

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./  
вчене звання, науковий ступінь                      підпис

доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./  
вчене звання, науковий ступінь                      підпис

”                      ”                      2025 р.  
число                      місяць                      рік

”                      ”                      2025 р.  
число                      місяць                      рік

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему: ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСТРАКЦІЇ  
ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ  
УЛЬТРАЗВУКУ**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код і назва)

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(назва)  
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

к.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Усенко С.М.  
(ПІБ)

**Керівник магістерської роботи**

д.т.н., проф.  
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Червінський Л.С.  
(ПІБ)

**Виконав**

(підпис)

Юхимчук Я.В.  
(ПІБ)

**КИЇВ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки  
та електротехнологій

К.Т.Н., доцент /ОКУШКО О.В./  
науковий ступінь, вчене звання підпис ПІБ  
„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.  
число місяць рік

**ЗАВДАННЯ**

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту  
**Юхимчуку Ярославу Віталійовичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: ***Підвищення ефективності технології екстракції олії з рослинної сировини на основі використання ультразвуку***

затверджена наказом ректора НУБіП України від “\_18\_”\_11\_2024 р. № 2061»С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_ 2025.24.10  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

- а) Результати науково-дослідницької роботи кафедри ЕЕЕ.
- б) Публікації співробітників кафедри ЕЕЕ.
- в) Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН тощо.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- а) **Аналітична частина.** Аналіз характеристик і стану науково-виробничої задачі технологічних процесів виробництва рослинної олії
- б) **Технологічна частина.** Обґрунтування і вибір технологічного обладнання .
- в) **Електротехнічна частина.** Дослідження процесу і обладнання для ультразвукової обробки рослинної сировини для екстракції олії
- г) Розробка питань режимів та енергоефективності процесу обробки.
- д) **Дослідницька частина.** Розроблення режимів керування роботою ультразвукової установки за видами сировини
- е) **Техніко економічне обґрунтування розробки.**

Перелік графічного матеріалу (за потреби) \_\_\_\_\_

Дата видачі завдання “\_15\_”\_квітня\_2025 р

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

Червінський Л.С.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

Юхимчук Я.В.  
(прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

**Підвищення ефективності технології екстракції олії з рослинної сировини на основі використання ультразвуку**

Магістерська кваліфікаційна робота: 60с., 12 табл., 12 рис., 29 джерело

**Актуальність.** З огляду збільшення техногенного навантаження на навколишнє середовище та загрозу вичерпності невідновлюваних природних ресурсів на сьогоднішній день виникла необхідність створення та впровадження в виробництво ресурсозаощадних енергоефективних та екологічно безпечних технологій.

**Мета дослідження.** Однією з проблем на вирішення якої направлені інноваційні методи і технології є максимальне вилучення корисних продуктів з сировини. Зокрема це стосується виробництва олій, які знаходять своє застосування не лише як необхідний продукт харчування, але і як сировина для створення біопалив. На основі проведеного аналізу літературних джерел встановлено, що для інтенсифікації процесу екстракції олії з рослинної сировини використовуються різноманітні фізичні фактори, але найбільш перспективним є ультразвук.

**Об'єкт дослідження:** вплив ультразвуку на процес екстракції олії із рослинної сировини різного походження.

**Предмет дослідження:** встановлення залежностей і коефіцієнтів, що характеризують протікання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку і розробка акустичного екстрактора.

Для промислового використання екстракції олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку необхідно встановити фактори, що впливають на інтенсифікацію процесу та максимальне вилучення цільових компонентів із сировини.

Експериментальні дослідження процесу екстрагування олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку проводились на експериментальній установці заглибним блоком ультразвукових випромінювачів УЗП-6-1 (Медпромприлад, Україна). Для вивчення впливу ультразвуку на процес екстракції олії проводились досліди з використанням ультразвукової

установки та без неї з подрібненим насінням льону та соєвим жмихом. Екстракція олії з насіння льону проводилась екстракційним бензином та метиленхлоридом, а для соєвого жмиху – метиленхлоридом.

В результаті дослідження кінетики екстракції олії з жмиху сої в умовах ультразвуку і без дії ультразвуку побудовані залежності частки вмісту олії у вилученій місцелі. Дані кінетичні залежності використані для визначення коефіцієнтів дифузії при протіканні процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку.

Проведений теоретичний аналіз технологічних особливостей процесу екстракції олії з рослинної сировини в ультразвуковому екстракторі. Розроблена математична модель процесу екстракції олії з рослинної сировини в акустичному екстракторі. На основі розв'язання математичної моделі встановлена тривалість процесу екстракції олії з рослинної сировини.

Запропоновано і розроблено конструкцію ультразвукової екстракційної установки та визначено її місце в виробничому процесі отримання рослинної олії

**Ключові слова:** ультразвукові коливання, екстрактор, рослинна олія, екстракція, генератор ультразвукових коливань.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	
1.1 Характеристика олійної сировини.....	12
1.2 Основні характеристики рослинних олій.....	14
1.3 Методи отримання рослинної олії.....	15
Висновки до розділу.....	20
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1 Розробка експериментальної установки.....	22
2.2 Дослідження використання ультразвуку для інтенсифікації процесів екстракції олії різних видів рослинної сировини.....	25
2.3 Дослідження впливу ультразвукового випромінювання на процес екстракції з різних видів рослинної сировини.....	26
Висновки до розділу.....	31
РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	
3.1 Математичне моделювання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без ультразвуку для встановлення кінетики процесу і визначення коефіцієнтів дифузії.....	32
3.2 Математична модель процесу екстракції олії в акустичному екстракторі.....	34
3.3 Дослідження технологічних особливостей процесів в акустичному екстракторі.....	35
3.4 Визначення коефіцієнту масопередачі.....	36
3.5 Визначення коефіцієнтів дифузії процесу екстракції з рослинної сировини в умовах ультразвуку.....	38

Висновки до розділу .....	7 43
<b>РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЕКСТРАКТОРА ОЛІЇ</b>	
4.1 Опис технологічного процесу .....	45
4.2 Призначення та область застосування екстрактора .....	48
4.3 Обґрунтування вибору конструкції екстрактора .....	48
Висновки до розділу .....	51
<b>РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ</b>	
5.1 Екологічні та пожежозахисні аспекти наведених технологічних рішень .....	54
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

БАР – біологічно активні речовини;

SFE – екстракція надкритичною рідиною;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}^2/\text{с}^2$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $\frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ ;

$G_k$  – масова витрати холодної води, кг;

$c$  – питома теплоємність,  $\frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$ ;

$P$  – тиск в апараті, Па;

$[\sigma]$  – допустиме напруження матеріалу, МПа;

$\rho_p$  – густина робочого середовища,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$V_p$  – об'єм робочого середовища,

$\text{м}^3$ ;  $\rho_v$  – густина води,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\lambda_p$  – теплопровідність розчину,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;

$c_p$  – теплоємність розчину,

$\frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{°C})}$ ;  $V_c$  – об'єм розчину,  $\text{м}^3$ ;

$V$  – об'єм апарату,  $\text{м}^3$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення

апарату;  $D$  – внутрішній діаметр

апарату, мм;  $f_p$  – площа поверхні

теплообміну,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – час роботи

апарату, год;

$t_v$  – температура води,  $\text{°C}$ ;

$\delta_l$  – товщина стінки, мм;

$\lambda_{ст}$  – коефіцієнт теплопровідності стінки,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ ;

$t_{екс}$  – час екстрагування, хв;

$m_c$  – маса сировини, г;

$m_{мхп}$  – початкова кількість екстрагенту, г

$K_m D_c C_p$  – рівноважна концентрація олії в екстрагенті;

$k$  – коефіцієнт, що характеризує перенос маси речовини;

$A$  – число вимивання;

$C_{твн}$  – концентрація олії в твердих частинках сировини;

$C_{екн}$  – концентрація олії в екстрагенті відповідно;

$D_{мд}$  – коефіцієнт молекулярної дифузії;

$D_{вн}$  – коефіцієнт масопровідності або внутрішньої дифузії;

– ко

$\beta$  – коефіцієнт конвективної дифузії;

## ВСТУП

Останнім часом набули поширення дослідження нових методів вилучення олії з сировини, таких як ультразвукова екстракція, мікрохвильова екстракція і екстракція надкритичною рідиною. Наведені в літературі результати дослідження ультразвукової екстракції засвідчили, що цей процес забезпечує більш високу селективність, має меншу тривалість, зменшує енергозатрати і шкідливі викиди в навколишнє середовище. А також проводиться в обладнанні, конструкція якого набагато простіша ніж обладнання для пресування. Крім того, ультразвукова екстракція дозволяє отримати олію більш високої якості, ніж проста екстракція. Цей метод вважається екологічно чистим, оскільки більша частина розчинника, що використовується для екстракції, може бути відновлена.

В промислових умовах процес екстракції проводять в змішуючих, колонних (роторно-дискових, насадкових, тарілчастих, пульсаційних), доцентрових екстракторах.

Для інтенсифікації процесу екстракції запропоновані різноманітні конструкції, такі як віброекстрактори, екстрактори що працюють в умовах кавітації, екстрактори що працюють в умовах дії ультразвуку з комбінованим використанням енергії, захищенні охоронними документами. Разом з тим відсутні дані щодо наявності проектної документації на виготовлення цих конструкцій.

Разом з тим в літературі практично відсутні дані, що дозволяють встановити і порівняти кількісні характеристики виходу олії в процесах екстракції без використання та з використанням ультразвуку для різних розчинників і видів сировини.

Розроблення екстракційного обладнання, що працює в умовах ультразвуку вимагає встановлення кількісних кінетичних характеристик і коефіцієнтів дифузії процесу екстракції олії з рослинної сировини з використанням ультразвуку з різних розчинників і видів сировини. Отже встановлення кінетичних залежностей і коефіцієнтів дифузії протікання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку і розробка акустичного екстрактора є актуальним.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Загальна технологічна схема переробки олійної сировини складається із сукупності послідовних технологічних операцій, які по різному впливають на олійну сировину, що переробляється, тому для спрощення технологічних операцій створено раціональну технологічну схему з оптимальними режимами переробки насіння, яка забезпечує отримання олій і шротів високої харчової і кормової якості. Загальна технологічна схема переробки олійної сировини складається із сукупності послідовних технологічних операцій, які по різному впливають на олійну сировину, що переробляється. Із сукупності підготовчих і основних технологічних операцій створено раціональну технологічну схему з оптимальними режимами переробки насіння, яка забезпечує отримання олій і шротів високої харчової і кормової якості. Сучасні комплекси по переробці олійних культур це складні високотехнологічні заводи безперебійного пресування для переробки олійного насіння, які містять плющильні та рифельні вальцові станки для розмелу насіння, кондиціонери для нагрівання та сушіння, шнекові преси для механічного відділення олії та ін.

Рослинні олії, отримані з насіння олійних культур, використовують в харчовій, хімічній промисловості, при виробництві фармацевтичних продуктів, для виробництва миючих засобів для побутових цілей, миття технологічного обладнання та ін.

Вони використовуються в якості мастильних матеріалів, для виробництва лакофарбових матеріалів, оліфи, лінолеуму, непромокальних тканин в текстильній промисловості, в металообробній промисловості, в ливарному виробництві. Останнім часом широке поширення набули технології переробки рослинних олій в біопаливо, що за своїми характеристиками близьке до традиційного дизельного пального.

Виробництво рослинної олії включає очищення насіння, їх подрібнення, пресування і екстракцію олії з них. Екстракцією називається вилучення одного або декількох компонентів з твердої речовини з використанням розчинників, які

мають селективну здатність розчиняти тільки ті цільові компоненти, які повинні бути виділені. Рушійною силою цього процесу є різниця концентрацій екстрагованої речовини в рідині, яка заповнює пори твердих частинок в основному об'ємі екстрагенту. Механізм екстракції передбачає проникнення екстрагента в пори твердого матеріалу, розчинення цільових компонентів, перенесення вилучених речовин з глибини твердих частинок до межі розділу за допомогою молекулярної дифузії, а також перенесення речовини від поверхні поділу фаз до екстрагенту шляхом конвективної дифузії. Швидкість екстракції визначається рушійною силою процесу і дифузним опором.

При екстракції олії з рослинної сировини в якості розчинників використовуються гексан, метиленхлорид, екстракційний бензин та інші.

Екстракція розчинником дозволяє біль повне, у порівнянні з іншими методами, вилучення олії, залишаючи в сировині лише від 5% до 2%.

### **1.1 Споживчі та фізичні характеристики олійної сировини**

До групи олійних відносять рослини, насіння і плоди яких містять багато жиру (від 20% до 60%) і є основною сировиною для виробництва рослинної олії.

Основними способами підготовки олійної сировини до тривалого зберігання є очищення від сміття і сушіння насіння до вологості, безпечної для зберігання. Щойно зібране олійне насіння, особливо високо олійних сортів, відрізняються підвищеною нестійкістю при зберіганні, тому вимагають негайної обробки перед закладкою на зберігання. При цьому, чим рівномірніше висушене насіння, тим більш тривалий час воно може зберігатися не піддаючись самозігріванню і псуванню, тим ефективніше буде виконання низки подальших підготовчих процесів і процесів, безпосередньо пов'язаних з отриманням якісної олії. Зниження витрат на сушіння насіння соняшнику, ріпаку та сої як найенергоємніший процес при його виробництві, поряд з підвищенням інтенсивності вологовіддачі розглядається як найважливіше завдання при розробці нових технологій сушіння і конструкцій сушарок, а також при вдосконаленні тих, що існують. Будь-яка модернізація сушарки може бути визнана досить ефективною, якщо досягнуте скорочення питомих

енерговитрат (при обов'язковому збереженні якості продукту). Швидке підвищення температури матеріалу після критичної точки при безперервному ІЧ сушінні викликає погіршення властивостей термолабільних матеріалів, а значний температурний градієнт, спрямований протилежно градієнту вологовмісту, уповільнює внутрішній масоперенос. Це обумовлює необхідність використання переривчастого опромінення (імпульсний режим), що поєднує чергування стадій ІЧ-нагріву і відлежування матеріалу. Однією із основних проблем в існуючих технологіях переробки олійних культур є завищена залишкова лушпинність насіння після його обрешування. Так на олійно-екстракційних заводах залишкова лушпинність знаходиться в середньому на рівні 14...15% (на окремих підприємствах до 20...30%) замість рекомендованих 5...8%. Не набагато нижча залишкова лушпинність і на підприємствах, що виробляють ядро для кондитерських цілей або для споживання в натуральному вигляді, в той час як за нормативами для таких технологій вона не допускається взагалі. Такий стан справ призводить до втрат сировини та погіршення якості кінцевого продукту. Адже, наприклад, при збільшенні залишкової лушпинності на 1%, продуктивність обладнання олійноекстракційного заводу зменшується в середньому на 3%. У зв'язку з цим на підприємствах по переробці насіння соняшнику все частіше впроваджуються нові способи підготовки насіння до обрешування.

З огляду цих способів видно, що перевага надається тепловому кондиціюванню насіння по вологості, так як ефективність руйнування і відокремлення оболонки здебільшого залежить саме від вологості. Одним із способів такого кондиціювання пропонується нетривала (1...4хв) тепла обробка насіння в полі інфрачервоного (ІЧ) випромінювання. Але даний вид обробки мало вивчений по відношенню до олієвмісної сировини, і зокрема з огляду на зміни його технологічних, фізичних та біохімічних характеристик.

Перспективними на сьогоднішній день є мікрохвильові системи, які володіють якісно новим впливом на біохімічні та біологічні властивості рослинної сировини.

Мікрохвильові технології застосовуються як при сушінні насіння олієвмісних культур так і під час екстрагування. Екстрагування олійної

сировини є способом безвідходної технології з високим ступенем вилучення олії до 99%. Екстрагування є досить складним і трудомістким процесом і постійно потребує вдосконалення. Мікрохвильові процеси в переробці олійних культур також вивчені замало.

Насіння олійних культур призначені для виробництва рослинних олій, але є ще побічні продукти лушпиння, жмих – залишки після віджиму з олійного насіння пресуванням, що містять 8-10% залишкового жиру і 30-35% білкових речовин; відходи після екстракція олії з насіння за допомогою розчинників, що містять до 3% жиру і від 20% до 50% білкових речовин – це цінний концентрований білковий корм для сільськогосподарських тварин.

## 1.2 Основні характеристики рослинних олій

Серед найбільш споживаних рослинних олій у нас в Україні є соняшникова олія – основна харчова олія нашої країни, на частку якого припадає приблизно три чверті всього виробництва рослинних олій. Вона має такі характеристики колір золотисто-жовтий, запах специфічний, приємний. У суміші з іншими оліями може використовуватися для приготування оліфи, фарб та інше.

Льняну олію отримують з основних сортів льону олійного льону і льону-довгунця. Олія льону характеризується меншим вмістом ненасичених кислот, що знижує його технічну цінність. Але свіжу та рафіновану олію можна вживати в їжу. Олія швидко висихає, тому широко застосовується для виготовлення оліфи, масляних лаків, лінолеуму і клейонки.

Конопляна олія висихає трохи довше, ніж льняне. Свіжа олія, призначена для харчових цілей, має приємний запах і смак. Конопляна олія використовують для приготування оліфи, а також для виготовлення зеленого медичного мила.

Останнім часом велику увагу приділяють касторову олію отримують з насіння рицину. Вона блідо-жовтого кольору. Касторова олія відрізняється високим вмістом рицинолевої кислоти (80-90%), яка являє собою ненасичений оксикислотами з одним подвійним зв'язком.

Внаслідок цього касторова олія в порівнянні з іншими оліями має велику щільність і більш високу в'язкість. Характерною особливістю цієї олії є її легка розчинність в етиловому спирті. Макуха рицину містить отруйний алкалоїд рицинин; після пропарювання макухи цей алкалоїд втрачає свої отруйні властивості.

### 1.3 Методи отримання рослинної олії

В даний час в усьому світі широко використовуються чотири основні методи отримання рослинної олії: хімічна екстракція, екстракція з використанням надкритичної рідини, парова дистиляція і механічна екстракція.



Рис. 1.1. Основні методи отримання олії

#### Механічний метод

Найбільш поширений і самий старіший у застосуванні метод вилучення харчової олії з олійної сировини, який практикується протягом тисячоліть – це механічне пресування насіння олійних культур. За допомогою пресування олія відділяється від сировини (мезги, жмиху) під дією зовнішніх сил, які виникають в пресах. Цей метод забезпечує вилучення незабрудненого, багатого білками знежиреного при відносно низькій вартості. Недоліком цього методу є те, що механічні преси не мають високої ефективності вижимання, близько 8-

14% доступної олії залишається в макусі. Більш ефективним є віджимання в гідравлічних пресах, які приводяться в дію тиском рідини, або в гвинтових пресах, де зусилля пресування створюється спіральним тілом (черв'яком), яке обертається в замкнутому просторі (камері пресування). При типовому гідравлічному пресуванні насіння можна виділити три основні стадії.

На (рис.1.2) схематично представлений гідравлічний прес. Насіння поміщають на сітчасту пластину, покриту дрібною сіткою, в камері з контрольованою температурою ( $30-100 \pm 1$  °C) діаметром 30 мм. Тиск до 100 МПа створюється гідравлічним поршнем. Прес оснащений термопарою ( $\pm 1$ °C), датчиком тиску і датчиком положення ( $\pm 0,01$  мм), який вимірює відстань, пройдену поршнем. Вимірні значення автоматично записуються кожну секунду.

Механічний шнековий прес (рис. 1.3) складається з вертикального живильника і горизонтального шнека зі зростаючим діаметром корпусу для прикладення тиску на насіння олійних культур в міру просування по довжині преса. Барабан, який окружає шнек, має прорізи по всій довжині, що дозволяє збільшити внутрішній тиск спочатку витісняючи повітря, а потім зливаючи олію через бочку. Олія збирається в жолобі під шнеком, а очищений від масла шрот скидається з кінця гвинта. Основною перевагою гвинтового преса є те, що великі кількості олійних культур можуть бути оброблені з мінімальними витратами праці, і це дозволяє безперервне отримання олії.

Грубо подрібнену цільну сою з вологістю 10-14% піддавали екструзійній обробці протягом менш ніж 30 секунд при температурі 135 °C, а потім відразу ж пресували в безперервному гвинтовому пресі. Екструзія перед виштовхуванням значно збільшувала пропускну здатність виштовхувача в порівнянні з номінальною ємністю, витіснена олія була стабільною, і отримана макуха складалась на 50% з білка і на 6% з залишкової олії.

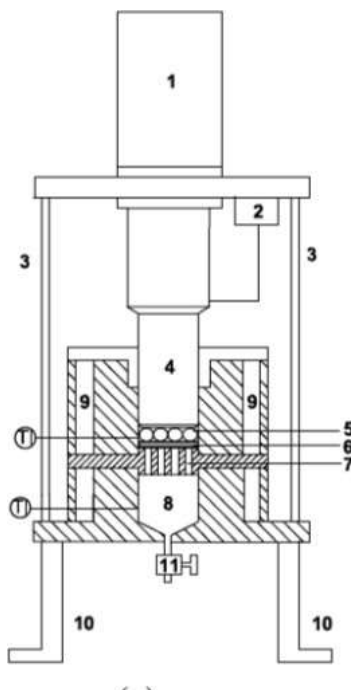


Рис. 1.2. Гідравлічний прес:

1 – гідроагрегат (прес); 2 – датчик переміщення; 3 – штатив; 4 – пуансон; 5 – сировина; 6 – середній фільтр; 7 – сито; 8 – камера накопичення; 9 – барабан; 10 – опори; 11 – клапан; ТТ – термopара.



Рис. 1.3. Схема технології Extrusion-Expelling

Найбільш ефективний метод вилучення олії з олійних культур є екстракція хімічними методами. Залишкова олія в шроті буде менше 1% після промислової екстракції розчинником. Однак існують деякі обмеження і недоліки, пов'язані з вилученням олії з розчинників: хімічні розчинники шкідливі для здоров'я людини, хімічні речовини легко спалахують, висока пожежна і вибухова небезпека, високі початкові капітальні та експлуатаційні витрати та висока енергоємність при нижчій якості олії, ніж при пресуванні. На (рис.1.4) показана схема методу екстракції розчинником.



Рис. 1.4. Схема методу екстракції розчинником

Одним з найбільш перспективних методів інтенсифікації процесів екстракції є ультразвук. Ультразвук – пружні коливання і хвилі, частота яких перевищує 15 - 20 кГц. Розповсюдження звукових хвиль в середовищі апарату відбувається шляхом періодичного розрідження і стиснення середовища з частотою, що відповідає частоті коливань звукової хвилі і амплітудою з розрідження, що дорівнює амплітуді стиснення. При роботі ультразвукового генератора виникають ефекти перемішування і нагрівання середовища, а також виникнення пульсації, схлопування та ансамблю кавітаційних бульбашок.

У газах і рідинах поширюються тільки поздовжні хвилі, а в твердих тілах - поздовжні і зсувні. Поширення ультразвуку підкоряється основним законам, загальними для акустичних хвиль будь-якого діапазону частот.

Застосування ультразвуку при екстракції.

Ультразвук – це м'яка, нетермічна технологія обробки їжі, яка дозволяє вивільнити олію та активні сполуки (наприклад, антиоксиданти, феноли, вітаміни) з оливкової пасти. Безперервний вбудований процес, коли оливкова

паста проходить зону ультразвукової кавітації, дозволяє проводити дуже рівномірну обробку. Ультразвукова обробка також дуже корисна для температури процесу: ультразвукова обробка забезпечує миттєве нагрівання та значно скорочує час попереднього нагрівання оливкової пасту, після чого температуру процесу можна легко підтримувати при оптимальній температурі процесу (наприклад, 28-30°C).

Екстракція з використанням обробки ультразвуком має свої позитивні особливості. Особливості ультразвукової екстракції полягають в тому, що ця обробка забезпечує можливість безперервної роботи і підходить для масового екстрагування олії з різних видів рослин; при цьому скорочується час екстрагування; процес може проходити при низькій температурі, що дуже важливо для екстрагування термочутливих і легко випарних фіармацевтичних інгредієнтів. На відміну від електромагнітних хвиль, звукові хвилі розповсюджуються будь де, ультразвукова енергія пов'язані з циклами стиснення і розширення під час переміщення в середовищі. Крім того, при ультразвуковій екстракції можна використовувати будь-який розчинник.

Вібраційно-акустичний екстрактор (рис 1.5) містить шток, з закріпленими на ньому корзинами, в яких розміщується сировина та генератор ультразвукових коливань. Вібраційно-акустичний екстрактор працює наступним чином.

Завантаження корзин 5 сировиною здійснюють поза межами вібраційно-акустичного екстрактора та фіксують в робочому положенні. Закріплюють кришку 3 до корпусу 1 апарата. В апарат подають екстрагент. Вмикають генератор ультразвукових коливань 12. При зворотно-поступальному русі штоку 4, з закріпленими на ньому корзинами 5 з твердими частинками речовини, екстрагент проходить через сітчасті днища в корзинах 5, омиває розміщені в корзинах 5 тверді частинки сировини. Зміна напрямку руху штоку 4 призводить до руйнування примежового шару екстрагенту біля поверхні твердої частинки, інтенсифікуючи процес масовіддачі.

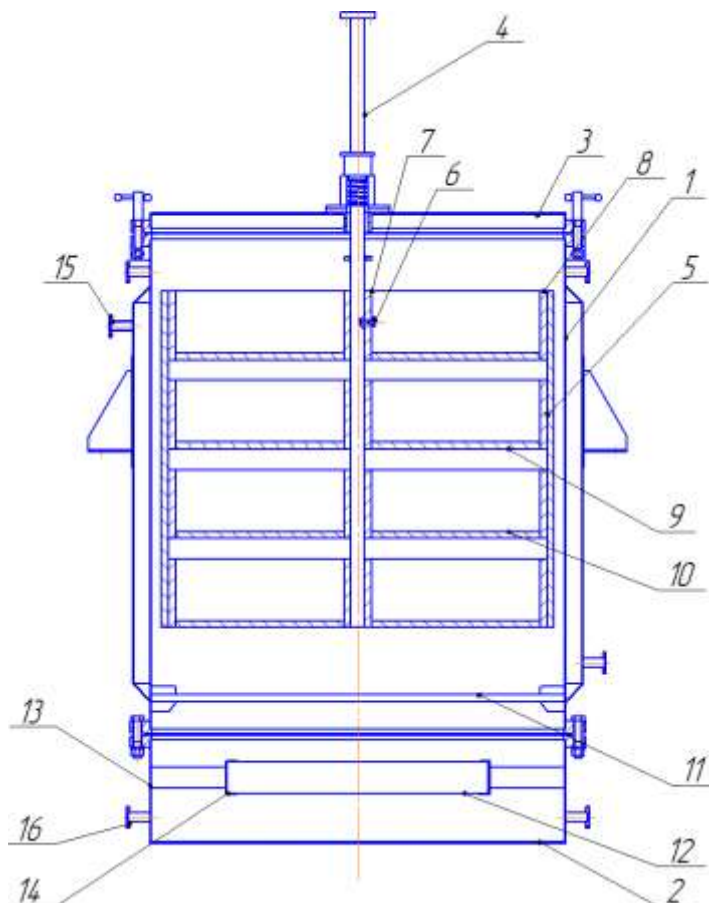


Рис. 1.5. Вібраційно-акустичний екстрактор:

- 1 – корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – шток; 5 – корзини; 6 – гвинт;  
 7 – внутрішня втулка; 8 – зовнішнє кільце; 9 – планки; 10 – металева сітка; 11 – плоска  
 металева сітка; 12 – генератор ультразвукових коливань; 13 – направляючі; 14 – ребра; 15 –  
 штуцер для введення екстрагенту;  
 16 – штуцер для виведення екстракту

Для промислового використання екстракції олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку необхідно встановити фактори, що впливають на інтенсифікацію процесу та максимальне вилучення цільових компонентів із сировини. Одним з методів для визначення параметрів процесу екстракції є експериментальне дослідження кінетики екстрагування. Визначення кінетичних закономірностей процесу екстрагування дають змогу провести технологічні розрахунки процесу і обладнання. Дослідження кінетики процесу екстракції в умовах ультразвуку дозволить розширити знання про механізми масообміну, які відбуваються в рослинній сировині.

### Висновки до розділу

1. Екстракція олії забезпечує максимальне продукування рослинної сировини в порівнянні з іншими методами..
2. Метою інтенсифікації процесу екстрагування олії із рослинної сировини є досягнення максимального виходу олії з твердої фази і отримання

концентрованої місцели за умови скорочення тривалості процесу, мінімальних енерговитрат і низької металоємності обладнання.

3. Для інтенсифікації процесу екстракції олії з рослинної сировини використовуються різноманітні фізичні фактори, але найбільш перспективним є ультразвук. Ультразвукові коливання інтенсифікують процес проникнення екстрагенту в пори твердих частинок, ультразвукова кавітація руйнує поверхню частинок, відкриває нові пори, сприяє транспортуванню екстрагента в капілярах твердих частинок, покращуючи процес переносу маси в твердих частинках і збільшуючи вихід цільового продукту.

4. Створення нових і вдосконалення існуючих конструкцій обладнання для екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвуку уповільнюється відсутністю кількісних характеристик процесу екстракції олії з рослинної сировини, зокрема коефіцієнтів, що характеризують процеси масопереносу в клітинному та міжклітинному просторі.

## РОЗДІЛ 2

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ

#### 2.1 Розроблення експериментальної установки

Головними факторами, що визначають інтенсивність масовіддачі при ультразвуковій обробці, є: розмір частинок ( $d$ ), густина потоку ( $\rho$ ), в'язкість потоку ( $\mu$ ), коефіцієнт дифузії ( $D$ ), потужність мікрохвильового інтенсифікатора ( $W$ ), витрати продукту ( $G_{пр}$ ) та розчинника ( $G_{роз}$ ), теплота пароутворення ( $r$ ), різниця концентрацій ( $\Delta C$ ), гравітаційна стала ( $g$ ).

Принцип дії експериментального стенду мікрохвильової обробки наступний: у ємності з продуктом проходить процес екстрагування під дією мікрохвильового поля в камері. Пари екстрагента потрапляють в зворотній холодильник, конденсуються і стікають у реакційну ємність, де температура збільшується до температури кипіння. На другому етапі визначався вплив основних режимних факторів на кінетичні залежності процесу екстрагування при використанні МХТ. Вплив гідромодуля. При збільшенні гідромодуля зростає рушійна сила екстрагування, але одночасно ускладнюється подальше виділення цільового компонента. Порівняння проводились при рівних значеннях питомої потужності МХП ( $N$ ), при різних температурах ( $t$ ) процесу. Заглибний блок з ультразвуковими випромінювачами з'єднується з виносним ультразвуковим генератором. Заглибний блок виконаний з нержавіючої сталі, який може розташовуватися на дні і/або на бічних стінках апарату. Всередині заглибний блоку розміщуються ультразвукові випромінювачі.

Блок генераторів поміщається в окремий корпус, який з'єднується з випромінювачами окремим кабелем довжиною до 3-5 м і може бути встановлений в окремому приміщенні. Живлення на випромінювачі подається окремим кабелем, який підключений до блоку генератора. Органи управління, індикації та контролю розміщуються на передній стінці блоку генератора.

У якості експериментальної установки використовувався заглибний блок ультразвукових випромінювачів УЗП-6-1 (Медпромприлад, Україна) (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Ультразвуковий випромінювач УЗП-6-1

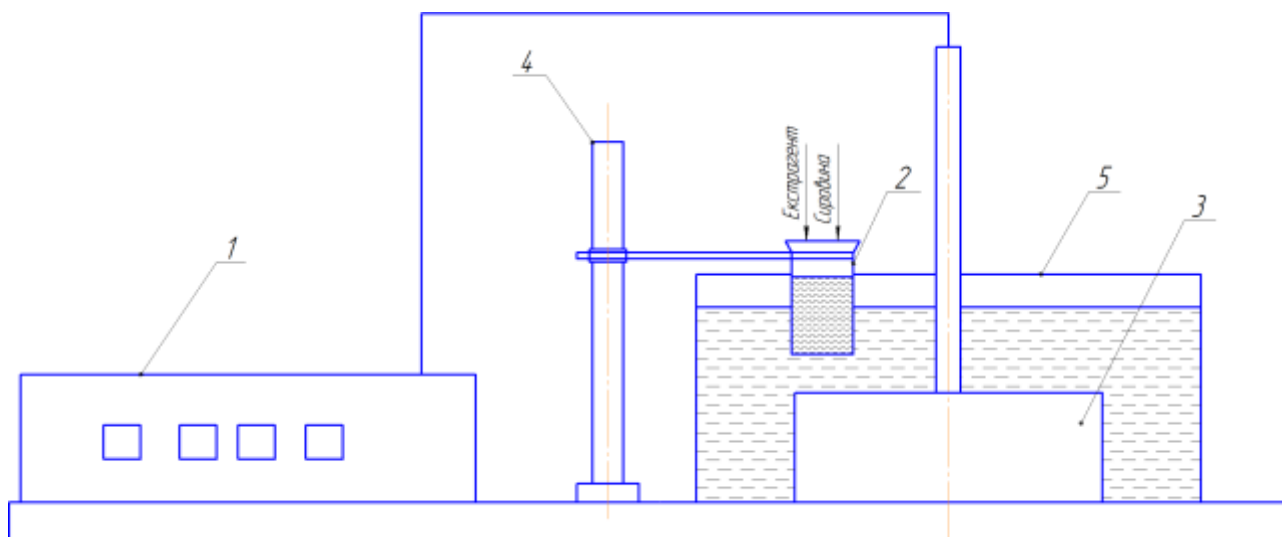


Рис. 2.2. Схема установки:

1 – панель керування; 2 – хімічний стакан з сировиною і екстрагентом; 3 – ультразвуковий випромінювач; 4 – штатив; 5 – ємність

Технічна характеристика УЗП-6-1 наведена в (табл. 2.1).

Табл. 2.1

### Технічна характеристика УЗП-6-1

№ з/п	Характеристика	Значення
1	Напруга живлення, В	220±10%, 50 Гц
2	Потужність генератора, Вт	300
3	Частота ультразвукового випромінювання, кГц	36
4	Кількість випромінювачів, шт.	6
5	Період роботи, хв	1–30
6	Габаритні розміри заглибного блоку, мм	200x210x100
7	Габарити генератора, мм	200x180x75
8	Маса, кг	3
9	Матеріал корпусу	неіржавіюча сталь

На передній панелі ультразвукового генератора розташовані органи управління:

- Тумблер включення живлення «МЕРЕЖА».
- Ручка встановлення часу «ТАЙМЕР».
- Індикатор таймеру.
- Кнопка «ПУСК/СТОП».

Порядок роботи з ультразвуковим генератором [51]:

1. Заглибний блок розміщується на дні ємності та заливається рідиною (водою) до рівня 150-300 мм вище блока.
2. Генератор вмикається в мережу живлення.
3. За допомогою ввімкнення тумблера «МЕРЕЖА» подається напруга живлення на генератор. Індикатор загорається червоним кольором.
4. Поворотом ручки «ТАЙМЕР» встановлюється час роботи генератора.
5. Кнопкою «ПУСК/СТОП» вмикається ультразвукове випромінювання. Індикатор змінює колір на зелений.
6. Після закінчення часу таймера ультразвуковий генератор вимикається автоматично.
7. Після закінчення роботи з приладом вимикається живлення «МЕРЕЖА».

## 2.2 Дослідження використання ультразвуку для інтенсифікації процесів екстракції олії різних видів рослинної сировини

Для вивчення впливу ультразвуку на процес екстракції олії проводились досліди з використанням ультразвукової установки та без неї з подрібненим насінням льону та соєвим жмихом. Екстракція олії з насіння льону проводилась екстракційним бензином та метиленхлоридом, а для соєвого жмиху – метиленхлоридом.

Експериментальні дослідження проводили в апараті з мішалкою, за температури 30°C як екстрагент використовували хлористий метилен ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ). Методика експериментів полягала в наступному: до колби 1, яку нагрівали в термостаті 6, засипали наважку насіння рижю посівного масою 75 г ( $d_{\text{зерна}}=0,7$  мм) і заливали 500 мл розчинника (рис. 2.3). Через певні проміжки часу відбирали проби для аналізу, які фільтрували, відганяли розчинник, а залишок упарювали на водоструминному насосі. Вміст олії визначали гравіметричним методом за різницею наважок порожнього бюкса та бюкса з олією. Після кожного відбору проб в колбу апарату з мішалкою добавляли відповідну кількість розчинника для збереження балансу розчинника. Аналогічно проводили дослідження з вилучення олії з насіння ріпаку.

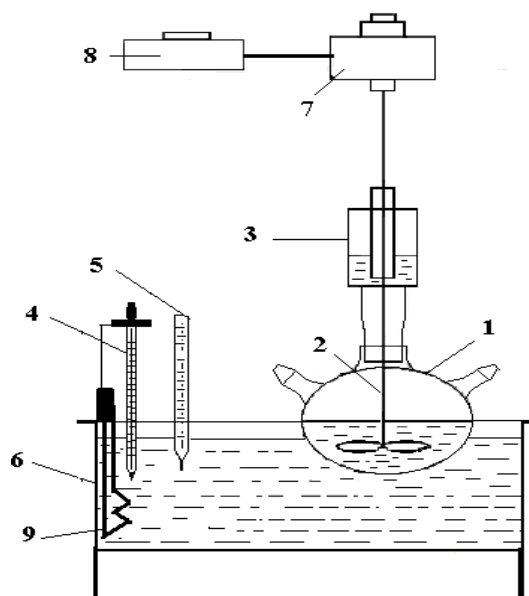


Рис. 2.3

### 2.3 Дослідження впливу ультразвукового випромінювання на процес екстракції з різних видів рослинної сировини

Для дослідження використовувались два види рослинної сировини – насіння льону та відпрацьована соя (сировина після екстракції олії пресуванням). В якості розчинника використовувався метиленхлорид. Для інтенсифікації процесу використовувалось ультразвукове випромінювання.

Як бачимо з рис. 3, існує прямолінійна залежність, що підтверджує внутрішньодифузійний механізм процесу екстрагування.

Коефіцієнти дифузії, визначені таким способом, становлять для рижію  $D$  непомібно 2, 3, 10,13 м<sup>2</sup>/с;

Що стосується процесу екстрагування олії з подрібненого насіння, то цей процес проходить при значно вищих швидкостях, що зумовлено значно більшою поверхнею фазового контакту і впливом гідродинамічного стану на процес екстрагування. Вплив вказаних факторів відображено на (рис.2 4)., де залежності 2 і 3 підтверджують вплив цих факторів на швидкість процесу екстрагування порівняно із залежністю 1.

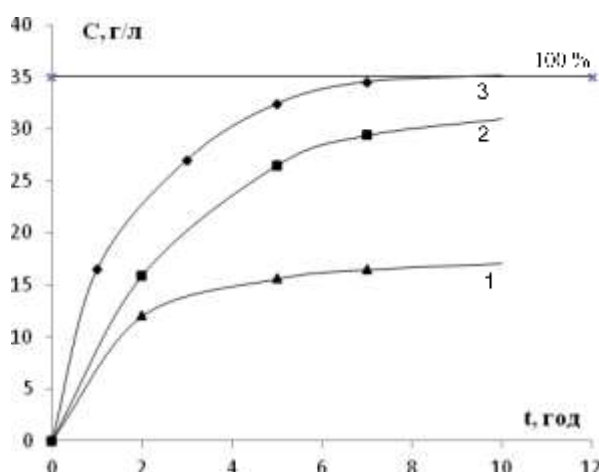


Рис. 2.4. Залежність концентрації олії від часу в процесі:

- 1 – екстрагування олії з неподрібненого насіння рижію;  $d_{\text{сер}}=0,5$  мм; 2 – екстрагування олії з подрібненого насіння рижію;  $d_{\text{сер}}=0,35$  мм; 3 – екстрагування олії з подрібненого насіння рижію,  $d_{\text{сер}}=0,25$  мм

Отже, підвищення степені подрібнення насіння дає змогу перейти з області внутрішньо дифузійного механізму вилучення олії в область змішаного механізму, в якому процес екстрагування відбувається як за внутрішньо дифузійним, так і за зовнішньо дифузійним механізмами, а потім перейти в область зовнішньо дифузійного механізму (рис.2.5). Умови, за яких забезпечується вплив механізму на кінетику процесу екстрагування, описано в літературі.

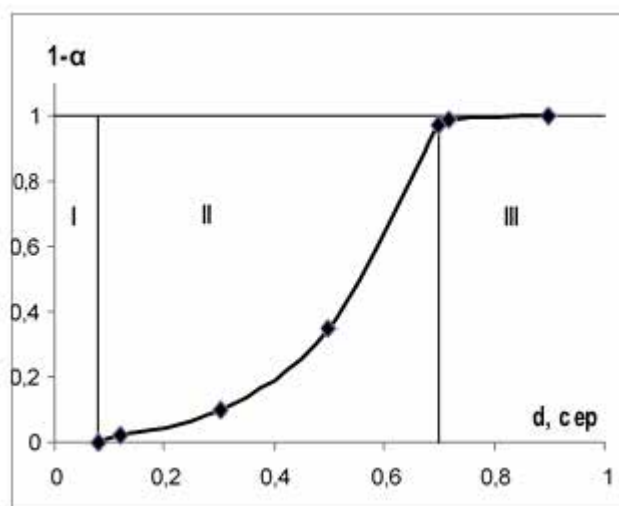


Рис.2.5. Залежність  $1-\alpha$  від  $d$  (сеп),

де  $\alpha = M_{01}/M_0$ ;  $M_{01}$  – маса частинок насіння, з яких олія вилучається за зовнішньо дифузійним механізмом;  $M_0$  – загальна маса насіння;

I – зовнішня дифузійна область екстрагування; II – змішана область; III – внутрішня дифузійна область

Результати досліджень наведені в (табл. 2.1, 2.2)

Табл 2.1.

### Результати досліджень екстракції олії із насіння льону

Умови	Час екстрагування, хв	Маса сировини, г	Маса екстрагента, г	Маса олії, г
Без ультразвуку	30	50	100	5,29
Ультразвук	30	50	100	4,01
Контрольний зразок	30	50	100	6,08

Табл. 2.2.

**Результати досліджень екстракції олії із жмиху сої**

Умови	Час екстрагування,хв	Маса сировини,г	Маса екстрагента г	Маса олії,г
Без ультразвуку	20	25	50	1,14
Ультразвук	20	25	50	1,29

В результаті проведення процесу екстракції олії з подрібненого насіння льону без дії ультразвуку маса олії, добутої екстракційним бензином, складала 1,94 г, а метиленхлоридом – 3,06 г.

В результаті процесу екстракції олії з подрібненого насіння льону ультразвуковою обробкою різними режимами маса олії, добутої екстракційним бензином складала 1,31 г, а метиленхлоридом – 3,2 г. Потрібно відмітити, що під дією ультразвуку з подрібненого насіння льону в розчин вилучалась також значна кількість клітковини. Її наявність погіршувала відділення розчину олії в екстракційному бензині від твердої фази в процесі фільтрування і це призвело до значних, в порівнянні зі звичайною екстракцією, втрат олії.

Подібні результати отримано в дослідження екстракції олії з соєвого жмиху. Маса олії, добутої в результаті екстракції олії з жмиху сої після обробки ультразвуку становить 1,29 г, без дії ультразвуку – 1,14 г, що підтверджує позитивний вплив ультразвуку на видобуток олії із сировини.

Результати досліджень наведені в (табл. 2.5.)

Обробка і аналіз результатів проведених експериментальних досліджень

На (рис. 2.5) показана залежність маси отриманої олії під час екстрагування з жмиху сої в умовах ультразвуку (помаранчева лінія) і без ультразвуку (синя лінія), а на (рис. 2.6) – відсоткова залежність вмісту олії в об'ємі екстрагенту під час екстрагування з жмиху сої в умовах ультразвуку (помаранчева лінія) і без ультразвуку (синя лінія). Дані залежності, представлені типовими лініями внутрішньо дифузійного механізму екстрагування.

## Результати досліджень

Умови	№ проби	Час екстрагування, хв	Маса сировини, г	Маса екстрагента, г	Маса олії, г
Без ультразвуку	1	1	25,05	50,06	0,7
	2	2	25,02	50,11	0,82
	3	5	25,02	50,07	1
	4	10	25,09	50,17	1,02
	5	20	25,02	50,04	1,14
	6	30	25,04	50,06	1,1
Ультразвук	7	1	25,19	50,14	0,83
	8	2	25,1	50,03	0,91
	9	5	25,07	50,09	1,09
	10	10	25,01	50,1	1,11
	11	20	25,03	50,03	1,29
	12	30	25,02	50,01	1,3

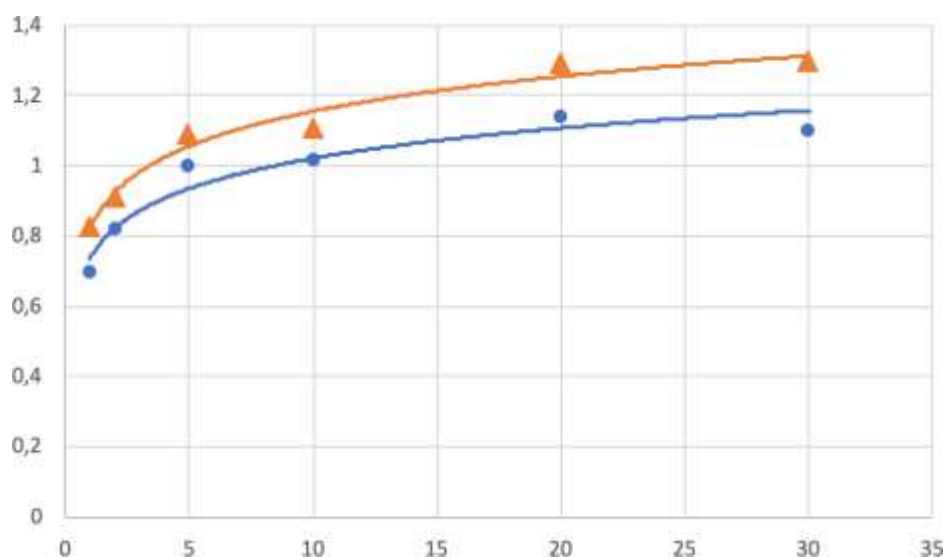


Рис. 2.5. Залежність маси отриманої олії від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

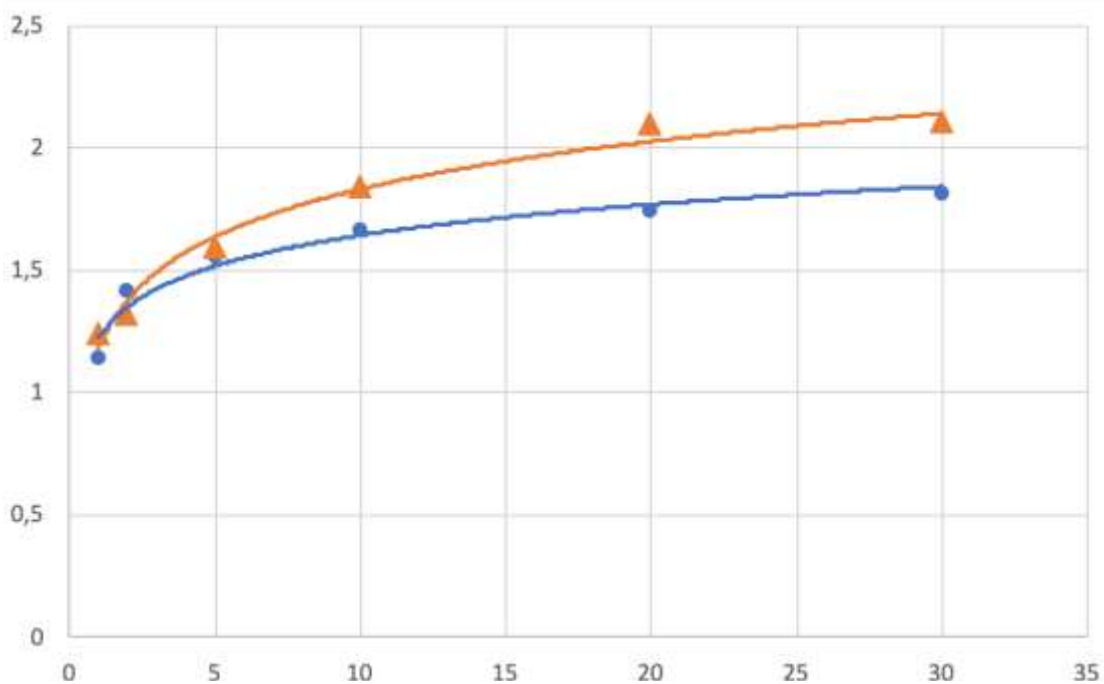


Рис. 2.6. Залежність частки вмісту олії в об'ємі екстрагену від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

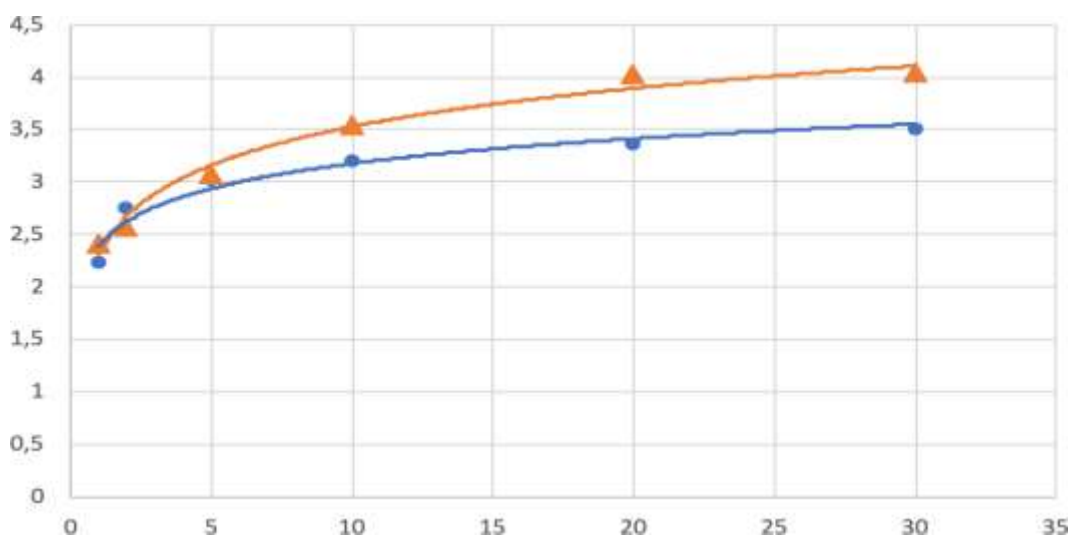


Рис. 2.7. Відсоткова залежність вмісту олії у вилученій місцелі від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

Після обробки ультразвуком протікає повільна дифузія олії з неушкоджених клітин. При екстракції в умовах дії ультразвуку частка вмісту олії у міцелі вища за частку без використання ультразвуку практично протягом всього процесу, що свідчить про позитивний вплив ультразвуку на ефективність екстракції.

### **Висновки до розділу**

1. Проведені дослідження показали можливості використання ультразвуку для інтенсифікації екстракції олії з рослинної сировини, найбільш поширеними екстрагентами – екстракційним бензином і метиленхлоридом.

2. В результаті дослідження впливу ультразвуку на процес екстракції олії з насіння льону та соєвого жмиху встановлено, що при використанні ультразвуку вихід олії із насіння льону і соєвого жмиху значно вище, ніж при проведенні процесу екстракції без ультразвуку.

3. Особливо потрібно відзначити, що при екстракції олії з насіння, що має значний вміст клітковини під дією ультразвуку в розчин вилучається значна частина клітковини, що в подальшому ускладнює процес відділення міцелівід і твердої фази частинок і призводить до часткової втрати олії.

4. Під час екстракції в умовах дії ультразвуку частка вмісту олії у міцелі вища за частку вмісту олії у міцелі без використання ультразвуку практично протягом всього процесу екстракції, що свідчить про позитивний вплив ультразвуку на процес екстракції.

## РОЗДІЛ 3

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ЕКСТРАКЦІЇ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

#### 3.1 Математичне моделювання процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без ультразвуку для встановлення кінетики процесу і визначення коефіцієнтів дифузії

Завдання полягає в тому, щоб для дифузійної стадії процесу екстрагування в систем: тверде тіло-рідина застосувати апарат хімічної кінетики, розроблений для реакцій каталізу, сформулювати рівняння Петровського-Піскунова Колмогорова-Тьюрінга, продемонструвати принципову можливість врахування міжмолекулярної взаємодії екстрагента і речовини, що екстрагується, і структури твердого тіла. Інше завдання роботи полягає в створенні рамкової моделі порогового простору і гідродинаміки у ньому, ґрунтуючись на детермінованому підході і використовуючи два характерні масштаби.

Для визначення коефіцієнтів дифузії складаємо математичну модель процесу в якій основною структурною одиницею речовини є клітина.

В процесі екстракції олія вилучається з твердих частинок сировини. Запишемо рівняння, що виражають зміну концентрації олії в об'ємі клітин  $C_{кл}$  в об'ємі екстрагента  $C_{ек}$  в міжклітинному просторі :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dC_{кл}}{d\tau} = -K_c (C_c - C_{кл}) \\ \frac{dC_{ек}}{d\tau} = K_c (C_{кл} - C_{ек}) - K_m (C_{кл} - C_{ек}) \end{array} \right. , \quad (3.1)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт масопереносу через клітинну оболонку;

$K_m$  – коефіцієнт масовіддачі в міжклітинному просторі.

Початкові умови :

Значення коефіцієнтів  $K_c$  і  $K_m$  знаходимо з рівнянь :

$$K_c = \frac{D_c}{\delta_c \cdot R_{екс}} \quad (3.3)$$

$D$  - дифузії в міжклітинному середовищі.

Для визначення зміни концентрації олії в основній масі екстрагенту запишемо рівняння матеріального балансу :

$$V \cdot \varepsilon \cdot C_{کلн} = V \cdot \varepsilon \cdot C_{کل}(\tau) + V \cdot (1 - \varepsilon) \cdot C_{екс}(\tau) + W \cdot C_m(\tau) \quad (3.4)$$

де  $W$  – об'єм екстрагенту;

$V$  – об'єм екстрагенту, що міститься у вільному просторі твердої фази;

$\varepsilon$  – порозність шару сировини.

З урахуванням того, що зміну концентрації олії в  $C$  процесі екстрагування можна описати виразом :

$$C = C_p (1 - Ae^{-k\tau}) \quad (3.5)$$

де  $C_p$  – рівноважна концентрація олії в екстрагенті;

$k$  – коефіцієнт, що характеризує перенос маси речовини;

$A$  – число вимивання, коефіцієнт, що характеризує співвідношення коефіцієнтів переносу маси.

$$C_{кл} = C_{кн} \cdot e^{-k_c \tau}; \quad (3.6)$$

- зміна концентрації олії в міжклітинному просторі:

$$C_{ек} = C_{екн} \cdot A \left[ e^{-k_c \tau} - e^{-k_m \tau} \right]; \quad (3.7)$$

- зміна концентрації олії в основному об'ємі екстрагенту:

$$C_m - C_{мн} \cdot \left[ 1 - A \cdot \exp\left(- (k_m - k_c) \tau \right) \right].$$

Процес проникнення екстрагенту у сировину, який відбувається за рахунок капілярних сил може бути досить тривалим у зв'язку з тим, що повітря в клітинній тканині заважає руху рідини.

Дана математична модель використовується для визначення коефіцієнта дифузії олії через клітинну оболонку та коефіцієнта дифузії в міжклітинному середовищі на основі обробки експериментальних даних кінетики процесу екстракції в умовах ультразвуку і без нього.

### 3.2 Математична модель процесу екстракції олії в акустичному екстракторі

Важливим елементом процесу екстракції з точки зору тривалості процесу є проникнення екстрагенту в сировину, яке відбувається за рахунок капілярних сил. Цьому проникненню заважає повітря, яке знаходиться в капілярах і клітинах рослинної сировини. Час проникнення визначається швидкістю дифузії повітря крізь рідину.

Розчинення цільового продукту, що знаходиться на стінках зруйнованих клітин залежить від гідродинамічних умов омивання частинок сировини екстрагентом. Перенос цільового продукту через стінку рослинних клітин розглядається як процес масопереносу через напівпроникну мембрану.

Масоперенос з поверхні твердих частинок в місцелу (розчин олії в екстрагенті) залежить від гідродинамічних умов омивання частинок місцелю і відбувається головним чином за рахунок конвективної дифузії. При створенні інтенсивного руху місцели через шар частинок сировини вплив молекулярної дифузії є незначним.

Для інтенсифікації процесу масопереносу з поверхні твердих частинок в міцелу, що характеризується коефіцієнтом масовіддачі, необхідно забезпечити проникання міцели крізь частинки, попередити злежування твердих частинок в шарі, блокування поверхні частинок іншими частинками, зміни положення частинок в шарі, що досягається не тільки рухом міцели через шар, а й дією ультразвукового генератора.

### 3.3 Дослідження технологічних особливостей процесів в акустичному екстракторі

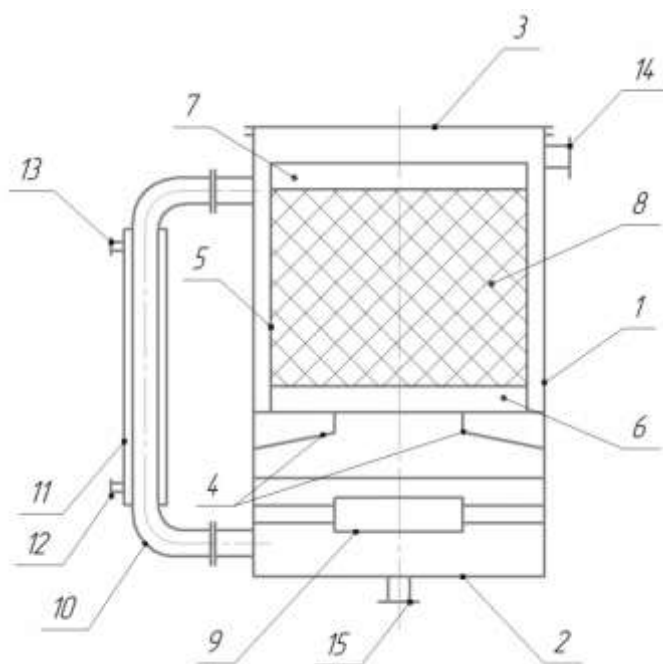


Рис. 3.1. Схема акустичного екстрактора

В акустичному екстракторі рослинна сировина у вигляді дрібних частинок завантажена у циліндричний корпусу 1, до якого кріпиться на фланцях днище 2 та кришка 3. В корпусі 1 на опорній підставці 4 встановлений контейнер 5, який виготовлено з нижнього та верхнього кільця 6 і 7 і сітки 8. В нижній частині корпусу закріплений генератор 9 ультразвукових коливань. Зовні корпусу 1 закріплена циркуляційна труба 10 з кожухом 11, в який через штуцери 12 підводиться і 13 відводиться теплоносій. Екстрагент в корпус екстрактора підводиться через штуцер 14, а відводиться через штуцер 15.

Акустичний екстрактор працює наступним чином.

Контейнер 5 завантажують сировиною поза межами акустичного екстрактора та фіксують в робочому положенні. Закріплюють кришку 3 до

корпусу 1 апарата. В апарат подають екстрагент через штуцер 14. Вмикають генератор 10 ультразвукових коливань і насос.

Екстрагент проходить через шар твердих частинок в контейнері 5 і надходить до циркуляційної труби 10, де охолоджується теплоносієм, який подається в кожух 11 через штуцер 12 і виходить через штуцер 13, до робочої температури.

Тривалість процесу екстракції визначається швидкістю масопереносу всередині частинки рослинної сировини, опором дифузійного шару на поверхні частинки та конвективним опором в екстрагенті.

### **3.4 Визначення коефіцієнту масопередачі**

З точки зору явищ масопереносу механізм екстракції олії з окремої частинки рослинної сировини складається з процесу проникнення екстрагента в проміжки між частинками і в пори сировини за рахунок капілярних сил. При цьому екстрагент розчиняє олію на поверхні частинок, на стінках пор і в глибині частинки.

Розчинена в екстрагенті олія рухається до поверхні частинки в порах, капілярах через незруйновані стінки клітин і перегородки вторинних структур. Через примежовий або дифузійний шар рідини, що оточує частинку олія в потоці розчинника виходить на поверхню частинки і далі поступає в потік місцели, що рухається через шар твердих частинок.

Для якісного і кількісного описання процесу переносу маси при екстракції використовують:

1. Коефіцієнт внутрішньої дифузії  $D_{вн}$ , що характеризує швидкість масопереносу всередині частинки рослинної сировини.
2. Коефіцієнт вільної дифузії  $D_{мд}$ , що характеризує масоперенос в клітковому соку і дифузійному примежовому шарі.
3. Коефіцієнт конвективної дифузії  $\beta$ .

Коефіцієнт масопередачі при екстрагування з рослинної сировини визначається формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{l}{\beta} + \frac{l^2}{D_{вн}} + \frac{s}{D_{мд}}}, \quad (3.8)$$

де  $D_{мд}$  – коефіцієнт молекулярної дифузії;

$D_{вн}$  – коефіцієнт масопровідності або внутрішньої дифузії;

$\beta$  – коефіцієнт конвективної дифузії;

$l$  – розмір частинок сировини;

$s$  – товщина примежового шару.

Коефіцієнт молекулярної дифузії :

$$D_{мд} = \frac{k_0 \cdot T}{6\pi\mu r}, \quad (3.9)$$

де  $k_0$  – постійна Больцмана;

$T$  – абсолютна температура процесу;

$r$  – радіус дифундучих частинок;

$\mu$  – в'язкість рідкого середовища.

Коефіцієнт внутрішньої дифузії в порах рослинної сировини відрізняється від коефіцієнта вільної дифузії і визначається рівнянням :

$$D_{вн} = \frac{k_0 \cdot T \cdot B}{6\pi\mu r}, \quad (3.10)$$

де  $B$  – поправочний коефіцієнт.

### 3.5 Визначення коефіцієнтів дифузії процесу екстракції з рослинної сировини в умовах ультразвуку

З рівняння зміни концентрації олії в основному об'ємі екстрагенту:

$$\left(1 - \frac{C_{mi}}{C_{mp}}\right) = A \cdot \exp(-K \cdot \tau), \quad (3.11)$$

знаходимо відношення

$$\ln \left(1 - \frac{C_{mi}}{C_{mp}}\right), \quad (3.12)$$

і будемо графік отриманих значень від часу екстрагування  $t_{екс}$ .

Табл. 3.1.

#### Результати розрахунків

Умови	№ проби	$t_{екс}, c$	$C_{mi}, \frac{кг}{м^3}$	$C_{mp}, \frac{кг}{м^3}$	$\ln \left(1 - \frac{C_{mi}}{C_{mp}}\right)$
Без ультразвуку	1	60	30,333	55,786	-0,7847
	2	120	37,624		-1,1222
	3	300	41,244		-1,3445
	4	600	43,927		-1,5484
	5	1200	46,269		-1,7684
	6	1800	48,155		-1,9893
Ультразвук	1	60	32,873	59,755	-0,7988
	2	120	35,016		-0,8819
	3	300	42,212		-1,2256
	4	600	48,657		-1,6835
	5	1200	55,682		-2,6859
	6	1800	55,786		-2,7117

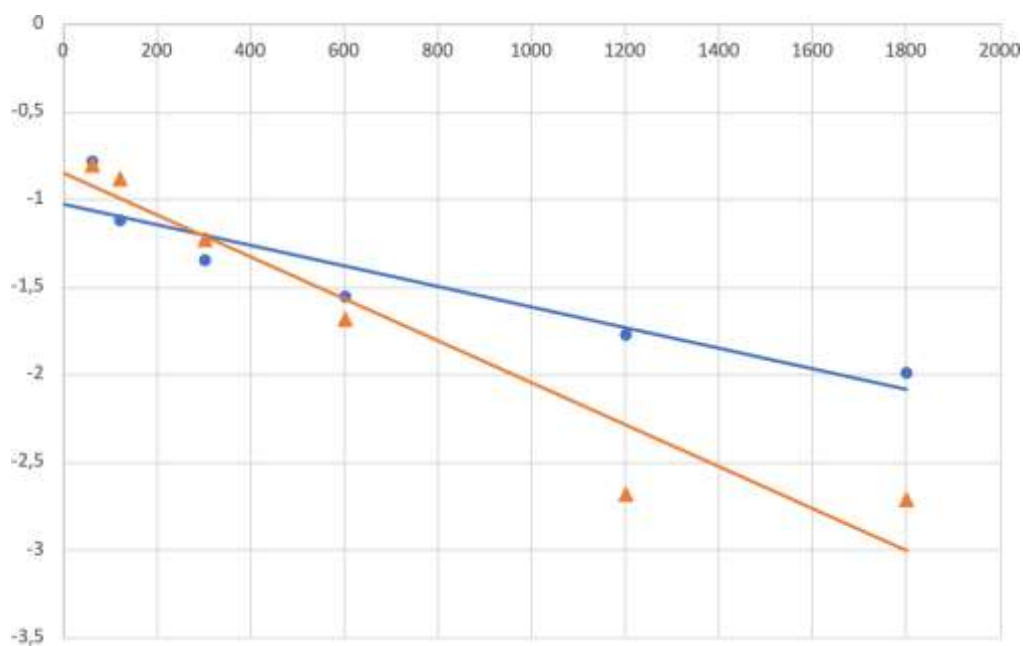


Рис. 3.2. Залежність  $\ln\left(1 - \frac{C_{mi}}{C_{mp}}\right)$  від часу екстрагування:

● – без використання ультразвуку; ▲ – з використанням ультразвуку

$K$ , коефіцієнт, що характеризує перенос маси речовини знаходимо, як тангенс кута нахилу графіку:

$$K = \operatorname{tg}\alpha_1 = -0,0053 \text{ – без ультразвуку;} \quad (3.13)$$

$$K = \operatorname{tg}\alpha_2 = -0,0052 \text{ – з ультразвуком.} \quad (3.14)$$

$A$  – число вимивання, коефіцієнт, що характеризує співвідношення коефіцієнтів переносу маси знаходимо з виразу:

$$A_1 = e^{(y^{(0)})} = e^{(-1,05)} = 0,349 \quad (3.15)$$

$$A_2 = e^{(y^{(0)})} = e^{(-0,85)} = 0,427 \quad (3.16)$$

З системи рівнянь знаходимо коефіцієнти  $K_m$  і  $K_c$  :

$$\begin{cases} K = K_m - K_c \\ A = \frac{1}{1 + \frac{K_m}{K_c}} \end{cases} \quad (3.17)$$

Значення коефіцієнтів  $K_m$  і  $K_c$ 

Умови	$K_m$	$K_c$
Без ультразвуку	0,0114	0,0167
Ультразвук	0,0204	0,0256

З рівняння

$$K_c = \frac{D_c}{\delta_c \cdot R_{екв}}, \quad (3.18)$$

знаходимо значення коефіцієнту дифузії олії через клітинну оболонку:

$$D_c = K_c \cdot \delta_c \cdot R_{екв} \quad (3.19)$$

де  $\delta_c = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$  – товщина клітинної оболонки сої;

$R_{екв}$  – еквівалентний розмір клітини,  $R_{екв} = \frac{d_c}{2} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ .

З рівняння

$$K_m = \frac{D_m}{d \cdot R_m}, \quad (3.20)$$

знаходимо значення коефіцієнту масовіддачі в міжклітинному просторі:

$$D_m = K_m \cdot d \cdot R_m, \quad (3.21)$$

де  $d$  – розмір екстрагованої частинки;

$R_m$  – приведений радіус екстрагованої частинки,  $R_m = \frac{d}{2}$ .

Розмір твердої частинки:

$$V = \frac{m_c}{\rho} = \frac{1,04 \cdot 10^{-5}}{720} = 1,4 \cdot 10^{-8}; \quad (3.22)$$

$$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}; \quad (3.23)$$

Звідки

$$d = 1,24 \cdot \sqrt[3]{V} = 1,24 \cdot \sqrt[3]{1,4 \cdot 10^{-8}} = 2,9 \cdot 10^{-3} \quad (3.24)$$

$$R_m = 1,45 \cdot 10^{-3} \quad (3.25)$$

Табл. 3.3.

## Значення коефіцієнтів дифузії

Умови	$D_c$	$D_m$
Без ультразвуку	$2,9 \cdot 10^{-13}$	$4,79 \cdot 10^{-8}$
Ультразвук	$4,5 \cdot 10^{-13}$	$8,58 \cdot 10^{-8}$

Табл. 3.5.

Результати розрахунків параметрів екстракції олії з ультразвуковою обробкою  
і без

Умови	$W, \frac{M}{c}$	Re	Nu	$\beta$	K	$\tau_k, хв$
Без ультразвуку	0,015	193,333	112,526	$1,086 \cdot 10^{-5}$	$3,989 \cdot 10^{-7}$	55,98
	0,02	257,778	114,408	$1,105 \cdot 10^{-5}$	$3,991 \cdot 10^{-7}$	55,95
	0,03	386,667	117,649	$1,136 \cdot 10^{-5}$	$3,995 \cdot 10^{-7}$	55,9
Ультразвук	0,015	193,333	112,526	$1,086 \cdot 10^{-5}$	$6,067 \cdot 10^{-7}$	36,8
	0,02	257,778	114,408	$1,105 \cdot 10^{-5}$	$6,073 \cdot 10^{-7}$	36,78
	0,03	386,667	117,649	$1,136 \cdot 10^{-5}$	$6,082 \cdot 10^{-7}$	36,7

Табл. 3.4.

Результати розрахунків параметрів екстракції олії з ультразвуковою обробкою  
і без

Умови	$W, \frac{M}{c}$	Re	Nu	$\beta$	K	$\tau_k, хв$
Без ультразвуку	0,015	193,333	112,526	$1,086 \cdot 10^{-5}$	$3,989 \cdot 10^{-7}$	55,98
	0,02	257,778	114,408	$1,105 \cdot 10^{-5}$	$3,991 \cdot 10^{-7}$	55,95
	0,03	386,667	117,649	$1,136 \cdot 10^{-5}$	$3,995 \cdot 10^{-7}$	55,9
Ультразвук	0,015	193,333	112,526	$1,086 \cdot 10^{-5}$	$6,067 \cdot 10^{-7}$	36,8
	0,02	257,778	114,408	$1,105 \cdot 10^{-5}$	$6,073 \cdot 10^{-7}$	36,78
	0,03	386,667	117,649	$1,136 \cdot 10^{-5}$	$6,082 \cdot 10^{-7}$	36,7

## Аналіз результатів розрахунку

За отриманими залежностями були проведені розрахунки коефіцієнтів дифузії, коефіцієнтів масопередачі та часу екстрагування.

Без використання ультразвуку час екстракції склав  $\tau_k = 56$  хв, а з використанням ультразвуку  $\tau_k = 37$  хв.

Отже при використанні ультразвуку час екстракції олії з рослинної сировини зменшився у 1,5 рази. Отже ультразвукова обробка дозволяє збільшити продуктивність екстрактора у 1,5 рази, порівняно з апаратами без використання ультразвуку. Принципову технологічну схему розробляють індивідуально, залежно від прийнятої технології ультразвукового очищення та виду домішок, що вилучаються.

І наведено загальну принципову технологічну схему, в якій знайшли відображення елементи різних технологічних рішень. Залежно від варіанта повинні спростити або доповнити надану схему. Так, при обробці рекомендується після фільтра встановити резервуар чистої води, а при очищенні вилучити фільтр із технологічної схеми. Крім того, у схемі можуть бути використані різні конструкції відстійників, а також різне реагентне господарство.

У процесі теоретичного обґрунтування застосування ультразвукового методу екстракції і типу апарата треба визначити особливості технологічного процесу, умови його здійснення. Необхідно показати переваги й недоліки альтернативних методів, що розглядаються. Наприклад, для очищення від ціанідів слід розглянути як альтернативні – окислення активним хлором, перманганатом калію, озоном та ін. Після цього показують необхідність окремого відведення із вмістом ціанідів, хроматів та кислотно-лужних стічних вод від гальванічного цеху (ділянки), тому що при спільному відведенні в кислому середовищі утворюється надзвичайно токсична синільна реакція:



У свою чергу, це обумовлює застосування електроапаратів з розчинними або нерозчинними анодами для очищення, що містять ціаніди та хромати.

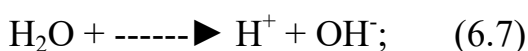
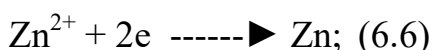
Для очищення із вмістом хрому як альтернативні методи необхідно розглянути

іонообмінні, сорбційні, мембранні, реагентні методи або сполучення методів (електроліз-електродіаліз, іонний обмін-електроліз, електрокоагуляція-електроліз з нерозчинними анодами).

У технологічній частині необхідно показати сутність електрокоагуляційного методу та навести реакції:



За наявності у онів цинку на катодах і катодному просторі відбуваються такі реакції:



Таким чином, цинк осаджується у вигляді металевого цинку, випадає у вигляді гідроксиду або є розчинним (у межах розчинності). Бажаним є подання у вигляді графіків кінетики процесу, зазначення оптимальних значень рН середовища, в тому числі для суміші  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ .

### **Висновки до розділу**

1. Проведено теоретичний аналіз процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без неї для описання кінетики процесу.
2. Розроблена математична модель процесу екстракції олії з рослинної сировини для встановлення залежності зміни концентрації олії в об'ємі клітин в міжклітинному просторі і в основному об'ємі екстрагенту.
3. На основі розв'язання математичної моделі і експериментальних даних встановлені коефіцієнти дифузії олії через клітинну оболонку і коефіцієнти дифузії в міжклітинному просторі.
4. Проведено теоретичний аналіз технологічних особливостей процесу екстракції олії з рослинної сировини в акустичному екстракторі.
5. Розроблено математичну модель процесу екстракції олії з рослинної

сировини в акустичному екстракторі.

6. На основі розв'язання математичної моделі встановлено тривалість модель процесу екстракції олії з рослинної сировини.

7. Виконані розрахунки, з використанням знайдених експериментально значень коефіцієнтів дифузії олії через клітинну оболонку і коефіцієнтів дифузії в міжклітинному просторі.

8. Результати розрахунку свідчать, що тривалість процесу екстракції олії з рослинної сировини в акустичному екстракторі зменшується в 1,5 рази, відносно щовідбувається в екстракторі без використання ультразвуку.

## РОЗДІЛ 4

### ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЕКСТРАКТОРА ОЛІЇ

#### 4.1 Опис технологічного процесу

Апаратурно-технологічна схема виробництва соєвої олії представлена на (рис. 4.1)

Соеві боби зі складу поступають на ваговий дозатор Д-1, а далі на тимчасове зберігання в брут Бр-2. Сировина може містити велику кількість домішок, тому перед переробкою її очищають ситовому сепараторі Сп-3, а також на магнітному уловлювачі У-4. Домішки рослинного походження, відокремлені на сепараторі, збирають і використовують в комбікормовому виробництві.

Очищену від домішок сировину зважують на ваговому дозаторі Д-5 і подають в бункер Бн-6, звідки вони транспортуються в шахтну сушарку Сш-7, що складається з декількох зон. Спочатку сировину сушать, а потім охолоджують. У процесі теплової обробки її вологість зменшується з 9-15% до 2-7%. Температура сировини під час сушіння близько 50 °С, після охолодження 35 °С. Висушена сировина проходить контроль на вагах Д-9, а потім направляється в проміжний бункер Бн-9 для подальшої переробки.

Подальша переробка сировини полягає в максимальному відділенні оболонки від ядра. Цей процес передбачає дві самостійні операції: луцення (обрушення) насіння і власне відділення оболонки від ядра (відвіювання, сепарування). Сировина лушиться на дисковому млині Мл-10, куди вони надходять з проміжного бункера Бн-9. Рушанка, що отримується з насіння після млина, являє собою суміш, що складається з частинок, різних за масою, формою і розмірами. У рушанці присутні цілі ядра, їх осколки, ряд різноманітних за розміром і формою частинок оболонки. Тому для відділення оболонки від ядра в основному застосовують аспіраційні віялки – повітряно-ситові сепаратори. З такого сепаратора Сп-11 сировина подається в проміжний бункер Бн-12.

Після зважування на вагах Д-13 очищені соєві боби подрібнюються на п'ятивальцову дробарку Вл-14. Процес подрібнення може здійснюватися за один раз або за два рази - попередньо і остаточно. При подрібненні відбувається руйнування клітинної структури бобів сої, що необхідно для створення

оптимальних умов для найбільш повного і швидкого вилучення олії при подальшому пресуванні та екстрагування.

Продукт подрібнення – мезга – з Вл-14 надходить в жаровню Ж-15, в якій за рахунок волого-теплової обробки досягається оптимальна пластичність продукту і створюються умови для полегшення віджиму олії на пресах. При смаженні вологість мезги знижується до 5-7%, а температура підвищується до 105- 115 °С.

З шнекового преса Шн-16, в який після жаровні Ж-15 подається мезга, виходять два продукти: олія, що містить значну кількість домішок і тому очищається в фільтр-пресі Ф-17, і жмих, що містить 6,0-6,5% олії, яку необхідно видалити. Тому в подальшому жмих піддається подрібненню в молотковій дробарці Д-19 і на п'ятивальцовій дробарці Вл-20, а продукт подрібнення – екстрагуванню в акустичному екстракторі Ек-21.

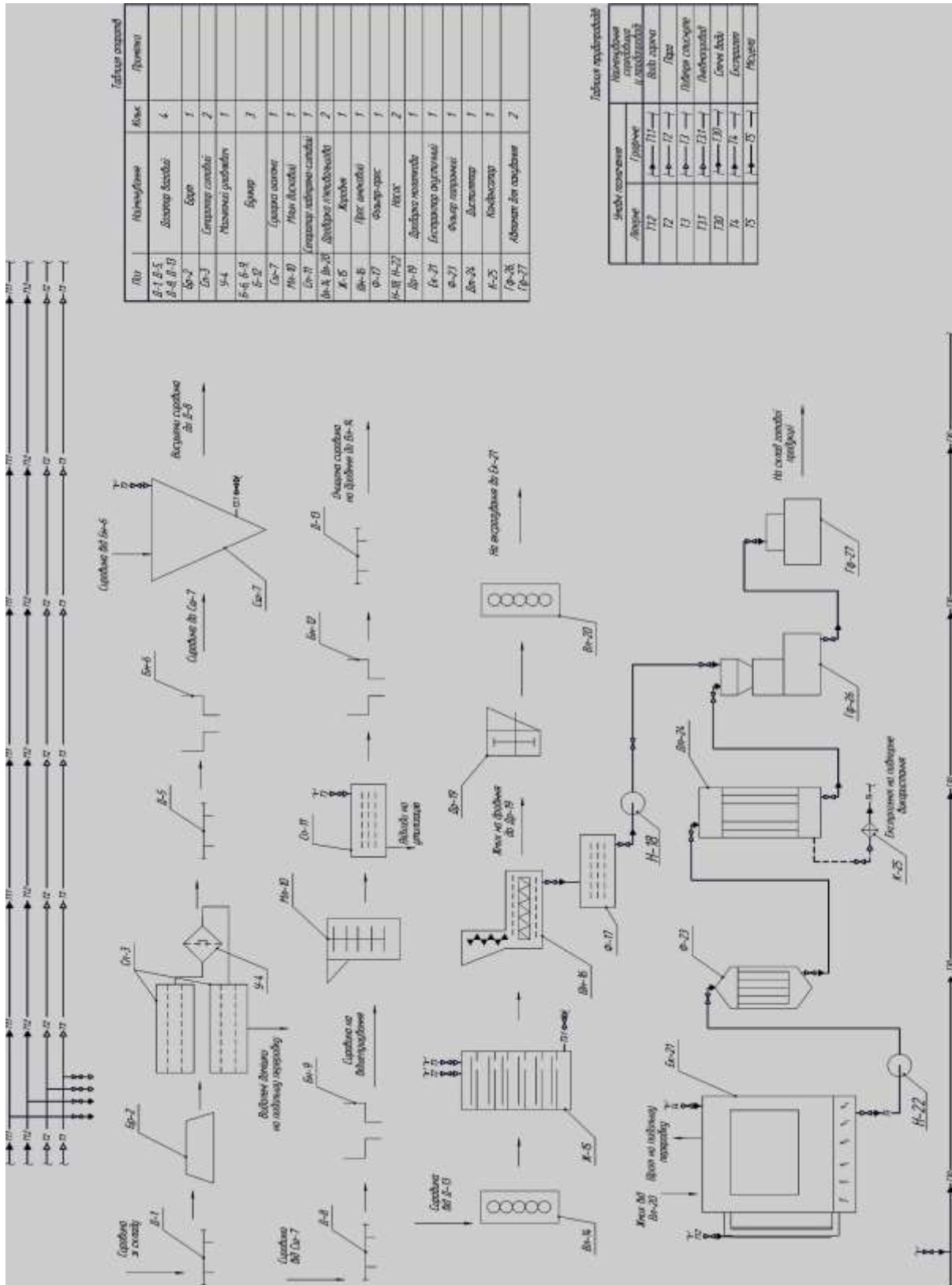
Всередині апарату розміщена корзина зі жмихом. В апарат подається екстрагент – метиленхлорид – який циркулює через апарат і виносний теплообмінний пристрій.

За допомогою дифузії масло видаляється зі зруйнованих клітин жмиху, розчиняючись в метиленхлориді. Суміш олії та екстрагенту – місцела – та деяка кількість жмиху з акустичного екстрактора Ек-21 направляється у патронний фільтр Ф-22.

Знежирений продукт, що видаляється з корзини акустичного екстрактора Ек-21– шрот – направляється на подальшу переробку, що передбачає вилучення з нього залишків екстрагенту та спрямування на комбікормові заводи.

Очищена від твердих частинок місцела подається на дистиляцію у Дт-24, де вона нагрівається до 105-115 °С, і з неї при атмосферному тиску відганяються пари метиленхлориду. Пари метиленхлориду конденсуються в конденсаторі К-25 та поступають на повторне використання.

Очищена від екстрагенту олія та олія, отримана пресуванням з фільтра Ф-17 подається насосом Н-18 на автомати пакувальні Гф-26 та Гф-27, і далі на склад готової продукції.



Таблиця оснащень

Номер	Наименование	Вид	Примечание
Ф-1 Ф-5	Дробилка	4	
Ф-2	Сепаратор	1	
Ф-3	Сепаратор	2	
Ф-4	Машина для сортировки	1	
Ф-6	Бункер	1	
Ф-7	Сепаратор	1	
Ф-8	Машина для сортировки	1	
Ф-9	Машина для сортировки	1	
Ф-10	Машина для сортировки	1	
Ф-11	Машина для сортировки	1	
Ф-12	Машина для сортировки	1	
Ф-13	Машина для сортировки	1	
Ф-14	Машина для сортировки	1	
Ф-15	Машина для сортировки	1	
Ф-16	Машина для сортировки	1	
Ф-17	Машина для сортировки	1	
Ф-18	Машина для сортировки	1	
Ф-19	Машина для сортировки	1	
Ф-20	Машина для сортировки	1	
Ф-21	Машина для сортировки	1	
Ф-22	Машина для сортировки	1	
Ф-23	Машина для сортировки	1	
Ф-24	Машина для сортировки	1	
Ф-25	Машина для сортировки	1	
Ф-26	Машина для сортировки	1	
Ф-27	Машина для сортировки	1	
Ф-28	Машина для сортировки	1	
Ф-29	Машина для сортировки	1	
Ф-30	Машина для сортировки	1	
Ф-31	Машина для сортировки	1	
Ф-32	Машина для сортировки	1	
Ф-33	Машина для сортировки	1	
Ф-34	Машина для сортировки	1	
Ф-35	Машина для сортировки	1	
Ф-36	Машина для сортировки	1	
Ф-37	Машина для сортировки	1	
Ф-38	Машина для сортировки	1	
Ф-39	Машина для сортировки	1	
Ф-40	Машина для сортировки	1	
Ф-41	Машина для сортировки	1	
Ф-42	Машина для сортировки	1	
Ф-43	Машина для сортировки	1	
Ф-44	Машина для сортировки	1	
Ф-45	Машина для сортировки	1	
Ф-46	Машина для сортировки	1	
Ф-47	Машина для сортировки	1	
Ф-48	Машина для сортировки	1	
Ф-49	Машина для сортировки	1	
Ф-50	Машина для сортировки	1	
Ф-51	Машина для сортировки	1	
Ф-52	Машина для сортировки	1	
Ф-53	Машина для сортировки	1	
Ф-54	Машина для сортировки	1	
Ф-55	Машина для сортировки	1	
Ф-56	Машина для сортировки	1	
Ф-57	Машина для сортировки	1	
Ф-58	Машина для сортировки	1	
Ф-59	Машина для сортировки	1	
Ф-60	Машина для сортировки	1	
Ф-61	Машина для сортировки	1	
Ф-62	Машина для сортировки	1	
Ф-63	Машина для сортировки	1	
Ф-64	Машина для сортировки	1	
Ф-65	Машина для сортировки	1	
Ф-66	Машина для сортировки	1	
Ф-67	Машина для сортировки	1	
Ф-68	Машина для сортировки	1	
Ф-69	Машина для сортировки	1	
Ф-70	Машина для сортировки	1	
Ф-71	Машина для сортировки	1	
Ф-72	Машина для сортировки	1	
Ф-73	Машина для сортировки	1	
Ф-74	Машина для сортировки	1	
Ф-75	Машина для сортировки	1	
Ф-76	Машина для сортировки	1	
Ф-77	Машина для сортировки	1	
Ф-78	Машина для сортировки	1	
Ф-79	Машина для сортировки	1	
Ф-80	Машина для сортировки	1	
Ф-81	Машина для сортировки	1	
Ф-82	Машина для сортировки	1	
Ф-83	Машина для сортировки	1	
Ф-84	Машина для сортировки	1	
Ф-85	Машина для сортировки	1	
Ф-86	Машина для сортировки	1	
Ф-87	Машина для сортировки	1	
Ф-88	Машина для сортировки	1	
Ф-89	Машина для сортировки	1	
Ф-90	Машина для сортировки	1	
Ф-91	Машина для сортировки	1	
Ф-92	Машина для сортировки	1	
Ф-93	Машина для сортировки	1	
Ф-94	Машина для сортировки	1	
Ф-95	Машина для сортировки	1	
Ф-96	Машина для сортировки	1	
Ф-97	Машина для сортировки	1	
Ф-98	Машина для сортировки	1	
Ф-99	Машина для сортировки	1	
Ф-100	Машина для сортировки	1	

Таблиця параметрів

Наименование	Единица измерения	Значение
Длина	м	112
Ширина	м	72
Высота	м	13
Объем	м³	131
Скорость	м/с	130
Температура	°C	74
Давление	Па	15
Скорость вращения	об/мин	7

Рис. 4.1. Апаратно-технологічна схема виробництва соєвої олії

## **4.2 Призначення та область застосування ультразвукового екстрактора**

Акустичний екстрактор призначений для екстрагування олії з подрібненої сировини рослинного або тваринного походження і може використовуватися в фармацевтичній, біотехнологічній, хімічній і харчовій промисловості.

Екстракція з твердих тіл є одним з основних технологічних процесів при виробництві лікарських засобів з рослинної сировини, олії з насіння соняшнику, бавовнику, сої, ефірної олії, при одержанні ферментів з культур плісневих грибів. Переробка сировини рослинного походження має певні особливості пов'язані з капілярно-пористою структурою, сформованою клітинами різної будови, у яких міститься цільовий компонент. Частинки рослинної сировини, з яких екстрагують цільовий компонент, умовно зараховують до твердих тіл. Залежно від стану сировини (суха, волога) екстрагування поділяють на різну кількість послідовних стадій. Для екстрагування висушеної сировини існують такі стадії:

- проникнення розчинника в пори частинок сировини;
- розчинення цільового компонента;
- перенесення екстрагованої речовини з поверхні частинок сировини в масу екстрагенту.

Конструкція акустичного екстрактора забезпечує циркуляційний рух рідини через шар твердої фази в умовах акустичної дії, що створює умови для інтенсифікації процесів масопереносу всередині твердих частинок сировини і від поверхні твердих часточок до екстрагенту, а також більш повне вилучення олії з сировини.

## **4.3 Обґрунтування вибору конструкції екстрактора**

Вибір конструкції апарату здійснено виходячи з технологічної операції, щопроводять в даному апараті, а саме процес екстрагування, який належить до масообмінних процесів, в яких масопередача відбувається в системах тверде тіло-рідина.

В акустичному екстракторі (рис 4.2) рослинна сировина у вигляді дрібних частинок завантажена у циліндричний корпусу 1, до якого кріпиться на фланцях днище 2 та кришка 3. В корпусі 1 на опорній підставці 4 встановлений контейнер 5, який виготовлено з нижнього та верхнього кілець 6 і 7 і сітки 8. В нижній частині корпусу закріплений генератор 9 ультразвукових коливань. Зовні корпусу 1 закріплена циркуляційна труба 10 з сорочкою 11, в якій через штуцери 12 підводиться і 13 відводиться теплоносія. Екстрагент в корпус екстрактора підводиться через штуцер 14, а відводиться через штуцер 15.

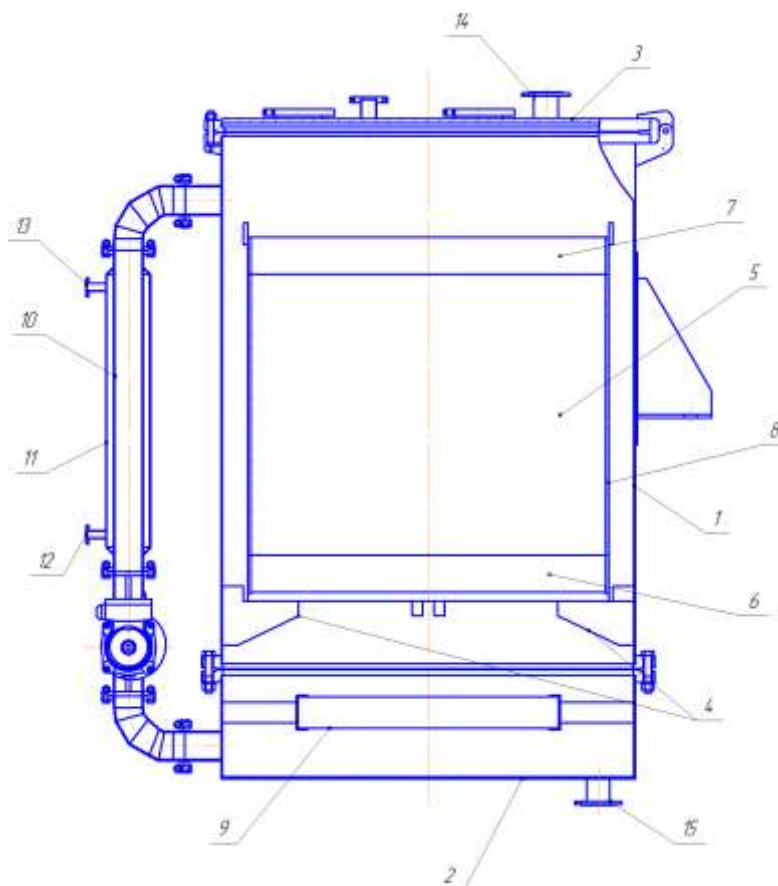


Рис. 4.2. Акустичний екстрактор:

1–корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – опорні підставки; 5 – контейнер;  
6, 7 – нижнє та верхнє кільця; 8 – сітка; 9 – генератор ультразвукових коливань;  
10 – циркуляційна труба; 11 – сорочка; 12, 13 – штуцери для підводу та відведення теплоносія; 14, 15 – штуцери для підводу та відведення сировини

Акустичний екстрактор працює наступним чином. Перед кожним циклом роботи акустичний екстрактор очищують від залишків сировини, промивають миючими засобами, ополіскують водою, при необхідності пропарюють гострою парою. Завантаження контейнера 5 сировиною здійснюють поза межами

акустичного екстрактора та фіксують в робочому положенні. Закріплюють кришку 3 до корпусу 1 апарата. В апарат подають екстрагент через штуцер 15. Вмикають генератор ультразвукових коливань і насос на циркуляційній трубі.

Екстрагент проходить через шар твердих частинок в контейнері 5 і надходить до циркуляційної труби (10), де охолоджується до робочої температури теплоносієм, який подається в кожух (12) через штуцер (13) і виходить через штуцер (14).

Вимушений циркуляційний рух екстрагенту інтенсифікує процес масовіддачі від поверхні твердих частинок.

Під дією акустичних коливань відбувається кавітаційне руйнування твердих частинок, з'являються мікротріщини, додаткові пори, що інтенсифікує процеси переносу цільового продукту всередині твердих частинок.

Нижче наведено опис та зовнішній вигляд промислової установки ультразвукової обробки оливкової олії та її характеристики.



Малаксація та екстракція, основні етапи механічного процесу екстракції оливкової олії, можуть бути значно покращені за допомогою ультразвуку. Ефективність малаксації та екстракції залежить від реологічних характеристик оливкової пасти, а також від параметрів процесу малаксації, таких як час і температура. Ці фактори сильно впливають на вихід і якість оливкової олії першого віджиму. При подачі потужних ультразвукових хвиль на оливкову пасту відбувається кавітація. Кавітація - це утворення, зростання і імплізія бульбашок газу при змінних циклах тиску. Ультразвукова кавітація розриває клітинні структури, завдяки чому з тканини оливкової рослини вивільнюються розчинні сполуки і поліпшується масообмін. Таким чином, швидкість екстракції та вихід значно покращуються за допомогою ультразвуку. Олії з ультразвукових оливкових паст демонструють меншу гіркоту та більший вміст токоферолів, хлорофілів та каротиноїдів. Ультразвук – це м'яка, нетермічна технологія обробки їжі, яка дозволяє вивільнити олію та активні сполуки (наприклад, антиоксиданти, феноли, вітаміни) з оливкової пасти. Безперервний вбудований процес, коли оливкова паста проходить зону ультразвукової кавітації, дозволяє проводити дуже рівномірну обробку. Ультразвукова обробка також дуже корисна для температури процесу: ультразвукова обробка забезпечує миттєве нагрівання та значно скорочує час попереднього нагрівання оливкової пасти, після чого температуру процесу можна легко підтримувати при оптимальній температурі процесу (наприклад, 28-30°C). Переваги ультразвукової екстракції оливкової олії: Більш висока врожайність більш запашний смак і аромат менша гіркота, вищий вміст антиоксидантів, більш тривалий термін зберігання, насичений зелений колір.

### **Висновки до розділу**

Описано технологічний процес екстракції олії з рослинної сировини та спроектовано апаратурно-технологічно схему виробництва з впровадженням в технологічний процес ультразвукової обробки сировини.

Визначено та обгрунтовані переваги ультразвукової екстракції олії та режимні параметри обробки сировини.

## РОЗДІЛ 5

### ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

Продуктовий розрахунок. Матеріальні розрахунки гідратації зводяться до розрахунку відходів, втрат, витрат сировини і виходу гідратованої олії, а також витрати реагентів (води пом'якшеної).

Розрахунок ведеться на 1 т сировини олії і наступним перерахунком на 1 т гідратованої. Продуктивність цеху – 24 т/добу.

Вихідні дані для розрахунку:

- 1 Кислотне число пресової соняшникової олії другого сорту, що надходить на гідратацію,  $KЧ = 3$  мг КОН/г.
  - 2 Масова частка вологи і летких речовин в пресовій олії,  $v_n = 0,2$  %.
  - 3 Масова частка вологи в гідратованій олії,  $v_r = 0,1$  %.
  - 4 Масова частка фосфоровмісних речовин в пресовій олії (у перерахунку на стеароолеолецитин),  $\phi_n = 0,8$  %.
  - 2 Масова частка фосфоровмісних речовин в гідратованій олії (у перерахунку на стеароолеолецитин),  $\phi_r = 0,05$  %.
- Масова частка нежирових домішок в пресовій олії,  $n_n = 0,1$  %.

Річна собівартість продукції:

$$C = 063 + A = 6264650 \text{ грн / рік} \quad (5.1)$$

За одиницю продукції приймаємо стандартне промислове фасування – 1 тонна. Собівартість одиниці продукції :

$$C_{од} = \frac{C}{B} = \frac{6264650}{150} = 41644 \text{ грн / од.} \quad (5.2)$$

Запланована ринкова ціна (за конкурентним методом) одиниці продукту:

$$Ц = 55000 \text{ грн / од} \quad (5.3)$$

Прибуток:

$$П = Ц - C = (55000 \cdot 150) - 6264650 = 1985350 \text{ грн / рік} \quad (5.4)$$

Капіталовкладення:

$$K = 1000000 \text{ грн} \quad (5.5)$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{\Pi}{\text{€}} \cdot 100\% = 31,6\% \quad (5.6)$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{\Pi} = \frac{1000000}{1985350} = 2 \text{ років} \quad (5.7)$$

## 5.1 Екологічні та пожежозахисні аспекти наведених технологічних рішень

Олія соняшникова рафіноване дезодороване - не токсичне, горюча рідина. Добре розчиняється у воді, спирті. У виробництві використовується 15-20%-ний розчин. Чинить подразливу дію на шкіру, при вдиханні у вигляді пилу викликає роздратування дихальних шляхів. ГДКрз - 5 мг/м<sup>3</sup> (у перерахунку на оцтову кислоту). Клас небезпеки - 3.

Соняшникова олія має температуру спалаху і самозаймання вказані в таблиці 4.1 . Основні вимоги безпеки по розміщенню і експлуатації устаткування

Устаткування і апаратура, встановлювані в цеху рафінування, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003-91 "Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки", ГОСТ 12.2.124-90 "Устаткування продовольче. Загальні вимоги".

Устаткування повинне мати паспорти і інвентарні номери.

У разі відсутності паспорта заводу-виробника він складається виробництвом-власником. Баки для зберігання олій і жирів мають бути забезпечені зливо-наливними, підігрівальними і контрольно-вимірвальними пристроями.

Ємнісне устаткування (баки, збірки, резервуари та ін.), які працюють під тиском, має бути обладнане: а) люками (лазами) для огляду, чищення і ремонту з кришками, які щільно закриваються;

б) показчиками рівня рідких продуктів; в) оглядовими вікнами.

Верхні люки (лази), окрім кришок мають бути обладнані поглибленими і надійно закріпленими ґратами, які знімаються (розмір осередків не більше 0,1x0,1 м).

Апарати, працюючі під вакуумом, повинні випробовуватися на вакуум із залишковим тиском по нормах заводу - виробника.

На усіх апаратах мають бути написані найменування апаратів та їх порядковий номер, згідно з технологічною схемою.

знаходяться на значній відстані від робочого місця, повинні бути забезпечені місцевими, що показують і дистанційними приладами, що реєструють показання.

Трубопроводи мають бути забарвлені в розпізнавальні кольори, мати попереджувальні знаки і маркувальні щитки по ГОСТ 14202-69 «Трубопроводи промислових підприємств. Розпізнавальне забарвлення. Попереджувальні знаки і маркувальні щитки».

В процесі експлуатації трубопроводи повинні піддаватися технічному огляду відповідно до виробничої інструкції. Знову змонтовані технологічні трубопроводи повинні піддаватися гідравлічному випробуванню.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу машини і апарати мають бути оснащені необхідними контрольно-вимірними приладами, перелік яких і метрологічна характеристика їх приведені у відповідному розділі.

Робота виробничого устаткування, норми його навантаження і параметри повинні відповідати вимогам справжнього регламенту і паспортним даним.

Усіх частин машин і апаратів, що рухаються і обертаються, мають бути захищені. Обгороджування мають бути пофарбовані в кольори згідно ГОСТ 12.4.026-76. Пуск механізмів після ремонту, огляду і інших робіт без встановлення на місцеположення і укріплення усіх частин обгороджування забороняється. Пускові облаштування електродвигунів (кнопки, руків'я та ін.) повинні мати написи, що пояснюють їх функціональне призначення. Кнопки "вкл" і "викл" машин і устаткування повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.007.0-75.

Заміну і перестановку устаткування апаратів і трубопроводів, а також переробку мереж електроустаткування, ліній і приладів КВП допускається робити по письмовому дозволу головного інженера підприємства, з внесенням змін або доповнень в регламент відповідно до вимог діючих положень.

Апарати, паропроводи, трубопроводи гарячої води, технологічні трубопроводи підлягають зовнішній ізоляції. Температура зовнішньої поверхні апаратів і трубопроводів поверх ізоляції не повинна перевищувати 45 °С.

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз існуючих обладнання екстракції олії з рослинної сировини. Проаналізовані сучасні технології, що забезпечують інтенсифікацію процесу екстракції.

2. На основі аналізу встановлено, що найбільш ефективним для інтенсифікації процесів екстракції олії з рослинної сировини є використання ультразвуку

3. Проведені експериментальні дослідження для визначення впливу ультразвуку на екстракцію олії із різних видів сировини найбільш поширеними екстрагентами.

4. Проведені експериментальні дослідження кінетики процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах дії ультразвуку і без ультразвуку, які представлені типовими лініями внутрішньо дифузійного механізму екстрагування. Встановлено, що в початкові моменти часу, протягом 10 хвилин спостерігається інтенсивне вимивання олії зі зруйнованих клітин, тобто розчинення вільної олії, яка знаходиться на зовнішніх поверхнях твердих частинок. Далі спостерігається повільна дифузія олії з неушкоджених клітин.

5. Побудовано математичну модель процесу екстракції олії з рослинної сировини в умовах ультразвукової дії і без неї.

6. На основі розв'язання математичної моделі і отриманих експериментальних даних встановлені ефективні коефіцієнти молекулярної дифузії та коефіцієнти масопровідності від ультразвукової обробки.

7. В результаті виконаних розрахунків встановлено що тривалість екстракції в умовах ультразвукової дії зменшується в 1,2-2 рази ніж в екстракторі без використання ультразвуку.

8. Розроблена конструкція акустичного екстрактора та визначено його місце в технологічному процесі отримання рослинної олії

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.2-12:2019 "Планування і забудова територій"
2. ДБН Б.2.2-12:2019 "Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві"
3. ДБН В.1.2-10:2021 "Захист від шуму та вібрації"
4. ДБН В.2.5-56:2014 "Системи протипожежного захисту"
5. ДСП 4.4.4.090-2010 "Державні санітарні правила для підприємств, які виробляють рослинні олії"
6. Пат. 85436 Україна, МПК В01D 11/02. Екстрактор / Зав'ялов В. Л., Попова Н. В. - № а 2007 03027; заявл. 22.03.07; опубл. 26.01.09 Бюл. №2
7. Пат. 99991 Україна, МПК В01D 11/02 (2006.01). Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В. Л., Бодров В. С., Попова Н. В., Мисюра Т. Г., Варганова І. В., Мілютін О. І. «№ а 2011 12896; опубл. 25.10.12, Бюл. №20
8. Пат. 103838 Україна, МПК В01D 11/02 (2006.01) Вібраційний екстрактор періодичної дії з комбінованим енергопідведенням / В. Л. Зав'ялов, В. Є. Деканський, Бодров В. С., Попова Н. В., Мисюра Т. Г., Запарожець, В. Є – № а 2012 08141; заявл. 03.07.12; опубл. 25.11.13, Бюл. №22
9. Пат. 14515 України на корисну модель, МПК В01D 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В. Л., Бодров В. С., Попова Н. В., Мисюра Т. Г. – № U 2005 11361; заявл. 30.11.05; опубл. 15.05.06, Бюл. №5
10. Wang L. 43. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants / L. Wang, C. Weller. // Trends in Food Science & Technology. – 2006. – №17. – С. 300–312..
11. Патент на корисну модель МПК (2017.01), В01D 11/02. Вібраційно-акустичний екстрактор / Мельник В.М., Андрук М.М., Ружинська Л.І. № u 2018 02722 – Заявл. 19.03.2018.
12. Патент на корисну модель МПК (2018.01) В01D 11/02 Циркуляційно-акустичний екстрактор / Мельник В.М., Ружинська Л.І., Остапенко Ж.І. № u201807271\_2 – Заявл. 27.06.2018
13. Actual methods for obtaining vegetable oil from oilseeds / [M. Ionescu, N. Ungureanu, S. Biris and all]. // International Conference on Thermal Equipment,

Renewable Energy and Rural Development. – 2013. – P. 167–172.

**14.** Extraction of oil from algae by solvent extraction and oil expeller method / [N. S. Topare, S. J. Raut, V. C. Renge and all]. // International Journal of Chemical Sciences. 2011. Vol. 9. – 2011. – P.

**15.** Hussain S. Solid liquid extraction of rice bran oil using binary mixture of ethyl acetate and dichloromethane / S. Hussain, A. Shafeeq, U. Anjum. // Journal of the Serbian Chemical Society, Vol. 83. – 2018. – C. 911–921.

**16.** Improvement of Soybean Oil Solvent Extraction through Enzymatic Pretreatment / F. V.Grasso, P. A. Montoya, C. C. Camusso, B. G. Maroto. // International Journal of Agronomy. 2012. Vol.12. – 2012. – P. 1–7.

**17.** Li H. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans / H. Li, L. Pordesimo, J. Weiss. // Food Research International. Vol. 37,. – 2004. – 3. 731–738.

**18.** Karachun V. Research of influence of ultrasound on the extraction of vegetable oil / V. Karachun, L. Ruzhindka, Zh. Ostapenko. // Technology Audit and Production Reserve. – 2019. – №1. – C. 33–35.

**19.** Choice of solvent extraction technique affects fatty acid composition of pistachio (*Pistacia vera* L.) oil / [A. Abdolshahi, M. Maid, J. Rad and all]. // Journal of Food Science and Technology Vol. 52. – 2013. – P. 2422–2427.

**20.** Sari P. Preliminary design and construction of a prototype canola seeds oil extraction machine / P. Sari. // Ph. D. Thesis, Middle East Technical University. – Ankara, Turkey, 2006.

**21.** Bamgboye A. Development of a sunflower oil expeller / A. Bamgboye, A. Adjumo. // he CIGR E-journal. Manuscript EE, Vol. 9. – 2007. – P. 6–15.

**22.** Owolarafe O. K. Mathematical modelling and simulation of the hydraulic expression of oil from oil palm fruit / O. K. Owolarafe. // Biosystems Engineering 101. – 2008. – C. 331–340.

**23.** Willems P. Hydraulic pressing of oilseeds. Experimental determination and modeling of yield and pressing rates / P. Willems. // Journal of Food Engineering 89. – 2008. – P. 8–16.

**24.** Розроблення високоефективної віброекстракційної апаратури та перспективи її практичного використання / [Зав'ялов, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова

та ін.]. // Вібрації в техніці та технологіях. – 2017. – №2. – С. 81.

**25.** Зав'ялов В. Л. Наукове обґрунтування та апаратурне оформлення процесу віброекстрагування в харчовій промисловості : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук / Зав'ялов В. Л. – Київ, 2014.

**26.** Паспорт. Погружний блок ультразвукових випромінювачів УЗП-6-1. ООО «НВК Медпромприбор».

**27.** Павлюк І. В. Екстагування шроту рослинної сировини з метою одержання комплексу біологічно активних сполук : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.17.08 "Процеси та обладнання хімічної технології" / Павлюк Інесса Віталіївна – Львів, 2016. – 23 с.