

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

КАПЕТУЛА СВІТЛАНА МИХАЙЛІВНА



УДК 665.32/.34.061.34:537.531

**КІНЕТИКА ЕКСТРАГУВАННЯ ОЛІЇ ІЗ НАСІННЯ АМАРАНТУ В МІК-
РОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України **Бурдо Олег Григорович**, Одеська національна академія харчових технологій, кафедра процесів, апаратів та енергетичного менеджменту, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор, **Поперечний Анатолій Микитович**, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган – Барановського, кафедра обладнання харчових виробництв, професор кафедри;

– доктор технічних наук, професор, **Білонога Юрій Львович**, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, кафедра загальнотехнічних дисциплін та контролю якості продукції, професор кафедри.

Захист відбудеться 25 грудня 2012 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112, ауд. А – 234.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий 23 листопада 2012 року.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, к.т.н., доцент



Г.І. Палвашова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ключовим процесом при вилученні олії із рослинної сировини є екстрагування – складна і трудомістка технологічна операція. Харчові, хімічні і фармацевтичні виробництва використовують традиційну технологію екстрагування рослинної сировини, яка ґрунтується на масоперенесенні – дифузії.

Процес екстрагування характеризується низькою інтенсивністю і його вдосконалення значно підвищить ефективність екстракційних виробництв.

Останніми роками на світовому ринку з'явилося нове цінне джерело сировини для харчової промисловості – амарант, що має унікальний хімічний склад, високу харчову і біологічну цінність, містить широкий спектр фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів, що визначає перспективи його використання в технології харчових виробництв.

В роботі поставлено завдання інтенсифікувати процес екстрагування олії із насіння амаранту за рахунок використання мікрохвильових технологій, які дали суттєвий ефект у різних процесах. Але загальноприйнятих рекомендацій щодо режимів мікрохвильового екстрагування та властивостей екстрактів немає, що не дає можливості створити відповідну технологію і розробити мікрохвильовий екстрактор для одержання олій. Такі обставини визначили актуальність проведення науково-дослідної роботи з метою розробки ефективної технології одержання олії із насіння амаранту на базі мікрохвильової техніки (МХТ).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі процесів, апаратів та енергетичного менеджменту Одеської національної академії харчових технологій в рамках держбюджетної тематики науково-дослідних робіт (5/09 – П «Новітні енергетично ефективні харчові технології та нанотехнології в АПК» №0109U000400).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вивчення механізму та кінетики процесу екстрагування цільових компонентів із насіння амаранту з використанням мікрохвильового інтенсифікатора, розробка принципової схеми екстрактору та методів його розрахунку.

Для досягнення цього необхідно вирішити такі основні завдання:

- проаналізувати науково-технічну та патентну літературу по технологіям екстрагування;
- проаналізувати методи інтенсифікації вилучення цільових компонентів при процесі екстрагування;
- розробити математичну модель процесу екстрагування в мікрохвильовому полі (МХП);
- розробити методику досліджень та стенд для визначення кінетики масоперенесення в системі «сировина-екстрагент-мікрохвильове поле»;
- вивчити кінетичні закономірності процесу екстрагування (вплив режимних та конструктивних параметрів, виду сировини та екстрагенту на величину коефіцієнта масовіддачі);
- провести узагальнення дослідних даних та розробити методику інженерного розрахунку екстрактора з мікрохвильовим інтенсифікатором;
- створити експериментальний зразок апарату з мікрохвильовим інтенсифіка-

тором;

– провести випробування дослідного зразка екстрактора та визначити його техніко-економічні показники.

Об'єкт дослідження – комбіновані процеси і обладнання для екстрагування цільових компонентів із рослинної сировини в умовах мікрохвильового поля.

Предмет дослідження – кінетика екстрагування цільових компонентів із насіння амаранту в умовах мікрохвильового поля.

Методи дослідження – теорія подібності, методи теплофізичного моделювання, фізичні методи аналізу структури розчинів, експериментальні дослідження з використанням контрольно-вимірювальної апаратури та аналітичні дослідження з використанням електронно-обчислювальної машини (ЕОМ).

Наукова новизна одержаних результатів: В роботі розширюється наукова гіпотеза, що запропонована професором Бурдо О.Г., про можливість суттєвого зниження дифузійного опору при екстрагуванні за рахунок організації бародифузійного потоку розчинника із сировини в умовах узгодження параметрів мікрохвильового поля, із характеристиками об'єкту та процесу екстрагування.

Вперше визначена залежність впливу потужності мікрохвильового поля, температури, розміру частинок, гідромодуля на зміну концентрації і значення коефіцієнту масовіддачі; співвідношення безрозмірних чисел подібності для розрахунку інтенсивності масоперенесення в екстракторі із мікрохвильовим інтенсифікатором (МІ) при виробництві олії із насіння амаранту.

Методом «аналізу розмірностей» обґрунтована структура рівняння в узагальнених змінних для розрахунку комбінованих процесів екстрагування із рослинної сировини.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблений і запропонований спосіб отримання олії із насіння амаранту під дією МХП дозволяє використовувати його для виробництва олії із різних видів рослинної сировини.

Розроблена установка для отримання дослідних зразків рослинних олій дозволяє моделювати процес екстрагування в умовах виробництва і може бути використана при дослідженнях процесів екстрагування інших систем «тверде тіло – рідина».

Проведено хімічний аналіз екстрактів амарантової олії в «Укрметертестстандарт» м. Києві, «Вищій хіміко-технологічній школі» м. Прага, що показав привабливість продукту в зв'язку із підвищеним вмістом сквалену, токоферолів, лінолевої та ліноленової кислот.

Розраховано екстракційний апарат і отримані робочі режими для екстрагування олії із насіння амаранту, які передані для впровадження на ТОВ «Українській Чорноморській Індустрії» м. Іллічівськ.

Особистий внесок здобувача. Здобувач провела теоретичні та експериментальні дослідження процесу екстрагування під дією мікрохвильового поля із насіння амаранту. Отримала кінетичні залежності зміни концентрації олії в твердому тілі та рідині, а також критеріальне рівняння для розрахунку коефіцієнту масовіддачі. Виконала дослідження статичних і динамічних закономірностей процесу екстрагування та провела узагальнення отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на щорічних конференціях науково-викладацького складу ОНАХТ 2009 – 2012 рр., на Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергетичної ефективності харчових і хімічних виробництв» (м. Одеса, 2009 р.), на XIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» (м. Одеса, 2010 р.), на Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених і студентів «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, готельного, ресторанного господарств і торгівлі» (м. Харків, 2011 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (м. Одеса, 2011 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційність розвитку сучасного аграрного виробництва» (м. Львів, 2011 р.), на IV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні тенденції у харчових технологіях та якість і безпечність продуктів» (м. Львів, 2012 р.), на XIV Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» (м. Одеса, 2012 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 23 статті, серед них: 10 у фахових виданнях, 1 в міжнародному науково-практичному журналі, тез 12 доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, який налічує 131 найменування та трьох додатків (17 сторінок).

Роботу викладено на 153 сторінках, які включають 46 рисунків (21 стор.), 11 таблиць (10 стор.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання досліджень наведені наукова новизна, практичне значення та особистий внесок автора, представлена апробація результатів, публікації автора.

В першому розділі «Стан питання та шляхи інтенсифікації процесу екстрагування при виробництві олії із рослинної сировини» проведено аналіз проблем, які виникають при виробництві олій із рослинної сировини, обґрунтована актуальність інтенсифікації процесів масоперенесення при екстрагуванні олії із рослинної сировини. Розглянуто перспективний напрямок виробництва олії, яка є новітньою альтернативою загальноприйнятим технологіям. Обґрунтовано перспективність комбінованих процесів мікрохвильового впливу, при якому можлива значна інтенсифікація процесу масоперенесення.

У другому розділі «Вибір напряму досліджень, опис методик та об'єктів досліджень з екстрагування цільових компонентів із насіння амаранту» обумовлено вибір напряму досліджень, описано методики та об'єкти досліджень з екстрагування цільових компонентів із рослинної сировини. Приведена структурна схема проведення досліджень, в якій викладені методологічні основи і взаємозв'язок етапів рішення проблеми виробництва олії із насіння амаранту (рис.1). Дана загальна характеристика об'єктів екстрагування та методів вилучення цільових компонентів, які містяться в насінні амаранту.

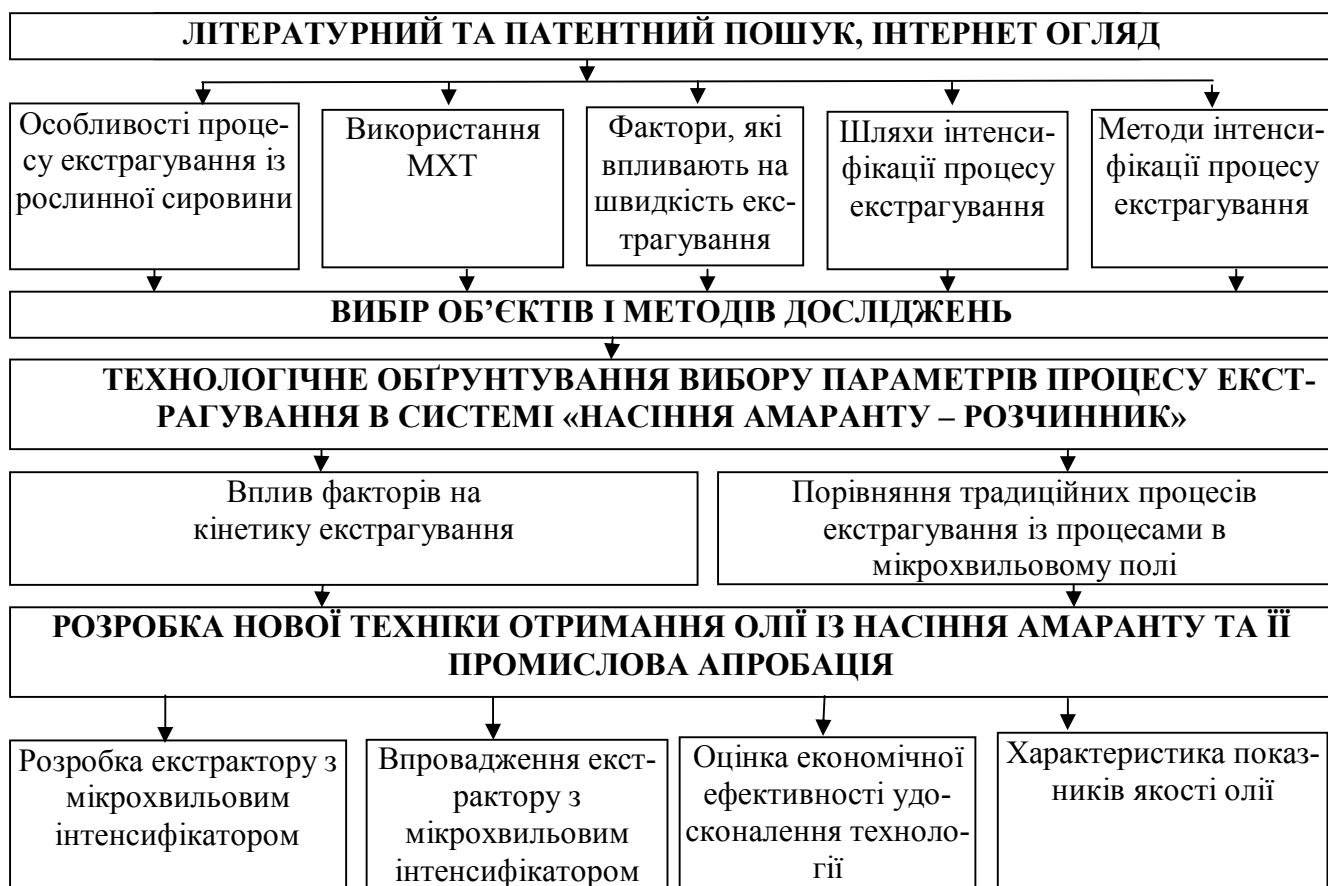


Рис. 1. Програма проведення досліджень

Подано методики для визначення фазової рівноваги, дослідження кінетики масообміну, визначення коефіцієнту дифузії.

Головними факторами, що визначають інтенсивність масовіддачі, є: розмір частинок (d), густина потоку (ρ), в'язкість потоку (μ), коефіцієнт дифузії (D), потужність мікрохвильового інтенсифікатора (W), витрати продукту ($G_{\text{пр}}$) та розчинника ($G_{\text{роз}}$), теплота пароутворення (r), різниця концентрацій (ΔC), гравітаційна стала (g). На основі методу аналізу розмірностей отримали степеневу функцію залежності коефіцієнта масовіддачі від наведених параметрів:

$$\frac{M}{c} = (M)^a \cdot \left(\frac{\kappa Z}{M^3}\right)^b \cdot \left(\frac{\kappa Z}{M \cdot c}\right)^c \cdot \left(\frac{M^2}{c}\right)^e \cdot \left(\frac{M^2}{c^2}\right)^f \cdot \left(\frac{\kappa Z \cdot M^2}{c^3}\right)^g \cdot \left(\frac{\kappa Z}{M^3}\right)^h \cdot \left(\frac{M}{c^2}\right)^i \cdot \left(\frac{\kappa Z}{c}\right)^j \cdot \left(\frac{\kappa Z}{c}\right)^k \quad (1)$$

Комбінації параметрів дають традиційні числа подібності Шервуда (Sh), Шмідта (Sc), параметричний комплекс (Γ), який враховує значення гідромодуля. Для врахування впливу мікрохвильового поля використовується новий безрозмірний комплекс, який отримано в результаті наступної комбінації:

$$\left(\frac{\mu^2}{d^2 \cdot r \cdot \rho^2}\right)^{-f} \cdot \left(\frac{W \cdot d \cdot \rho^2}{\mu^3}\right)^g \cdot \left(\frac{G_{\text{роз}}}{d \cdot \mu}\right)^{-1} = \frac{W}{G_{\text{роз}} \cdot r} = Bu \quad (2)$$

Число енергетичної дії показує співвідношення між енергією випромінювання і енергією, яка необхідна для перетворення в пару всього розчину, який проходить через екстрактор. Чим більше число Bu , тим більше утворення парової фази, інтен-

сивніше насичення екстрагенту з глибини капілярів, більша турбулізація приграничного шару.

Модель процесу екстрагування при мікрохвильовому енергопідводі виражається залежністю числа Шервуда (Sh) від чисел Шмідта (Sc), енергетичної дії (Bu) і безрозмірного параметричного комплексу (Γ).

$$Sh = A \cdot Sc^n \cdot \Gamma^m \cdot Bu^k \quad (3)$$

Для визначення поточної концентрації отримано рівняння, де враховано початкову концентрацію (C_0), розмір частинок (r), тривалість екстрагування (τ), гравітаційну сталу (g), поточну температуру (t) та температуру кипіння (t_k):

$$C = A \cdot C_0 \cdot \left(\frac{t}{t_k}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{g \cdot \tau^2}{r}\right)^\gamma \quad (4)$$

В третьому розділі «Експериментальне дослідження процесу екстрагування в системі «насіння амарант – розчинник» представлено результати експериментальних досліджень кінетики екстрагування цільових компонентів із насіння амаранту.

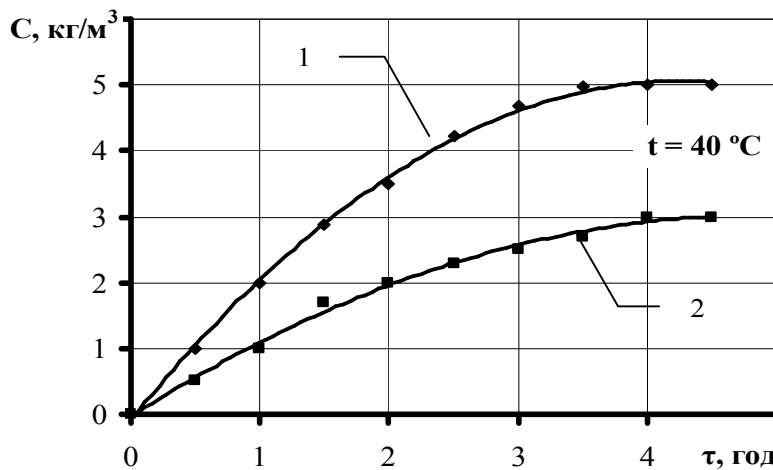


Рис. 2. Вплив тривалості екстрагування та розміру частинок на ступінь вилучення олії спиртом

1 – $d_{ch} = 0,28$ мм; 2 – ціле насіння (1,6 мм)

цілого насіння – 3 кг/м^3 (рис. 2).

Експерименти в умовах МХП проводились як в стаціонарних умовах, так і при безперервному процесі на експериментальному стенді (рис. 2) в широкому діапазоні параметрів (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані експериментальних досліджень

Параметри	Розчинники		
	спирт	гексан	нефрас
Концентрація, кг/м^3	0,8...18	1,0...16	1,7...7,0
Температура, $^{\circ}\text{C}$	20...78	20...55	20...80
Гідромодуль (Γ)	1:2...1:4	1:2...1:4	1:2...1:4
Тривалість проведення експерименту, хв	3...180	3...180	3...180
Розмір частинок, мм	0,28...1,8	0,28...1,8	0,28...1,8
Потужність МХП, Вт	127...425	127...425	127...425

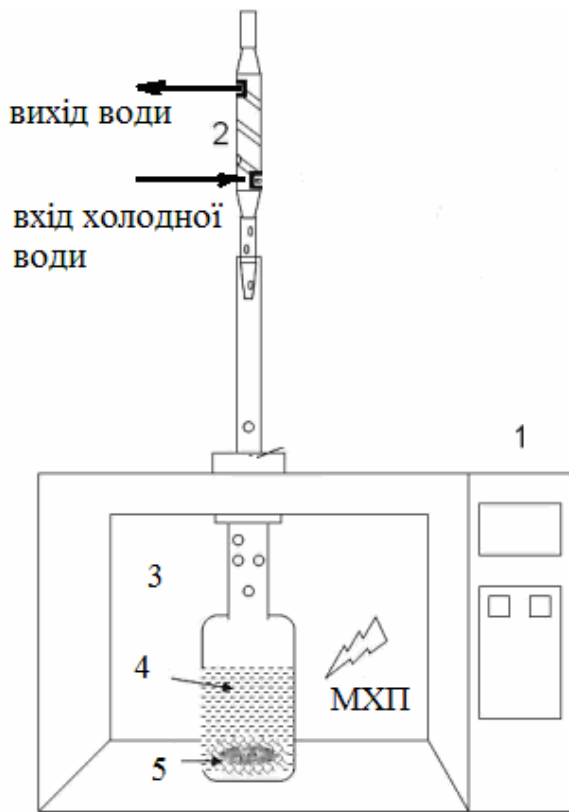


Рис. 3. Експериментальний стенд

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.

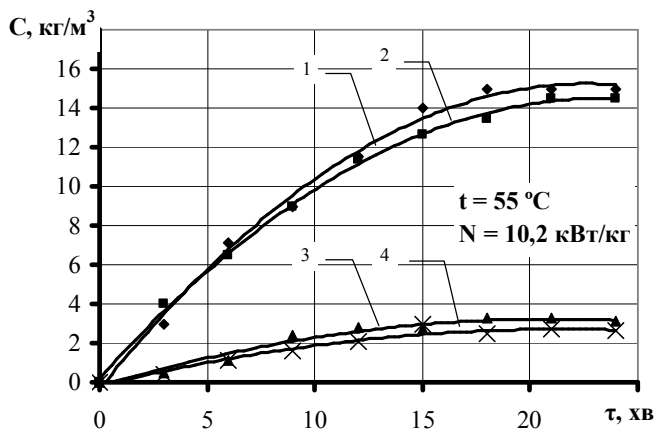


Рис. 4. Вплив тривалості екстрагування та гідромодуля на ступінь вилучення олії гексаном

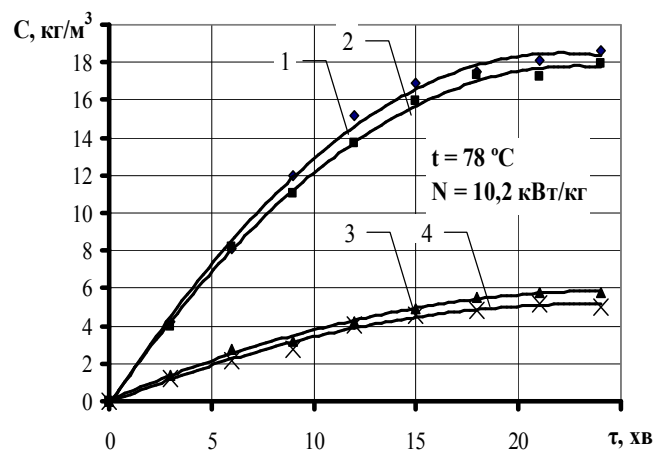


Рис. 5. Вплив тривалості екстрагування та гідромодуля на ступінь вилучення олії спиртом

1 – $d_{\text{ч}} = 0,28$ мм (Г 1:4); 2 – $d_{\text{ч}} = 0,28$ мм (Г 1:3); 3 – ціле насіння (Г 1:4); 4 – ціле насіння (Г 1:3)

Зміна гідромодуля (рис. 4, 5) на одну одиницю збільшує вихід екстрактивних речовин в 1,1 рази. Таке збільшення не є суттєвим, тому подальші дослідження проводили при Г 1:3.

Вплив ступеня подрібнення. Подрібнення твердих частинок призводить до збільшення поверхні контакту фаз, зменшення внутрішнього дифузійного опору, і тим самим, до прискорення процесу екстрагування. Але надмірно висока дисперсність насіння може призвести до погіршення техніко-економічних показників процесу.

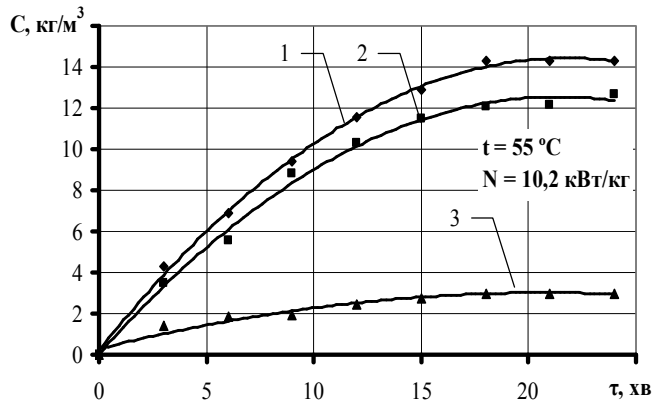


Рис. 6. Вплив тривалості екстрагування та розміру частинок на ступінь вилучення олії гексаном

1 – $d_{\text{ч}} = 0,28$ мм; 2 – $d_{\text{ч}} = 0,56$ мм; 3 – ціле насіння 1,6 мм

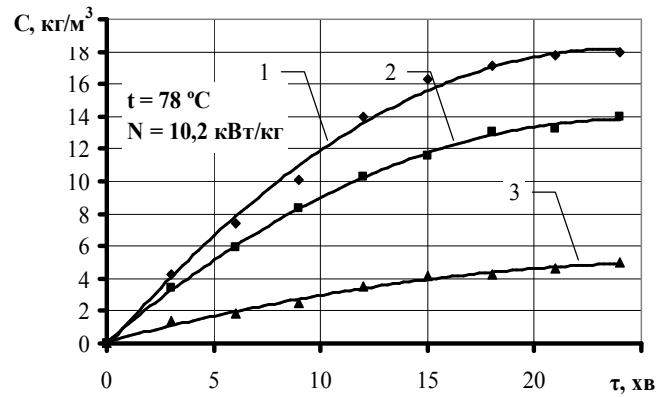


Рис. 7. Вплив тривалості екстрагування та розміру частинок на ступінь вилучення олії спиртом

Аналіз експериментальних досліджень з кінетики екстрагування олії із насіння амаранту при різних розмірах показав, що під час екстрагування олії із неподрібненого насіння процес проходить досить повільно (рис. 6, 7). Це свідчить про наявність бар'єрів на шляху проникнення цільових компонентів із ядер насіння до поверхні фазового контакту.

Вплив розчинника. Раціональний вибір екстрагенту для вилучення із «твердих тіл» визначеної групи речовин характеризує інтенсивність процесу і якість отриманого екстракту. На рис. 8 – 11 наведені експериментальні залежності з кінетики екстрагування олії н-гексаном та спиртом при розмірі частинок 0,28 мм та гідромодулі 1:3 різними розчинниками при температурі 40 °C і температурі кипіння.

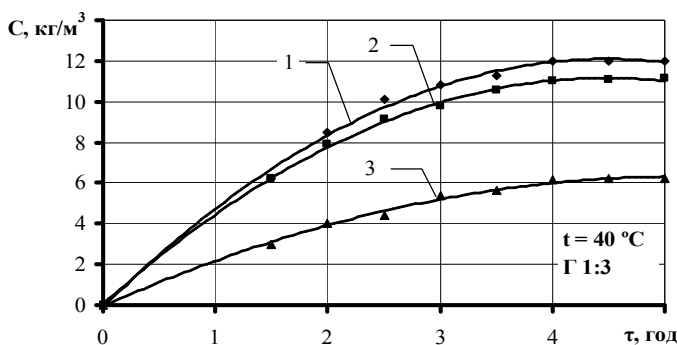


Рис. 8. Залежність концентрації олії від тривалості при екстрагуванні з насіння амаранту розміром 0,28 мм розчинниками:

1 – спирт; 2 – н-гексан; 3 – нефрас

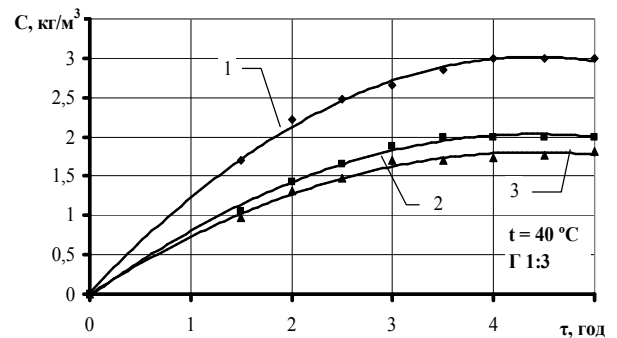


Рис. 9. Залежність концентрації олії від тривалості при екстрагуванні з цілого насіння амаранту розчинниками:

1 – спирт; 2 – н-гексан; 3 – нефрас

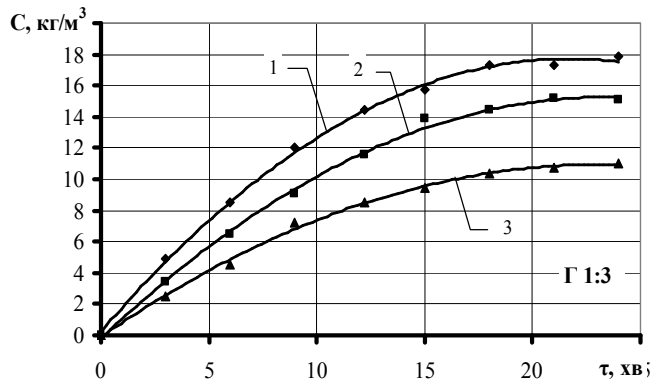


Рис. 10. Залежність концентрації олії від тривалості при екстрагуванні з насіння амаранту розміром 0,28 мм розчинниками: 1 – спирт ($t_{\text{кип}} = 78^\circ\text{C}$); 2 – н – гексан ($t_{\text{кип}} = 55^\circ\text{C}$); 3 – нефрас ($t_{\text{кип}} = 80^\circ\text{C}$)

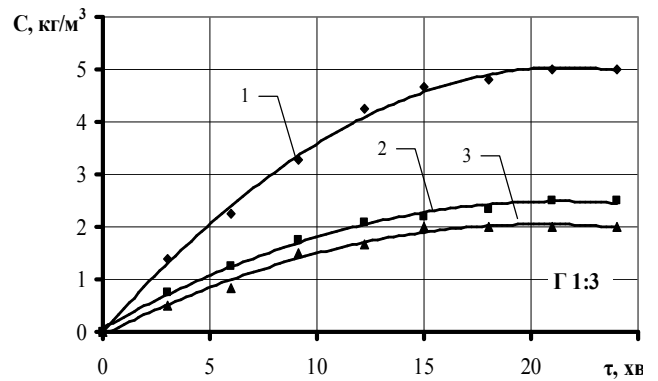


Рис. 11. Залежність концентрації олії від тривалості при екстрагуванні з цілого зерна амаранту розчинниками: 1 – спирт ($t_{\text{кип}} = 78^\circ\text{C}$); 2 – н – гексан ($t_{\text{кип}} = 55^\circ\text{C}$); 3 – нефрас ($t_{\text{кип}} = 80^\circ\text{C}$)

Аналіз процесу екстрагування олії з насіння амаранту спиртом показав, що екстрагування проходить більш інтенсивно порівняно з н-гексаном та нефрасом, що зумовлюється природою розчинника.

Таким чином, з названих вище розчинників, найперспективнішим є спирт, який за високих технологічних показників є одночасно менш пожежо- і вибухобезпечним.

Вплив температури. Переробка рослинної сировини при високих температурах може супроводжуватися зниженням якості, а також погіршенням масообміну в апараті через втрати пружності частинок.

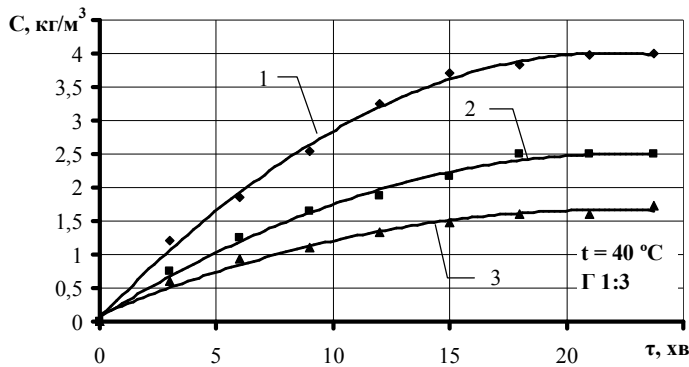


Рис. 12. Залежність концентрації олії від тривалості при екстрагуванні з цілого насіння амаранту (вплив МХП) розчинниками: 1 – спирт; 2 – н – гексан; 3 – нефрас

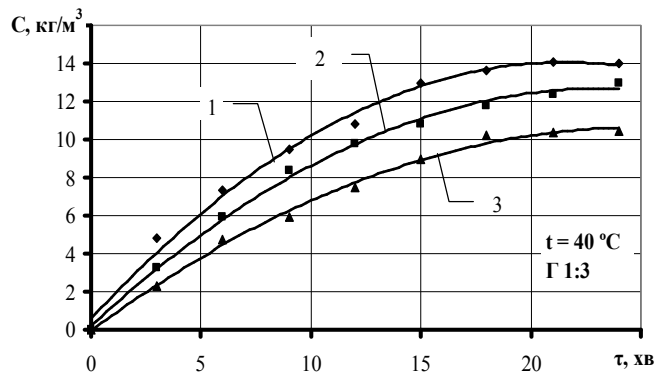


Рис. 13. Залежність концентрації олії від тривалості при екстрагуванні з насіння амаранту розміром частинок 0,28 мм (вплив МХП) розчинниками: 1 – спирт; 2 – н – гексан; 3 – нефрас

Варто зауважити, що вплив температури на кінетику процесу є вагомим, оскільки її підвищення інтенсифікує процес екстрагування, і вихід олії із насіння амаранту значно підвищується (рис. 12 – 13).

Вплив потужності поля. Механізм прискорення процесу при надвисоко-частотного нагріву (НВЧ) пов'язаний із швидким формуванням поля температур. Ту-

рбулізація потоку і дія МХП призводить до зміни коефіцієнту масоперенесення і швидкості процесу.

Послідовне збільшення потужності МХП призводить до зростання температури екстрагенту.

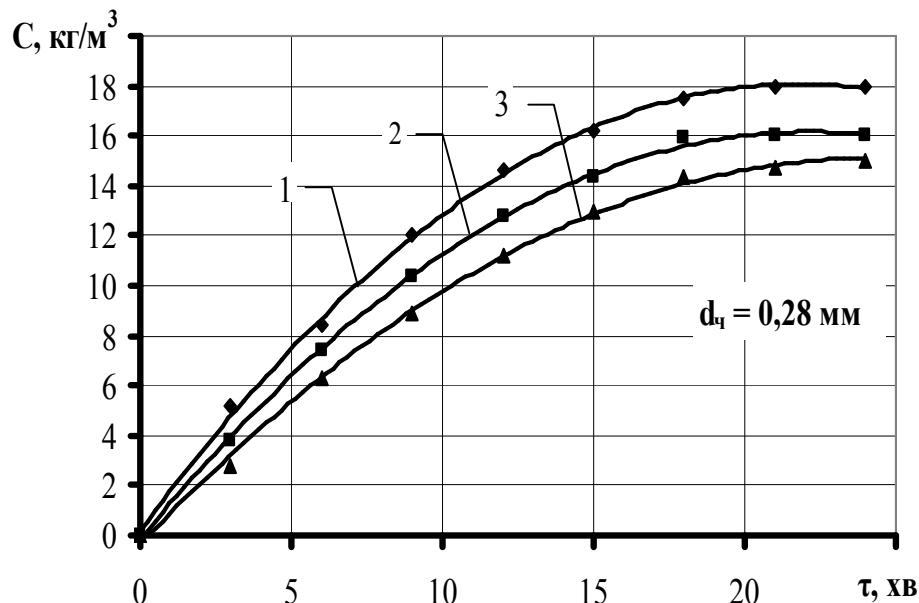


Рис. 14. Кінетика екстрагування олії спиртом із подрібненого насіння з використанням МХП при: 1 – $N = 0,2$ кВт/кг; 2 – $N = 8,04$ кВт/кг; 3 – $N = 5,08$ кВт/кг

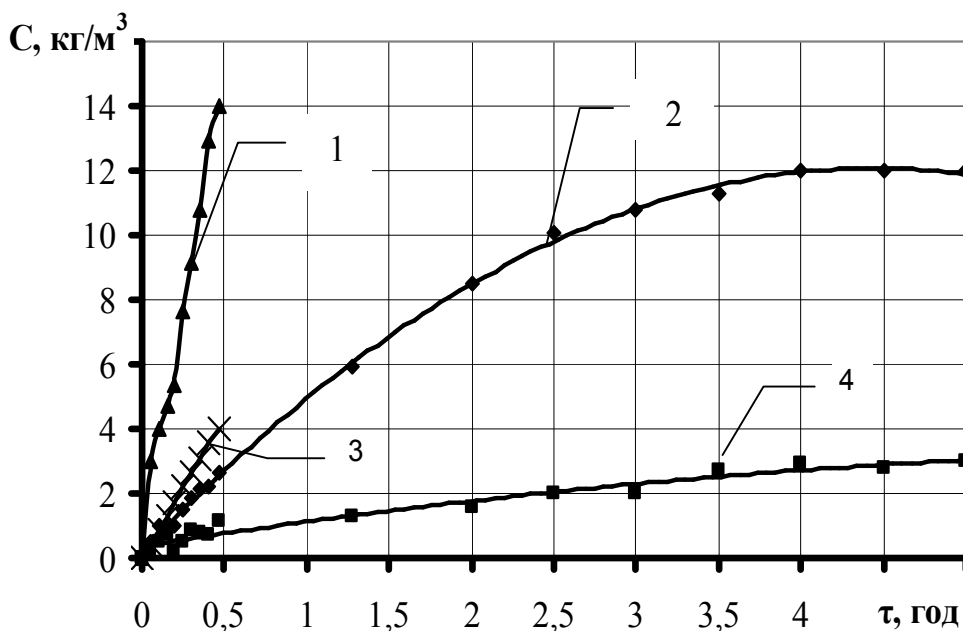


Рис. 15 Залежність концентрації олії від тривалості при екстрагуванні спиртом при $t = 40$ °C: в термостаті: 2 – $d_{\text{ч}} = 0,28$ мм; 4 – ціле насіння; під дією МХП: 1 – $d_{\text{ч}} = 0,28$ мм; 3 – ціле насіння лює дію бародифузії.

ри екстрагенту.

Аналіз процесу екстрагування олії спиртом (рис. 14) показує, що чим більша потужність, тим більше вилучення екстрактивних речовин (на 16 %).

Для порівняння провели дослід з вилучення екстрактивних речовин із насіння амаранту методом традиційного нагріву в термостаті при температурі $t = 40$ °C (рис. 15). Із рис. 15. видно, що інтенсивність вилучення екстрактивних речовин збільшується при використанні МХП в 4 рази.

Такі дані свідчать про те, що при однакових температурах екстрагенту вихід екстрактивних речовин вищий в випадку використання мікрохвильового поля. Це пояснюється градієнтом температур, що зумовлює

У четвертому розділі наведена інженерна методика розрахунку екстрактору з

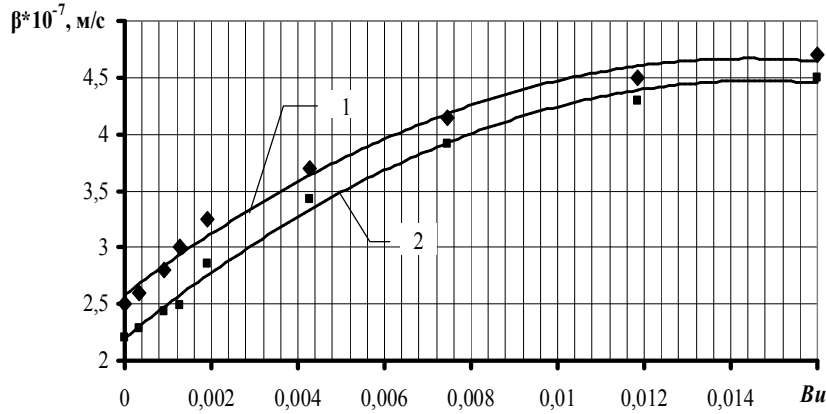


Рис. 16. Залежність коефіцієнту масовіддачі від числа енергетичної дії (Bu). Розчинники: 1 – спирт; 2 – н - гексан

мікрохвильовим інтенсифікатором.

Основною задачею розрахунку є визначення коефіцієнту масовіддачі (β), який за експериментальними результатами суттєво залежить від числа Bu (рис. 16).

В результаті обробки експериментальних даних методом найменших квадратів отримано значення показників в моделі (3).

Критеріальне рівняння для різних розчинників має вигляд:

$$Sh = 1,2 \cdot Sc^{0,33} \cdot \Gamma^{0,24} \cdot Bu^{0,68} \quad \text{— для спирту;} \quad (5)$$

$$Sh = 0,96 \cdot Sc^{0,33} \cdot \Gamma^{0,2} \cdot Bu^{0,48} \quad \text{— для н – гексану} \quad (6)$$

При використанні спирту коефіцієнти масовіддачі мають більші значення (рис. 16).

В основі алгоритму проектування екстрактору із мікрохвильовим інтенсифікатором лежать такі блок – схеми (рис. 17):

- блок – схема розрахунку теплофізичних властивостей (БС ТФВ);
- блок – схема розрахунку кінетики масоперенесення (БС КМП);
- блок – схема розрахунку температури продукту (БС ТП);
- блок – схема визначення масового балансу (БС МБ).

В БС ТП поточна температура екстракту визначається в залежності від потужності МХП (W), ККД генератора МХ поля (η), масових витрат та питомих теплоємностей відповідно зерна (G_n , c_{pn}) та розчину (G_p , c_{pp}), а також втрати теплоти від корпусу екстрактору в навколишнє середовище ($Q_{втр}$):

$$t_\tau = t_n + \frac{(\eta \cdot W - Q_{втр}) \cdot \tau}{G_n c_{pn} + G_p c_{pp}} \quad (7)$$

В БС МБ зміна поточної маси олії в зернах (M_τ^n) розраховується як різниця початкової маси (M_n) та вже вилученої маси ($\sum M_\tau^p$) за час (τ).

$$M_\tau^n = M_n - \sum M_\tau^p \quad (8)$$

В БС КМП ключовою процедурою є розрахунок коефіцієнта масовіддачі.

$$\beta = \frac{Sh \cdot D}{d_\tau} \quad (9)$$

Число Шервуда (Sh) визначається із критеріального рівняння (5).

Для сировини рослинного походження, до якого відноситься насіння амаранту, характерна істотна зміна механічних, теплофізичних та дифузійних властивостей протягом процесу екстрагування. В даному випадку використовуються інтервальні

методи розрахунку, які враховують вплив перерахованих факторів на процес екстрагування.

В результаті реалізації схеми (рис. 17) зроблено проект експериментального екстрактора з МІ для екстрагування олії із насіння амаранту (рис. 18).

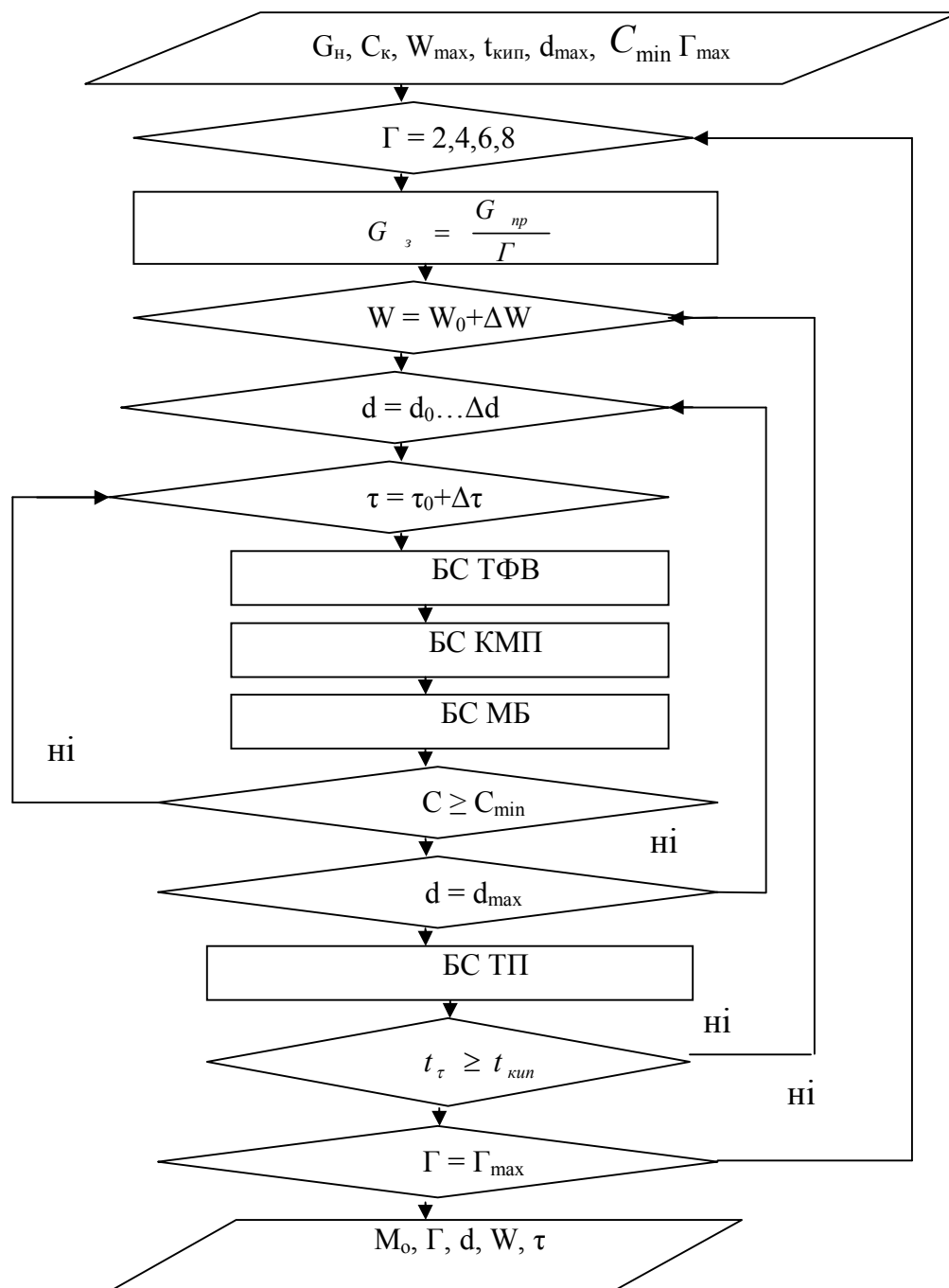


Рис. 17. Блок – схема розрахунку екстрактора з МІ

Розроблена експериментальна установка екстрактора із мікрохвильовим інтенсифікатором забезпечує проведення досліджень із екстрагування олії із рослинної сировини.

Характеристики установки: об'єм розчинника – $V = 0,008 \text{ м}^3$; маса насіння амаранту – $M_n = 2 \text{ кг}$; тривалість екстрагування $\tau = 75 - 80 \text{ хв}$; маса виходу олії – $M_o = 0,25 \text{ кг}$, питома потужність мікрохвильового поля – $N = 10,2 \text{ кВт/кг}$.

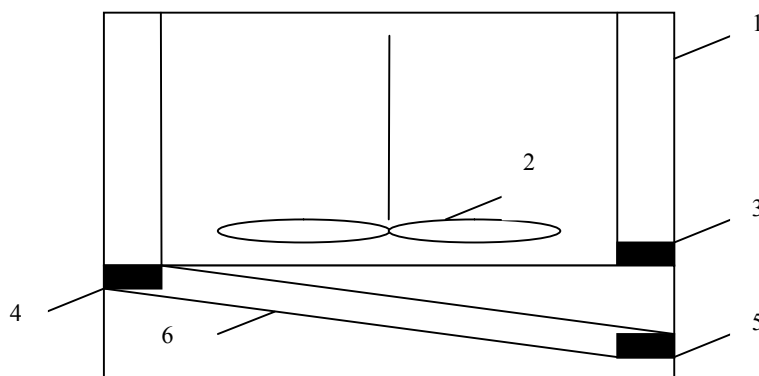


Рис. 18. Експериментальна установка екстрактора із МІ: 1 – кожух; 2 – мішалка; 3 – датчик для вимірювання температури проміжного теплоносія; 4 – датчик для вимірювання температури на вході в МІ; 5 – датчик для вимірювання температури на виході із МІ; 6 – мікрохвильовий інтенсифікатор

Порівняльна характеристика розробленого екстрактора з МІ та екстрактора марки ГОРО «Інженірінг» наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики екстракторів

Параметри	Марка екстрактора	
	ГОРО «Інженірінг»	з мікрохвильовим інтенсифікатором
Максимальна маса сировини, кг	3	2
Об'єм екстрактора, л	10	8
Потужність, кВт	3,0	1,225
Питома кількість теплоти, МДж/кг	24	8,3

Проведені стендові випробування показали, що питомі витрати енергії на 1 кг олії в розробленому екстракторі майже в 3 рази менші ніж у промисловому екстракторі марки ГОРО «Інженірінг».

Експериментальні дані показали, що вихід олії із насіння амаранту під час екстрагування спиртом в 1,5 разів більший, ніж при екстрагуванні н – гексаном (табл. 3).

Таблиця 3

Вихід олії при екстрагуванні розчинниками

Показник	Розчинники	
	спирт	н - гексан
Маса зразка, кг	1,2	2,7
Тривалість екстрагування, хв	16	12
Температура, °С	76	40
Вихід олії, %	5,75	3,8

Суттєвою перевагою бародифузійних технологій є той факт, що значно полегшується вихід із «твердої фази» крупних молекул і поєднань. Саме такі можливості дозволяють збільшити ступінь вилучення сквалену і токоферолів при виробництві олії із насіння амаранту.

Показники якості олії з насіння амаранту

Розчинник	Масова доля сквалену, г/кг	Масова доля токоферолу, мг/кг		
		А	β	δ
гексан	8,2	301	410	96
спирт	33,1	402	855	181

З табл. 4 видно, що спосіб екстрагування під дією мікрохвильового поля в порівнянні із традиційними технологіями дозволяє в 4 рази підвищити вихід більш цінного компоненту – сквалену. Майже в 2 рази підвищився вихід токоферолів. Отримані результати доказують високу ефективність способу.

Висновки

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено наукове положення щодо інтенсифікації процесів масоперенесення при екстрагуванні із рослинної сировини під дією МХП за рахунок бародифузії.
2. Встановлено, що в залежності від співвідношення режимних параметрів значення коефіцієнту масовіддачі при екстрагуванні із рослинної сировини можна збільшити в 1,5...2 рази в порівнянні з традиційними технологіями, а ступінь вилучення екстрактивних речовин із насіння амаранту можна довести до рівня 30...35 %.
3. Визначено, що ступінь інтенсифікації масоперенесення від дії мікрохвильового поля зменшується із збільшенням розміру частинок подрібненого насіння амаранту. Так, для цілого насіння в порівнянні з традиційною технологією це значення становить 1,5...1,7 рази, а для подрібненого насіння ($d = 0,28$ мм) – 2,5...3 рази.
4. Встановлено умови найбільш ефективного вилучення олії, а саме значення гідромодуля 1:3...1:5, ступінь подрібнення 0,3...0,6 мм.
5. Доведено, що значний вплив на значення коефіцієнту масовіддачі має потужність мікрохвильового поля. Підвищення потужності МХП в 1,2...1,5 рази приводить до збільшення виходу екстрактивних речовин на 16 %. Число пароутворення (Bu), яке виражає співвідношення потужності мікрохвильового поля та потужності, що необхідна для перетворення всієї рідини в пару, враховує вплив МХП на інтенсивність екстрагування та узгоджує масив експериментальних даних, із похибкою 8...9 %.
6. Виробниче випробування екстрактору з МІ підтверджує коректність запропонованої інженерної методики проектування мікрохвильових екстракторів. Розроблений екстрактор в порівнянні із промисловим зразком марки ГОРО «Інженірінг» потребує питомої кількості теплоти 8,3 МДж/кг. Термін окупності екстрактору становить 3,4 роки.
7. Розроблений екстрактор забезпечує високу якість олії із насіння амаранту Вихід масової долі сквалену становить 33,1 – 38,8 г/кг.

СПИСОК ПРАЦЬ, ЩО ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Светлічний, П. І. Підвищення ефективності технології виробництва біопалива [Текст] / П.І. Светлічний, С. М. Буйвол, В. М. Бандура // Збірник наукових праць ОНАХТ – 2009. – Вип. 35. – С. 256 – 259.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

2. Бурдо, О. Г. Екстрагування олії з насіння амаранту та ріпака [Текст] / О. Г. Бурдо, С. М. Буйвол, В. М. Бандура, П. І. Светлічний // Збірник наукових праць ОНАХТ – 2009. – Вип. 36 – Т. 1 – С. 302 – 307.

Особистий внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень.

3. Бандура, В. М. Дослідження кінетики екстрагування при переробці рослинної сировини в біопаливо [Текст] / В. М. Бандура, С. М. Буйвол // Вібрації в техніці та технологіях – 2010 – № 4 (60) – С. 98 – 100.

Особистий внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

4. Бурдо, О. Г. Кінетика процесу екстрагування в електромагнітному полі [Текст] / О. Г. Бурдо, С. М. Буйвол, В. М. Бандура // Збірник наукових праць ОНАХТ – 2010. – Вип. 38 – Т. 2 – С. 330 – 333.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

5. Буйвол, С. М. Експериментальне моделювання екстрагування в технології виробництва амарантової олії [Текст] / С. М. Буйвол // Збірник наукових праць ОНАХТ – 2010. – Вип. 37 – С. 178 – 181.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень.

6. Буйвол, С. М. Математична модель процесу екстрагування в системі «тверде тіло – рідина» [Текст] / С. М. Буйвол, П. І. Светлічний // Збірник наукових праць ВНАУ – 2011. – Вінниця – Вип. 9 – С. 106 – 109.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

7. Буйвол, С. М. Інтенсифікація екстрагування олії в електромагнітному полі [Текст] / С. М. Буйвол, П. І. Светлічний, С. А. Малашевич // Збірник наукових праць ОНАХТ – 2011. – Вип. 39 – Т. 2 – С. 163 – 166.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

8. Бурдо, О. Г. Моделювання процесу екстрагування за виробництва олії амаранту [Текст] / О. Г. Бурдо, С. М. Буйвол // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького – Львів – 2011 – Том 13 – № 4 (50) – Ч. 4 – С. 15 – 19.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

9. Буйвол, С. М. Дослідження процесу екстрагування із використанням мікрохвильового поля [Текст] / С. М. Буйвол, А. К. Бурдо, В. М. Бандура // Харчова наука і технологія – Одеса – 2012 – № 1 (18) – С. 115 – 118.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

10. Буйвол, С. М. Узагальнення бази експериментальних даних при екстрагуванні рослинної сировини в електромагнітному полі [Текст] / С. М. Буйвол, О. Г. Бурдо // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Мелітополь – 2011 – Вип. 11 – Том 6 – С. 234 – 238.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

11. Буйвол, С. М. Дослідження рослинних олій, які отримані з нетрадиційної сировини [Текст] / С. М. Буйвол // Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів та студентів ОНАХТ – 2009 – С. 283 – 284.

Особистий внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

12. Бурдо, О. Г. Энергетическая стратегия развития агропромышленного комплекса в условиях кизиса [Текст] / О. Г. Бурдо, С. М. Буйвол // Problemele energeticii regionale – Chisinau – 2009 – № 1(9) – С. 7 – 12.

Особистий внесок здобувача: проведення літературного аналізу для розвитку агропромислового комплексу.

13. Бурдо, О. Г. Екстрагування олії з насіння амаранту в електромагнітному полі [Текст] / О. Г. Бурдо, П. І. Светлічний, С. М. Буйвол // Матеріали збірника мікрохвильові технології у народному господарстві. Впровадження. Проблеми. Перспективи: Вип. 7 – 8. Редактор – академік МАІ Калінін Л.Г. Міністерство агрополітики України. Південна філія відділення промислової радіоелектроніки МАІ; Київ-Одеса – 2009 – С. 33 – 37.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

14. Светлічний, П. І. Енергетичний моніторинг технології виробництва біопалива [Текст] / П. І. Светлічний, С. М. Буйвол, В. М. Бандура // Матеріали конференції «Проблеми енергетичної ефективності харчових і хімічних виробництв», 7 – 11 вересня, 2009. – ОНАХТ – С. 66 – 69.

Особистий внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень.

15. Буйвол, С. М. Вивчення групового та жирокислотного складу амарантової олії [Текст] / С. М. Буйвол // Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів та студентів ОНАХТ – 2010 – том 1 – С. 191 – 193.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

16. Буйвол, С. М. Особливості екстрагування амарантової олії різними розчинниками [Текст] / С. М. Буйвол // Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів та студентів ОНАХТ – 2011 – том 1 – С. 162 – 163.

Особистий внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень.

17. Буйвол, С. М. Екстракція як метод виділення біологічно активних сполук [Текст] / С. М. Буйвол, О. Г. Бурдо // Тези доповідей всеук.наук.-прак. конф. молодих учених і студентів «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, готельного, ресторанного господарств і торгівлі», 23 березня, 2011 – Харків: ХДУХТ – 2011. – Ч. 1. – С. 311.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

18. Мойсієнко, А. С. Дослідження процесу екстрагування під впливом електромагнітного поля при переробці рослинної сировини [Текст] / А. С. Мойсієнко, С. М. Буйвол // Збірник тез доповідей «Науково-технічна творчість

студентів з процесів і обладнання харчових виробництв» – Донецьк – 2011 – Вип. 3 – С. 146 – 147.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до публікації.

19. Бурдо, О. Г. Кінетика екстрагування олії із рослинної сировини з використанням мікрохвильового поля [Текст] / О. Г. Бурдо, С. М. Буйвол, В. М. Бандура // Збірник статей «Новітні тенденції у харчових технологіях та якість та безпечність продуктів» – Львів – 2012 – С. 29 – 33.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення.

20. Буйвол, С. М. Использование энергоподвода при экстрагировании. [Текст] / С. М. Буйвол, О. Г. Бурдо // Тезисы докладов VIII Международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств» – Могилев – 2012 – Часть 2 – С. 44.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення.

21. Мойсієнко, А. С. Моделювання процесу екстрагування із рослинної сировини [Текст] / А. С. Мойсієнко, С. М. Буйвол // Техніка та технологія харчових виробництв – Донецьк – 2012 – Вип. 8 – С. 52 – 53.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення.

22. Буйвол, С. М. Екстрагування олії із нетрадиційної сировини. [Текст] / С. М. Буйвол, О. Г. Бурдо // Тези доповідей всеук.наук.-прак. конф. молодих учених і студентів «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, готельного, ресторанного господарств і торгівлі», 25 квітня, 2012 – Харків: ХДУХТ – 2012. – Ч. 2. – С. 41

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення.

23. Бурдо, О. Г. Екстрагування олій із рослинної сировини з використанням мікрохвильової технології [Текст] / О. Г. Бурдо, С. М. Буйвол // Матеріали міжнародної науково-практичної конф. «Удосконалення процесів і обладнання – запорука Інноваційного розвитку харчової промисловості» – Київ: НУХТ – 2012. – С. 124 – 126.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення.

АНОТАЦІЯ

Капетула С.М. Кінетика екстрагування олії із насіння амаранту в мікрохвильовому полі – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Одеська національна академія харчових технологій, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Одеса 2012.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню кінетики процесу екстрагування олії із рослинної сировини під дією електромагнітного поля. Описано гідродина-

мічні та масообмінні характеристики процесу в умовах підводу імпульсного електромагнітного поля. Показано, що основним фактором інтенсифікації є виникнення потужного механізму перенесення – бародифузії, що з'являється в умовах підводу мікрохвильового поля за рахунок локального перегріву рідини в середині капілярів. На основі експериментального моделювання визначені умови фазових рівноваг в системі “тверде тіло – рідина”, залежності коефіцієнту масовіддачі.

Експериментально досліджено і проаналізовано вплив режимних параметрів на кінетику процесу екстрагування. Встановлено методи та режими процесу екстрагування із використанням мікрохвильового інтенсифікатора.

Отримані експериментальні результати було представлено в узагальнюючому виді в формі критеріального рівняння залежності числа Шервуда (Sh) від чисел Шмідта (Sc), енергетичної дії (Bu) і безрозмірного параметричного комплексу (Γ), який враховує значення гідромодуля. Розроблено методику розрахунку екстрактору для отримання олій із рослинної сировини.

Запропоновано інженерну методику розрахунку екстрактора з електромагнітним інтенсифікатором. На основі експериментальних досліджень розроблено технологічну схему процесу екстрагування олії під впливом мікрохвильового поля.

Ключові слова: амарантова олія, екстрагування, інтенсивність масоперенесення, математична модель, мікрохвильовий інтенсифікатор.

АННОТАЦИЯ

Капетула С.М. Кинетика экстрагирования масла из семени амаранта в микроволновом поле – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. Одесская национальная академия пищевых технологий, Министерство образования, науки, молодежи и спорта Украины, Одесса 2012.

Диссертация посвящена усовершенствованию оборудования для получения масел из растительного сырья с использованием микроволнового интенсификатора. Показано, что экстракторы с микроволновым интенсификатором являются перспективной техникой. За счет влияния микроволнового поля при экстрагировании можно получить больший процентный выход масла с более ценными компонентами, сократить длительность технологического процесса и интенсифицировать его, а также снизить затраты энергии по сравнению с традиционными технологиями.

Процесс экстрагирования в условиях микроволнового поля характерен электродиффузионной моделью. Аналитические методы моделирования определили основные факторы, которые влияют на режимы поставленной задачи, на основании метода анализа размерностей была обоснована структура уравнения в обобщенных переменных для расчета массообменных характеристик при проведении непрерывного процесса экстрагирования из пористого твердого тела в условиях электромагнитного поля.

Модель процесса экстрагирования при микроволновом энергоподводе выражается зависимостью числа Шервуда (Sh) от числа Шмидта (Sc), числа энергетиче-

ского воздействия (Bu) и безразмерного параметрического комплекса (Γ), учитывающего значение гидромодуля. Новое число энергетического воздействия показывает соотношение между энергией излучения и той энергией, которая необходима для преобразования в пар всего раствора, проходящего через экстрактор. Чем больше число Bu , тем больше образовывается паровой фазы, тем больше градиент давлений, тем интенсивнее выбросы насыщенного экстрагента из глубины капилляров, тем больше турбулизация пограничного слоя.

Экспериментальные исследования определили кинетические зависимости концентрации от режимных и конструктивных параметров. Установлено максимальное содержание ценных компонентов (сквален, токоферолы) амарантового масла при экстрагировании в условиях электромагнитного поля.

Экспериментально установлены кинетические характеристики зависимости изменения концентрации масла в процессе экстрагирования от степени измельчения, температуры, выбора экстрагента, мощности микроволнового поля. Природа растворителя имеет большое влияние на кинетику экстрагирования. В качестве экстрагентов использовались спирт, нефрас, н – гексан.

Сравнение процесса экстрагирования при традиционном нагреве и с помощью микроволнового поля показало эффективность последнего, поскольку в зависимости от подводимой мощности поля массоотдача увеличивается в 1,5 – 2 раза, а степень извлечения масла из семени амаранта на 30 – 35 %, что подтверждает выдвинутое в работе положение о наличии бародиффузии.

Установлены кинетические характеристики зависимости изменения концентрации масла в непрерывных процессах экстрагирования от температуры, типа экстрагента, мощности микроволнового поля. На основании данных о влиянии расхода экстрагента на выход масла были получены показатели степени чисел подобия. Предложенное число парообразования удачно корректирует опытные данные в зависимости от мощности подводимого поля.

На основании полученного уравнения в обобщенных переменных была разработана методика расчета экстрактора с микроволновым интенсификатором. Для проверки адекватности предложенной методики было проведено сравнение расчетных и опытных данных. На основании проведенный компьютерный эксперимент, основанный на предложенном алгоритме, позволил провести оптимизацию конструктивных и режимных параметров экстрактора.

Стендовые испытания изготовленного экстрактора подтвердили адекватность разработанных математических моделей. Образцы полученного масла отличались экологической безопасностью и повышенным содержанием ценных компонентов (сквален, токоферолы).

Экономическая эффективность внедрения нового способа интенсификации процесса экстрагирования масла из семени амаранта составляет 140402,92 грн. в год для одного экстрактора с микроволновым интенсификатором.

Результаты работы внедрены на ООО «Украинской Черноморской Индустрии» г. Иlicheвск.

Ключевые слова: масло амаранта, экстрагирование, интенсивность массопереноса, математическая модель, микроволновой интенсификатор.

THE SUMMARY

Kapetula S.M. Kinetics of the oil extraction from amaranth seed in electromagnetic field. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of engineering sciences in speciality 05.18.12 processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. Odessa National Academy of Food Technologies, Department of Education, Youth and Sports of Ukraine, Odessa 2012.

The present Thesis is dedicated to the research kinetics of the valuable component extraction process from raw material in electromagnetic field. The hydrodynamical and mass-transfer characteristics of the process are described under condition of pulse electromagnetic field influence. It was proved, that the major intensification factor is the occurrence of powerful transfer mechanism, namely barodiffusion which makes its occurrence under condition of pulse electromagnetic field supply due to local liquids overheat inside the capillaries. On the basis of experimental modelling there were defined the phase balance conditions of the "solid - liquid" system and mass transfer factor.

Experimentally investigated and analyzed the influence of process parameters on the kinetics of the extraction process. The methods and modes of the process of extraction were installed with using electromagnetic intensifier.

The obtained experimental results were presented in a summarizing kind in the form of criterion equation of dependence of the number of Sherwood (Sh) from the number of Schmidt (Sc), energy action (Bu) and dimensionless parametric complex (G), which takes into account the value of the ratio.

The engineering design procedure for the extractor with electromagnetic intensifier is proposed. Based on the experimental research the technological process flow diagrams of oil extracting in electromagnetic field.

Key words: amaranth oil, extraction process, mass transfer intensity, mathematical model, microwave intensification.

Підписано до друку 12.11.2012 р. Формат 60×90/16
Об'єм 0,9 умов. друк. арк. Замовлення № 39 Тираж 100 прим.

ОНАХТ 65039, м. Одеса, вул. Канатна 112