.5.3. Приймання та здавання зміни під час ліквідації аварії, виробництва перемикачів або операцій з увімкнення та відключення обладнання забороняється. За тривалого часу ліквідації аварії здавання зміни здійснюється з дозволу адміністрації [21].

## **Висновки.**

Згідно з глобальною моделлю розвитку людства (моделі «Римського клубу») ключовими проблемами на поточне століття будуть: енергія, екологія та їжа. Якщо в даний час гостроактуальними вважаються питання забезпечення енергією, то наступним етапом стануть завдання ефективного використання сировинних ресурсів. Безвідходні технології зможуть вирішувати проблеми екологічної безпеки виробництва, а в АПК - резервних джерел їжі. Однак вирішення цих проблем пов'язане з необхідністю революційних перетворень у харчовій та переробній галузях. Потрібний перехід до принципово нових технологічних прийомів. Виробництво неенергоємних харчових продуктів підвищеної харчової цінності, створення асортименту нових зразків, глибока переробка харчової сировини вимагають використання сучасних прийомів у технологіях. Магістральним шляхом розвитку харчових технологій мають стати нанотехнології.

Харчові нанотехнології є порівняно молодим науковим напрямом, вся історія якого менше одного десятиліття. З позицій сьогодення у роботі розглядаються нові підходи у завданнях переробки кавового шламу – активного забруднювача довкілля. Пропонуються нові технології, які можна вважати серйозним кроком у застосуванні нанотехнологій в АПК. Розвивається новий науковий напрямок у ПНТ – наноенерготехнології, який був сформульований в ОНТУ на кафедрі процесів, апаратів та енергетичного менеджменту. Всі розглянуті в роботі процеси переробки шламу ґрунтуються на адресній доставці енергії до мікро- та наномасштабних елементів кавового шламу. Доведено інноваційну привабливість пропозицій, їх безумовні перспективи. Важливо, що ці проекти можуть запроваджуватися вже сьогодні. Науково-технічна привабливість наноенерготехнологій при утилізації кавового шламу полягає в наступному:

- об'єктом технологій є відходи виробництва розчинної кави, які є агресивним забруднювачем довкілля, та містять комплекс корисних компонентів, що мають комерційну цінність;

- Мета технологій впливати на наномасштабні об'єкти кавової сировини (оболонки клітин, нанопори та нанокапіляри), для реалізації технологічних завдань при переробці кавового шламу;

- в основі наноенерготехнологій – взаємодія електромагнітної енергії, її адресна доставка та вибіркоче поглинання енергії полярними молекулами у наномасштабних елементах сировини;

- обладнання для реалізації запропонованих наноенерготехнологій не потребує складних маніпуляторів; апарати для реалізації наноенерготехнологій виконуються на базі традиційних конструктивних підходів, відмінності полягають в оснащенні апаратів спеціальними системами формування в їх обсязі керованих полів (електричних, електромагнітних, температурних, концентраційних) для самоорганізації необхідних процесів перенесення наномасштабних елементах кавового шламу. Устаткування вже сьогодні може збиратися із освоєних у військових завданнях електромагнітних генераторів, силової електроніки та елементів апаратів харчових виробництв.

Інноваційна привабливість наноенерготехнологій переробки шламу полягає в тому, що адресна доставка електромагнітної енергії до наномасштабних елементів кавового шламу вирішує три найважливіші завдання – суттєве підвищення ефективності використання енергії у технології, значне зниження рівня термічної дії на сировину та можливість виробництва нових продуктів. З відходів виробництва забезпечується відчутний прибуток за рахунок одержання:

- Додаткового вилучення розчинних водою екстрактивних речовин, що підвищує вихід в екстракт на 10 ... 12%;

- дорогої та якісної олії кави (рафінованої та кофеолію), попит на яку на ринку підвищується;

- паливних елементів – пелет, енергії яких достатньо задоволення в енергії всього підприємства.

Таким чином, з екологічно проблемних відходів підприємством може бути отриманий відчутний прибуток.

## Список літератури.

1. Бурдо О.Г., Трішин Ф.А., Яровий І.І. Енергетичний моніторинг харчових і переробних виробництв. – Одеса: Маджента, 2020 – 246с.
2. Енергетичний менеджмент і аудит. 1 частина: Підручник / [М.Г.Хмельнюк, О.Ю. Яковлева, О.В. Остапенко] Під аг. Ред.. М.Г.Хмельнюк.- Херсон: ФОП Грінь Д.С. 2016.- 224с.
3. Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладне моделювання процесів перенесення у технологічних системах. Одеса, 2008. – 348 с.
4. Бурдо О.Г. Харчові наноенерготехнології – Херсон, 2013 – 294 с.
5. Бурдо О.Г. Еволюція сушильних установок – Одеса: Поліграф, 2010 – 368 с.
6. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Екстрагування в системі «кава-вода», 2007. – 176 с.
7. Бурдо О.Г., Рыбина О.Б. Процеси інактивації мікроорганізмів у мікрохвильовому полі: Поліграф, 2010 – 200 с.
8. Бурдо О.Г., Милинчук С.И., Мордынский В.П., Харенко Д.А. Техніка блочного виморожування – Одеса: Поліграф, 2011 – 294 с.
9. Процеси переробки кавового шламу / О. Г. Бурдо, С.Г. Терзиев, Н.В. Ружицкая, Т.Л. Макиевская. – Київ: ЭстерПринт, 2014.- 228с.
10. Бурдо О. Г. и др. Технології селективного підведення енергії при випаровуванні харчових розчинів // Проблеми регіональної енергетики. – 2017. – №. 1. – С. 100-109.
11. Бурдо О.Г., Бандура В.Н., Левтринская Ю.О. Електротехнології адресної доставки енергії під час обробки харчової сировини // Електронна обробка матеріалів. 2017. №53(3). С. 64-72.
12. Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes / Oleg Burdo, Valentyna Bandura, Aleksandr Zykov, Igor Zozulyak, Julia Levtrinskaya, Elena Marenchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. 4/11(88). P. 34-42.

13. Using of the wave technologies in intensification processes of heat and mass transfer / Burdo, O., Bandura, V., Zykov, A., Zozulyak, I., Levtrinskaya, J., Marenchenko, E. // EUREKA: Physics and Engineering. – 2017. 4, P. 18–24.

14. Burdo O.G. Heat and mass transfer in micro- and nanoscale structures in target energy delivery conditions / O.G. Burdo, S.G. Terziev, V.N. Bandura, N.V. Ruzhitskaya // IX Minsk international seminar “Heat pipes, heat pumps, refrigerators, power sources”, – 2015 –Vol.2. – P. 206-214.

15. Мікрохвильова енергія, як фактор інтенсифікації тепломасопереносу та формування полідисперсного екстракту. / О.Г. Бурдо, И.В. Сиротюк, А. Юсеф, Ю.О. Левтринская // Проблеми регіональної енергетики. – 2018. – №. 1. – С. 58-71.

16. Burdo O., Povarova N., Melnyk L. Kinetics and Energy of Poultry Meat Dehydration in Vacuum and Microwave Field Conditions // Food Science and Technology. 2019. № 4 (12). С. 117–127.

17. Лыков А.В. Тепломасообмін: довідник. М.: Энергия, 1978. – 479 с.

18. Уонг Х. Основні формули та дані з теплообміну для інженерів: Довідник./ Пер с англ.-М.: Атомиздат, 1979.- 216 с.

19. Федоткин И.М. Методи розрахунку реакторів харчової технології. – Київ.-1978.- 200 с.

20. Тепло- та масообмін. Теплотехнічний експеримент: Довідник Під ред. В.А. Григорьева и В.М.Зорина.- М.:1982.- 512 с.

21. Шенк Х. Теорія інженерного експерименту. -М.: 1972.-382 с.

22. Теорія та техніка теплофізичного експерименту. Під ред. В.К. Щукина.- М.: 1985.- 360 с.

23. Натурний експеримент. Під ред. Баклашова.- М.:1982.- 304 с.

24. Коздоба Л.А. Обчислювальна теплофізика.: Наук. думка, 1992.- 224 с.