

Авторефер.
Р 99

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

РЯШКО ГАЛИНА МИХАЙЛІВНА



УДК 663.93.061.3

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ПРИ
ВИРОБНИЦТВІ РОЗЧИННОЇ КАВИ**

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

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса-2006

СнТ

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: – доктор технічних наук, професор **Бурдо Олег Григорович**, Одеська національна академія харчових технологій, кафедра процесів та апаратів, завідувач кафедри

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор, **Гумницький Ярослав Михайлович**, Інститут хімії та хімічних технологій Національного університету «Львівська політехніка», кафедра екології та охорони навколишнього середовища, професор кафедри.

– кандидат технічних наук, доцент, **Єфремов Юрій Іванович**, Харківський державний університет харчування і торгівлі, кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, доцент кафедри.

Провідна організація: – Національний університет харчових технологій, кафедра процесів і апаратів харчових виробництв та технології консервування, Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

29 листопада 2006 р. о 13³⁰ годині на засіданні
01 при Одеській національній академії
Одеса-39, вул. Канатна, 112.

12
Одеської національної
са-39, вул. Канатна, 112.

К.Г.Юрґачова

v017618
ОНАХТ

Автореф.
р 99

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Кавовий ринок України динамічно розвивається. Частка розчинної кави на цьому ринку найбільша, при цьому зростає попит на високоякісну сублімовану каву, яка практично не виробляється в нашій країні. Саме тому українські виробники істотно поступаються іноземним компаніям. Вироблена вітчизняними підприємствами порошкова розчинна кава в незначній мірі зберігає смакоароматичні речовини вихідного продукту, крім того, виробництво розчинної кави в Україні відрізняється значною енергоємністю процесу, низьким виходом цільового компонента, тривалістю процесу і використанням низьких сортів кави. За вказаних причин знижується якість готового продукту та збільшується собівартість напою.

На сьогодні виробники, які зацікавлені в одержанні високоякісного напою, віддають перевагу випуску рідкої концентрованої розчинної кави (вміст сухих речовин коливається до 50 %), яка не вимагає подальшої обробки в розпилювальних і сублімаційних сушарках, має яскраво виражений смак різних сортів кавового зерна, швидко і просто розчиняється навіть у холодній воді.

Слід зазначити, що при виробництві такої кави необхідно одержати екстракт високої концентрації. Це потребує принципово нового обладнання, що може дати скорочення тривалості процесу, зменшення габаритних розмірів і металоемності апарата, а також зниження втрат цільового компонента взагалі. Інтенсифікація процесу здійснюється різними фізико-хімічними методами, зокрема, подрібненням сировини, впливом електричного струму, ультразвуку, вібрації, обробкою ферментними препаратами, дією високих і низьких температур. Останнім часом зростає інтерес до методів, при яких інтенсифікація процесу досягається за рахунок використання електроімпульсних технологій, до яких можна віднести ударну хвилю, ультразвук, електромагнітне поле та ін. Позитивні результати використання електромагнітного випромінювання були отримані при виробництві харчового барвника з буряка, у схемі прискореного дозрівання коньячних спиртів, при добуванні кедрової олії з насіння сосни сибірської та ін. Передбачається, що використання електромагнітного випромінювання при екстрагуванні кавових зерен є перспективним напрямком, оскільки його застосування дозволить не тільки підвищити ефективність процесу, зменшити масообмінні характеристики устаткування і знизити величину витрат електричної енергії, але й поліпшити якість одержуваного продукту за рахунок інактивації окисних ферментів усередині рослинних тканин, зменшення кількості мікрофлори.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі процесів та апаратів Одеської національної академії харчових технологій у рамках держбюджетної тематики науково-дослідних робіт ("Розробка стратегії принципів та методології удосконалення енерготехнологій АПК" № 0103U003436).

Мета і завдання дослідження: Метою роботи є вивчення кінетики екстрагування з кавових зерен у мікрохвильовому полі, розробка принципової схеми, методів розрахунку і оптимізації екстракторів з електромагнітним інтенсифікатором.

Для досягнення зазначеної мети було виконано:

– дослідження умов фазової рівноваги в системі сировина – екстрагент;

- моделювання процесів екстрагування в умовах імпульсно-хвильового підведення енергії;
- створення методик експериментального дослідження та експериментального стенда;
- дослідження впливу режимних параметрів, виду сировини, його розмірів на інтенсивність масоперенесення при екстрагуванні;
- узагальнення експериментальних даних;
- розробка методів інженерного розрахунку екстракторів з електромагнітними інтенсифікаторами;
- розробка і дослідження схеми екстрактора з електромагнітним інтенсифікатором.

Об'єкт дослідження: комбіновані процеси та обладнання для екстрагування розчинних речовин з кавового зерна в умовах впливу електромагнітного поля.

Предмет дослідження: механізм, кінетика та апарат для екстрагування в умовах імпульсно-хвильового підведення електромагнітної енергії.

Методи досліджень: теорія подібності, методи теплофізичного моделювання, фізичні методи аналізу структури розчинів, експериментальні дослідження з використанням контрольно-вимірювальної апаратури та аналітичні дослідження з використанням ПЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті комплексу аналітичних, експериментальних та виробничих досліджень вперше:

- методом «аналізу розмірностей» отримано структуру рівняння в узагальнених змінних для розрахунку комбінованих процесів екстрагування з капілярно-пористого тіла;
- розроблено методи експериментального моделювання, що дозволяють визначити умови фазової рівноваги, потужність мікрохвильового поля, площу поверхні контакту фаз, коефіцієнт масовіддачі та узагальнити результати експериментів;
- визначено рівноважні концентрації кавового екстракту в залежності від температури і ступеня виснаження кавових зерен, граничні значення вилучення розчинних речовин в кавових зернах за умов впливу мікрохвильового поля;
- визначено залежності впливу потужності мікрохвильового поля, температури, розмірів кавових зерен, гідродинамічних умов в екстракторі, режимів на зміну концентрацій розчину і значення відповідних коефіцієнтів масовіддачі; співвідношення в безрозмірних числах подібності для розрахунку інтенсивності масоперенесення в проточних екстракторах з мікрохвильовим інтенсифікатором.

Практичне значення одержаних результатів:

Процес екстрагування у мікрохвильовому полі рекомендується для впровадження в технологію розчинної кави для суттєвої інтенсифікації внутрішньодифузійних процесів масообміну;

Запропонована здобувачем структура рівняння в узагальнених змінних рекомендується для аналізу кінетики процесу екстрагування з твердого тіла рослинного походження у мікрохвильовому полі, а отримані коефіцієнти рівняння можуть використовуватися для проектування екстракційної апаратури з електромагнітними інте-

нсифікаторами у кавовому виробництві;

Програма розрахунку мікрохвильового екстрактора на ПЕОМ, що заснована на нових результатах автора в області статички і кінетики взаємодії подрібнених кавових зерен і води, може бути застосована для проектування подібних систем у широкому діапазоні зміни параметрів;

Запропонований метод екстрагування на основі мікрохвильової обробки дає змогу зменшити втрати смакоароматичних речовин в екстракті, покращити якість готового продукту та здійснити економію енергетичних ресурсів.

Результати досліджень мають практичне значення для проектування екстракційних апаратів для виробництва харчових концентратів.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методик дослідів, проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, обробці та аналізі отриманих результатів з екстрагування розчинних речовин кавових зерен в умовах впливу мікрохвильового поля. Розроблено методики математичної обробки отриманих результатів. Сформульовані основні положення та висновки. Постановка задач, обговорення та обґрунтування результатів досліджень та математичного опису процесів проводилась спільно з науковим керівником. У наукових працях, що виконані у співавторстві, здобувачеві належать планування дослідної роботи, організація експерименту й участь у його реалізації, обробка результатів досліджень. Всі наукові дослідження, їх теоретичне пояснення та обґрунтування, представлені в дисертаційній роботі, виконані дисертантом одноосібно.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу і науковців ОНАХТ в 2004-2006 рр., на міжвузівській науково-практичній конференції „Проблеми техніки і технологій харчових виробництв” (Полтава, 2004), на міжнародній конференції «Управление качеством пищевой промышленности (район центральной и восточной Европы)» (Кишинев, Молдова «Техніка-инфо», 2004), на 71-й науковій конференції молодих вчених, аспірантів та студентів “Наукові здобутки молоді – вирішення проблем харчування людства у ХХІ столітті” (Київ, НУХТ, 2005), на I Міжнародній науково-практичній конференції “Екотрофологія. Сучасні проблеми” (Біла Церква, 2005), на міжнародній науково-практичній конференції “Харчові технології - 2005” (Одеса, 2005), на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність 2004» (Одеса, 2004), на IV міжнародній конференції «Проблеми промислової теплотехніки» (Київ, 2005), на XI Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» (Одеса, 2006).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 друкованих праць (3 – самостійно), в тому числі 6 у фахових виданнях, 3 статті у збірниках наукових праць, тези 7 доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура та об'єм роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, що включає 228 найменувань вітчизняних та зарубіжних авторів на 21 сторінці та трьох додатків на 12 сторінках. Робота викладена на 161 сторінці основного тексту, містить 55 рисунків на 30 сторінках та 21 таблицю на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, наукові положення, показано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

В першому розділі проведено аналіз проблем, що виникають при виробництві розчинної кави, обґрунтована актуальність інтенсифікації процесів масоперенесення при екстрагуванні з кавового зерна. Розглянуто основні методи інтенсифікації процесу екстрагування з рослинної сировини. На основі проведеного патентного огляду розроблена класифікація методів удосконалення технології виробництва розчинної кави. Розглянуто перспективний напрямок виробництва рідкого кавового екстракту, який є новітньою альтернативою загальноприйнятим технологіям отримання розчинної кави у вигляді порошку. Обґрунтовано перспективність комбінованих процесів, у яких за допомогою імпульсного електромагнітного (ІЕМ) впливу можлива значна інтенсифікація процесу масоперенесення. На підставі аналізу досягнень в області теорії і практики ІЕМ-технологій, запропонована класифікація апаратів для екстрагування в ІЕМ полі: установки періодичної (камерні), напівперіодичної (циркуляційні) та безперервної (проточні) дії. Проточні апарати становлять найбільший інтерес для промислового використання в технологіях виробництва розчинної кави. Сформульовано задачі досліджень для створення методів розрахунку, удосконалення схем і визначення доцільних умов експлуатації апаратів з комбінованим впливом.

У другому розділі розглянуто методи досліджень. Аналітичними методами отримані статичні моделі процесів періодичного, напівперіодичного і безперервного екстрагування. Запропоновано механізм комбінованого процесу масоперенесення екстрактивних речовин з пористої структури кавових зерен у розчин. Механізм пояснюється схемою (рис. 1).



Рис.1. Механізм бародифузії:

- 1 – кавове зерно; 2 – капіляр;
- 3 – екстрагент; 4 – парова бульбашка;
- 5 – граничний дифузійний шар.

речовини рухаються в середині капілярів до поверхні часток. Інтенсивність конвективної дифузії в стиснутих умовах всередині пор визначається ефективним коефіцієнтом масовіддачі β_E . Також завдяки конвективній дифузії відбувається рух розчинних ре-

човин з граничного шару в центр потоку. Інтенсивність масового потоку в даному випадку визначає коефіцієнт масовіддачі β .

За умови використання ІЕМ поля паралельно цьому потокові виникає інший потік. Енергія електромагнітного поля концентрується в рідкій фазі капілярів кавового зерна і викликає утворення парових бульбашок, унаслідок чого виникає градієнт тиску і рідина з капіляра періодично викидається в потік. Це бародифузія, що визначається тиском, який зростає в капілярі. Частота викидів і кількість функціонуючих капілярів збільшується пропорційно електрофізичному впливу. Потік, що виникає під дією електромагнітного поля, турбулізує граничний шар, тому опір може бути на порядок нижче, ніж у традиційних схемах масовіддачі. Масовий потік J в даному випадку залежить від різниці тисків у капілярі P_K і в потоці екстрагента P_E , а також від коефіцієнта масовіддачі β_D , що істотно більший за β_E та β :

$$J = \beta_D \cdot (P_K - P_E). \quad (1)$$

В умовах імпульсного електромагнітного поля зовнішній дифузійний режим переходить у внутрішньодифузійний, оскільки швидкість вилучення лімітується вже не зовнішньою дифузією, а дифузією крізь пористий матеріал частинки.

Внутрішньодифузійний режим екстрагування є найбільш інтенсивним режимом вилучення розчинних речовин. Головною умовою ініціювання бародифузії є те, що бародифузійний потік повинний подолати дифузійний опір твердої фази. Це досягається за рахунок переходу частини рідини в парову фазу. Тому при розв'язанні поставленої задачі варто визначити термодинамічні параметри парової суміші в каналі при початковому тиску P_E і тиску, що забезпечує бародифузію $P_{ED} = P_E + P_K$.

Задачами подальшого аналізу є питання розподілу концентрацій. Під час розгляду запропонованої моделі, було зроблено кілька припущень: швидкість руху розчину постійна по всьому перетині капіляра; розчинна речовина рухається від поверхні каналу в потік. У такому випадку рівняння дифузії усередині капіляра пористого тіла зручніше представити в циліндричних координатах по поточному радіусу r :

$$w_0 \frac{\partial X}{\partial Z} = D \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial X}{\partial r} \right]. \quad (2)$$

Розв'язуючи рівняння (2) для параболічного профілю швидкостей відповідно до рівняння Нав'є-Стокса і з урахуванням граничних умов, отримаємо:

$$\frac{X_p^* - X_p'}{X_E - X_p'} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp - b_n \left(\frac{D}{w_{CP} 0,25d^2} \right) Z, \quad (3)$$

де середня швидкість потоку $w_{CP} = 0,5w_{max}$, a_n і b_n – константи.

Відповідно до запропонованого механізму масообміну, крім розв'язання (3), необхідно передбачити дію бародифузії. Розглянемо дифузійний потік екстрактивних компонентів, що викидаються в потік екстрагента, який рухається в напрямку Z з постійною швидкістю w_0 . У цьому випадку повинне бути розв'язане рівняння:

$$w_0 \left(\frac{\partial X}{\partial Z} \right) = D \nabla^2 X \quad (4)$$

за таких граничних умов:

$$X|_{l \rightarrow \infty} = 0; \quad \text{при } l \rightarrow \infty \quad 4 \pi l^2 D \left(\frac{\partial X}{\partial r} \right) = w_A, \quad \text{при } l \rightarrow 0 \quad (5)$$

$$l^2 = x^2 + y^2 + z^2,$$

де l – відстань від джерела; Z – відстань по потоку від джерела; w_A – швидкість, з якою екстрактивні компоненти входять у потік.

У випадку, коли швидкість потоку постійна (w_0), а режим стабілізувався, розв'язок (2) у декартових координатах з граничними умовами (5) має вигляд:

$$X = \frac{w_A}{4\pi D l} \exp\left[-\left(\frac{w_0}{lD}\right) \cdot (l-z)^2\right]. \quad (6)$$

Задача про точкове джерело має практичне значення під час аналізу профілю концентрації в потоці. Навіть за умов серйозного спрощення задачі, спільний розв'язок (3) і (6) досить ускладнений, оскільки гідродинамічна ситуація в потоці визначається турбулентним плином екстрагента, ускладненим вихровою дифузією з капілярів. Тому для дослідження був обраний шлях експериментального моделювання, основною науковою базою якого є теорія подібності і метод "аналізу розмірностей".

У загальному випадку, вплив на величину коефіцієнта масовіддачі мають діаметр каналу d , проникність шару частинок k , швидкість руху потоку w , а також його щільність ρ , в'язкість μ і коефіцієнт дифузії D . Перераховані вище параметри характеризують інерційні властивості потоку. Гідродинамічна ситуація при формуванні граничного шару на вході в канал виражається співвідношенням діаметра і довжини каналу l . Внесок природної конвекції встановлюється різницею концентрацій у потоці ΔC і гравітаційним полем. Дія бародифузії визначається різницею тисків у зонах каналу. Величина цієї різниці пропорційна енергії випромінювання і тієї енергії, що необхідна для пароутворення, тобто величинам питомої теплоти пароутворення r і потужності поля N . Після розв'язку системи рівнянь, складеної для основних одиниць, і пошуку комбінацій одержано структуру рівняння в узагальнених змінних:

$$\text{Sh} = A (\text{Re})^n (\text{Sc})^k (\Pi)^b (\text{Bu})^g, \quad (7)$$

де Sh , Re , Sc – числа подібності Шервуда, Рейнольдса, Шмідта; Π – безрозмірний комплекс; A , n , k , b , g – константи, що визначаються експериментально, а

$$\text{Bu} = N \cdot (r \cdot w \cdot d^2 \cdot \rho)^{-1}. \quad (8)$$

Фізичний зміст числа Bu – це співвідношення між енергією випромінювання й енергією, що необхідна для перетворення в пару всього розчину, що проходить через екстрактор. Зі зростанням числа Bu збільшується частина парової фази, що викликає ріст градієнта тиску й інтенсифікує викиди насиченого екстрагента з глибин капілярів, турбулізує граничний шар.

$$\text{Комплекс} \quad \Pi = k / d^2 \quad (9)$$

є безрозмірною параметричною проникністю і враховує геометричну властивість середовища твердого матеріалу.

У процесі виконання дисертаційної роботи було розроблено такі методи експериментального моделювання:

- методика визначення умов фазової рівноваги в системі "кавове зерно – вода";
- методика визначення потужності мікрохвильового поля;
- методика визначення теплофізичних властивостей розчину;
- методика визначення площі поверхні контакту фаз;
- методика визначення коефіцієнта масовіддачі;
- методика узагальнення результатів експериментів.

В третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень кінетики екстрагування. Основні фактори, що впливають на процес екстрагування – це розмір часток сировини (d , мм), наявність і потужність (N , Вт) імпульсного електромагнітного поля, гідромодуль екстракту (ζ), температура (t , °C), об'ємна витрата екстрагента (V_p , мл/с). У таблиці 1 представлено діапазон експериментальних досліджень. Експерименти проводились як в стаціонарних умовах, так і при безперервному процесі на експериментальному стенді (рис. 2).

Таблиця 1

Значення	Діапазон експериментальних досліджень									
	d , мм		ζ		t , °C		N , Вт		V_p , мл/с	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
	0,5	10	1:5	1:100	20	95	0	800	2	9

Об'єктами дослідження були кавові зерна сорту арабіка. Вихідну сировину подрібнювали й розбивали по фракціям згідно розміру частинок від 0,5 до 10 мм. Наважку різних фракцій екстрагували водою за нормальних умов і при комбінованому електромагнітному впливі. В отриманих екстрактах визначали зміст сухих речовин на фотоелектроколориметрі «Спекол», відкаліброваному по стандартним розчинам, отриманим із сухої розчинної кави. Паралельно ці показники порівнювались із показами вагового методу визначення сухих речовин.

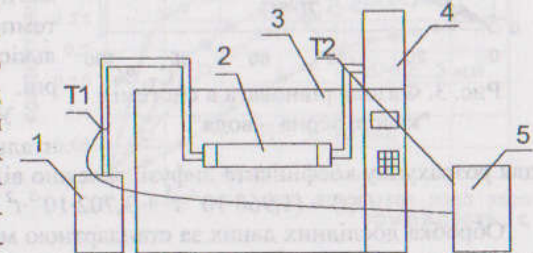


Рис. 2. Принципова схема експериментального стенду:

- 1, 4 – резервуари для екстрагента;
2 – екстрактор; 3 – генератор мікрохвильового поля; 5 – вимірювальний прилад;
T1 і T2 – термопари.

Під час дослідження впливу технологічних факторів на процес вилучення екстрактивних речовин з кавового зерна було встановлено, що істотний вплив має ступінь подрібнювання сировини та наявність комбінованого електромагнітного поля.

Таблиця 2

Вплив електрофізичного поля і розміру частинок на вихід розчинних речовин

Розмір частинки, мм	Кількість витягнутих розчинних речовин, г	
	ІЕМ поле, 700 Вт	Термостат при 75 °C
> 10	0,180	0,083
2 – 5	0,528	0,280
< 0,5	0,532	0,528

бародифузії на процес екстрагування, тому що при такому розмірі частинки капіля-

У таблиці 2 показана кількість вилучених екстрактивних речовин при гідромодулі 1:50 і температурі процесу 75 °C. Найбільша кількість екстрактивних речовин за умов впливу електромагнітного поля вилучається із сировини розміром 2...5 мм. Це підтверджує теорію впливу

рно-пориста структура зберігається, і одночасно збільшується поверхня взаємодії твердої й рідкої фази. Оскільки найбільший вплив імпульсного електромагнітного поля помітний саме при розмірі частинок 2...5 мм, то для подальших досліджень використовувалася фракція саме цього розміру.

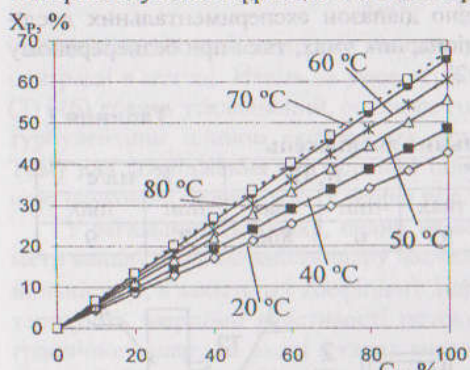


Рис. 3. Фазова рівновага в системі "кавові зерна - вода".

Ступінь граничного насичення екстрагента розчинними компонентами продукту визначається його видом і температурою розчину. Значення рівноважної концентрації розчину X_p необхідне для оцінки рушійної сили процесу масоперенесення. Дослідження умов фазової рівноваги проводилися експериментально. Результати цих досліджень у вигляді середньоарифметичних значень розчинності для різних температур наведені на рис. 3, де C_T – кількість розчинних речовин в кавовому зерні.

У результаті апроксимації експериментальних даних було отримано рівняння

для розрахунку коефіцієнта дифузії залежно від температури середовища (t , °C):

$$D(t) = (1,968 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3,702 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 3,759 \cdot 10^{-3} \cdot t + 0,099) \cdot 10^{-9}. \quad (10)$$

Обробка дослідних даних за стандартною методикою на ПЕОМ дозволила визначити значення рівноважної концентрації, що потрібно для визначення рушійної сили процесу:

$$X_p = -1,934 \cdot 10^{-5} + 0,33 \cdot C_T + 6,498 \cdot 10^{-7} \cdot t_{cp} + 4,423 \cdot 10^{-3} \cdot C_T \cdot t_{cp}. \quad (11)$$

Крім залежності рівноважної концентрації від температури (рис. 3) для розрахунку рушійної сили процесу масоперенесення необхідно знати C_{Tmax} – максимальна кількість розчинних речовин, що містяться в кавовому зерні. Експериментальні дослідження показали, що в ІЕМ полі граничні значення концентрацій розчинних речовин у твердій фазі склали 38 %.

При температурі 75 – 80 °C і гідромодулі 1:4 вивчався процес масоперенесення із часток подрібненої кави розміром 2...5 мм за умов дії електрофізичного впливу й без нього на загальну кількість екстрактивних речовин (рис. 4). Здійснювалося п'ять заток подрібненої кави водою. Визначено ступінь витягу екстрактивних речовин до насичення розчину. На рис. 4 представлено розподіл кількості вилучених розчинних речовин по затках. Усього з 100 г кави при електромагнітному впливі було витягнуто 38,6 г екстрактивних речовин і 27,1 г без впливу поля. При першій затоці було витягнуто 34,2 % загальної кількості екстрактивних речовин для зра-



Рис. 4. Розподіл кількості витягнутих речовин (при гідромодулі 1:4).

зків, що піддаються електромагнітному впливу й 33,9 % для зразків, що екстрагують у нормальних умовах. Після другої затоки було витягнуто 73,6 % і 51,5 %, після третьої – 90,4 % і 60,8 %, після четвертої – 96,9 % і 67,1 % відповідно. Отримані дані дозволяють зробити висновок про те, що вплив електромагнітного поля підвищує загальний вихід екстрактивних речовин при гідромодулі 1:4 на 30 %. Слід зазначити, що згідно наукових джерел екстрактивність кавових зерен для сортів кави виду Арабіка коливається в межах 20...29 %, залежно від сорту. Отримане нами значення 38,6 % значно вище цього показника.

Шлам, що залишився після екстрагування кави без електромагнітного впливу був підданий додатковому екстрагуванню при дії поля. Після трьох заток було витягнуто ще 4,6 % розчинних речовин.

Екстрагування різних фракцій у динамічних умовах дозволило визначити вплив розміру частинок за всіх інших однакових умов. Дослідження показали (рис. 5), що найбільший вихід розчинних речовин спостерігається при розмірі частинок 0,5...1,0 мм, він в 1,6 разів більше, ніж в експериментах із цілими зернами. Відсоток вилучення розчинних речовин від початкової маси наважки становить 37,7% для розміру 0,5...1,0 мм, 31,2% для 1,0...2,0 мм, 30,2% для 2,0...5,0 мм і 25,2% для цілих зерен відповідно.

Отримані дані про вплив розміру часток дозволили визначити проникність шару зерен за розробленою методикою, для цього необхідно було одержати значення пористості шару кавових зерен, еквівалентний діаметр перетину смності по еквівалентному діаметру частинок. Дані дослідів і результати обчислень наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Розрахунок проникності шару зерен

Розмір зерен кави, мм	Еквівалентний діаметр частинок, $d_e \cdot 10^3$, м	Пористість шару, ε	Проникність шару k , м ²
0,5...1,0	1,13	0,14	$6,34 \cdot 10^{-10}$
1,0...2,0	1,84	0,16	$1,66 \cdot 10^{-9}$
2,0...5,0	2,88	0,24	$1,16 \cdot 10^{-8}$
цілі зерна	9,03	0,29	$1,97 \cdot 10^{-7}$

Важливим фактором, що впливає на інтенсивність процесу екстрагування є швидкість руху екстрагента. В дисертаційній роботі були проведені дослідження при температурі 25 °C і 60 °C (рис. 6) та п'яти різних показниках швидкості. Порівняння

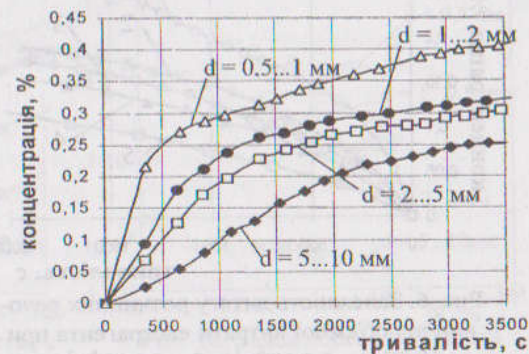


Рис. 5. Залежність виходу розчинних речовин від розміру частинок твердої фази.

результатів, отриманих при мінімальному та максимальному показниках швидкості, свідчать про те, що збільшення об'ємних витрат екстрагенту в 3–4 рази призводить до підвищення виходу екстрактивних речовин на 45...50 %.

Згідно даних про вплив витрати на вихід розчинних речовин була побудована залежність коефіцієнта масовіддачі від швидкості потоку (рис. 7), що дозволило знайти показник n при числі Re . Отримано значення для різних температур, однак вони істотно не відрізняються й коливаються в межах 0,48...0,52, тому ступінь n приймався рівним 0,5. Константа k у рівнянні (10) при числі Sc приймається 0,33.

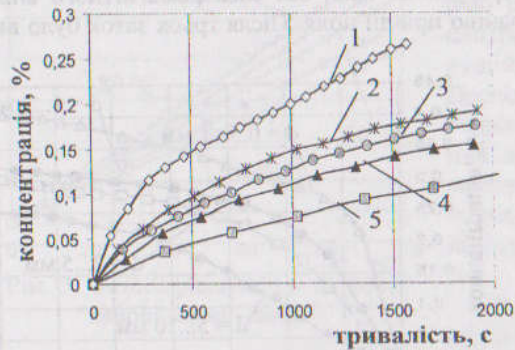


Рис. 6. Залежність витягу розчинних речовин від об'ємної витрати екстрагенту при 60 °С: 1 – $8,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; 2 – $5,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; 3 – $5,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; 4 – $3,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; 5 – $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

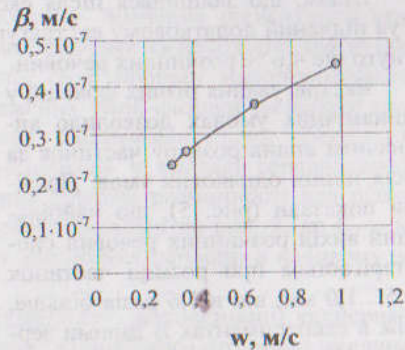


Рис. 7. Залежність коефіцієнта масовіддачі від швидкості потоку екстрагенту.

Самостійною проблемою було вивчення впливу виду енергопідводу. З метою визначення ступеня впливу імпульсного електромагнітного поля на процес був проведений дослід, результати якого представлено на рис.8. У першому випадку через шар подрібнених кавових зерен пропускали воду з початковою температурою 20 °С, при цьому на систему впливало імпульсне електромагнітне поле. Температура екстрагенту на виході 60 °С.

Тому в другому випадку через шар кавових зерен подавали воду, нагріту до 60 °С. Як свідчать отримані результати, в початковий момент часу у другому випадку показник витягу розчинних речовин вищий, оскільки за аналогічних умов у першому випадку енергія витрачається на нагрівання води. Однак потім, при досягненні температури 60 °С у досліді з використанням ІЕМ поля показник витягу розчинних речовин про-

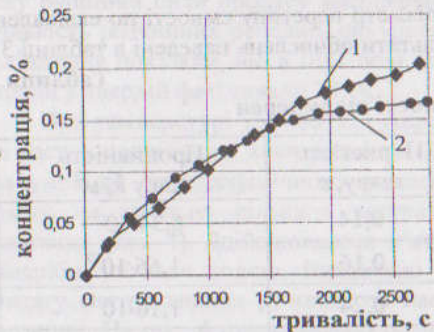


Рис. 8. Порівняльна характеристика впливу температури і ІЕМ поля на вихід розчинних речовин: 1 – потужність ІЕМ поля 750 Вт; 2 – температура 60 °С.

довжує зростати, тоді як у другому випадку це зростання практично припиняється. Таким чином, при однаковій температурі екстрагенту показник витягу екстрактивних речовин вищий у випадку використання імпульсного електромагнітного поля. Результати дослідів підтверджують розбіжності в градієнтах температур у кавовому зерні, і дію бародифузії, а також вказують на доцільність подальшого екстрагування.

Результати комплексного впливу потужності ІЕМ поля на кінетику масоперенесення ілюструються рис. 9. Послідовне збільшення потужності ІЕМ поля приводило до росту температури розчину. Спостереження показали, що підвищення потужності поля може підвищити вихід розчинних речовин більш, ніж у два рази.

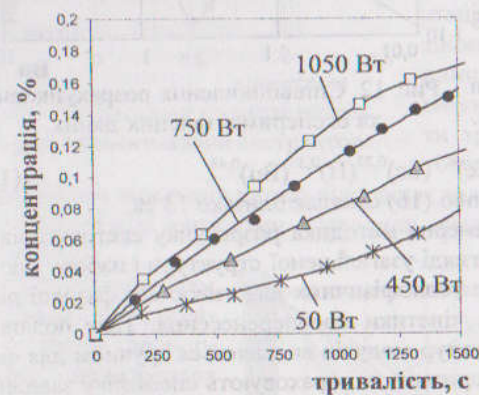


Рис. 9. Залежність виходу розчинних речовин від потужності ІЕМ поля.

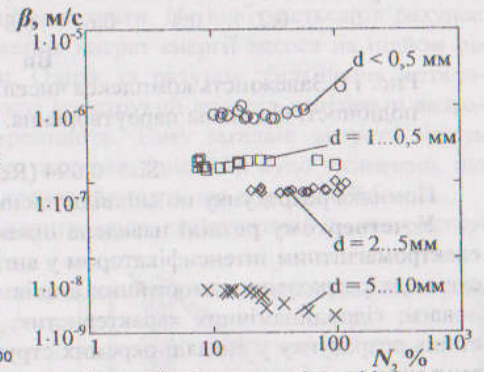


Рис. 10. Залежності коефіцієнта масовіддачі від потужності ІЕМ поля та розміру частинок.

Вивчення впливу потужності електромагнітного поля на вихід розчинних речовин дозволило одержати відповідні залежності для коефіцієнта масовіддачі (рис. 10). Значення β розширюються залежно від безрозмірної параметричної проникності навіть за однакової потужності поля N . Аналогічним чином розширюються значення комплексу чисел подібності C у залежності від числа пароутворення Vi (рис. 11). Комплекс C визначається наступною комбінацією чисел подібності:

$$C = \frac{Sh}{Re^{0.5} \cdot Sc^{0.33}} \quad (12)$$

Завдяки графіку (рис. 11) були знайдені значення C для всіх значень безрозмірної параметричної проникності за однакового числа пароутворення. Обробка цих даних дозволила одержати показник ступеня при Π , який дорівнює 0,35.

Експериментальні дані, отримані в результаті вивчення впливу потужності електромагнітного поля на вихід розчинних речовин, було використано для графіку залежності комплексу чисел подібності Z від числа пароутворення (рис. 12), де

$$Z = \frac{Sh}{Re^{0.5} \cdot Sc^{0.33} \cdot \Pi^{0.35}} \quad (13)$$

Узгодження всіх даних дослідів досягається при використанні коректувального числа пароутворення Vi . Обробка масиву експериментів дозволяє рекомендувати для розрахунку інтенсивності масоперенесення таке співвідношення:

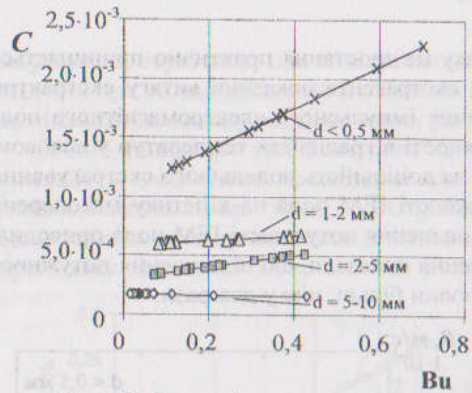


Рис. 11. Залежність комплексу чисел подібності від числа пароутворення.



Рис. 12. Співвідношення розрахункових та експериментальних даних.

$$Sh = 0,094 (Re)^{0,5} (Sc)^{0,33} (\Pi)^{0,35} (Bu)^{0,45} \quad (14)$$

Помилка розрахунку по співвідношенню (16) складає близько 13 %.

У четвертому розділі наведена інженерна методика розрахунку екстракторів з електромагнітним інтенсифікатором у вигляді узагальненої структури і набору блоксхем для розрахунку самостійних етапів: теплофізичних властивостей; фазової рівноваги; гідродинамічних характеристик; кінетики масоперенесення. Таке подання етапів розрахунку у вигляді окремих структур-модулів виявляється зручним для формування конкретних розрахункових алгоритмів, які враховують специфіку завдань. Ключовим моментом методики розрахунку є основний результат експериментального моделювання – узагальнена залежність (16) і умови фазової рівноваги (рис. 2).

Для перевірки адекватності запропонованої методики розрахунку було проведено порівняння розрахункових і експериментальних даних. Розрахункові дані несуттєво відрізняються від експериментальних. Відносна похибка для коефіцієнта масовіддачі складає 24 %, для показника температури – 13%, для числа Рейнольдса – 23 %, для кінцевої концентрації екстрагенту – 4 %.

Для синтезу дійсно енергоефективного апарату необхідно проводити оптимізацію його конструктивних і режимних параметрів. Згідно з конструкцією і принципом роботи екстрактора з електромагнітним інтенсифікатором був проведений розподіл загальної задачі оптимізації на ряд етапів, де кожен етап є окремою задачею оптимізації (табл. 4).

Таблиця 4

Етапи оптимізації			
Етап	Змінні параметри	Параметри, що оптимізуються	Параметри, що рекомендуються
Конструкція апарата	d, l	h, u_2, κ_2, z	d
Режим роботи апарата	l, v	$h, u_2, \kappa_2, z, u_{1n}$	v
Режим роботи електромагнітного інтенсифікатора	n, n, η	$h, u_2, \kappa_2, z, u_{1n}$	n

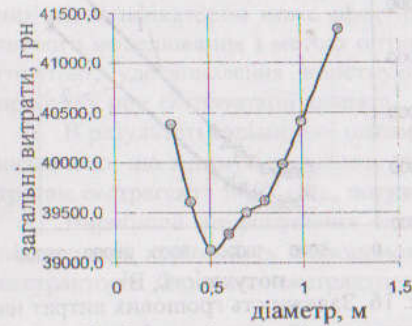


Рис. 13. Загальні грошові витрати на спроектований екстрактор.

Виявляється, що висота інтервалу не має істотного впливу на висоту екстрактора, у той час як діаметр і витрата екстрагенту значно впливають на цю величину. Зі зростанням витрати екстрагенту висота екстрактора значно збільшується. У той же час зі збільшенням діаметру висота екстрактора починає поступово знижуватися, що в свою чергу знижує експлуатаційні витрати. Це відбувається за рахунок зниження витрат енергії насоса на підйом рідини. Однак за рахунок збільшення металоемності конструкції апарата капітальні витрати зростають. Тому загальні витрати мають точку перегину (рис. 13). Було визначено, що мінімумові загальних витрат відповідає значення діаметра, що дорівнює 0,5 м.

Розроблені алгоритми дозволили визначити поля концентрацій в екстракторі (рис. 14).

Зі збільшенням витрати екстрагенту прямо пропорційно збільшується висота апарату, а також збільшуються експлуатаційні і капітальні витрати. Однак, якщо розглянути вплив витрати екстрагенту на витрати на виробництво 1 л продукту, то можна зробити висновок, що раціональним є розрахунок екстракторів із продуктивністю не менш, ніж $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 15).

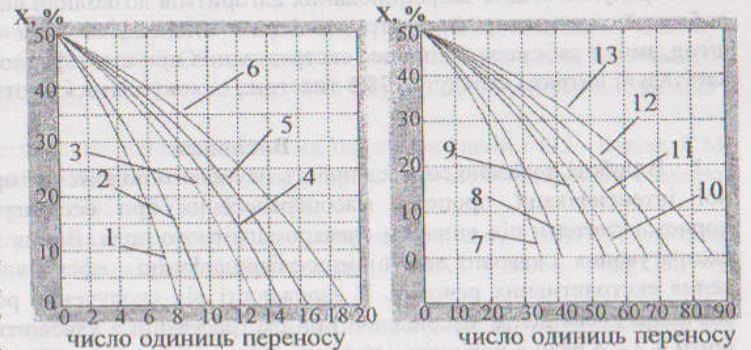


Рис. 14. Концентраційні криві процесу екстрагування:

Витрати екстрагенту при $N = 24 \text{ кВт}$: $2 - 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
 при $N = 12 \text{ кВт}$: $3 - 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $10 - 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$;
 при $N = 9 \text{ кВт}$: $1 - 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $4 - 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
 $7 - 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $8 - 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $9 - 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $11 - 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$;
 при $N = 7 \text{ кВт}$: $5 - 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $12 - 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$;
 при $N = 5 \text{ кВт}$: $6 - 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $13 - 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$.

Електромагнітні інтенсифікатори повинні забезпечувати ефективне здійснення процесу за умови мінімізації капітальних витрат. У даному випадку можливо виявити загальні тенденції впливу потужності інтенсифікаторів на конструктивні та економічні параметри самого екстрактора. Наприклад, при збільшенні потужності інтенсифікатора висота екстрактора знижується, отже, знижуються і капітальні витрати на сам екстрактор, однак внаслідок того, що більш потужні інтенсифікатори мають вищу вартість, загальні капітальні витрати мають визначений оптимум (рис. 16), що

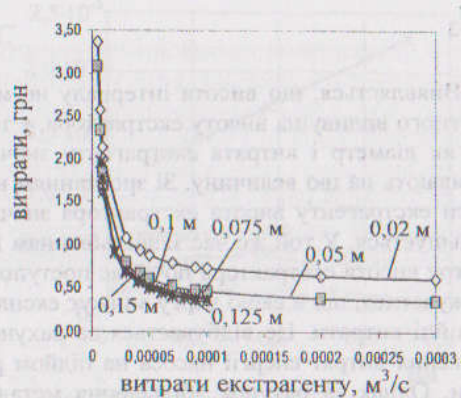


Рис. 15. Залежність собівартості $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ продукту від витрати екстрагенту при різних висоті інтервалу.

у свою чергу вплине на загальні витрати. Рис. 16 дозволяє зробити висновок, що доцільним є використання інтенсифікаторів загальною потужністю 5 – 10 кВт.

Розрахунки згідно запропонованих алгоритмів дозволили виявити наступне. Розроблений екстрактор з електромагнітним інтенсифікатором продуктивністю 360 л/год, зможе забезпечити процес екстрагування при атмосферному тиску. При цьому капітальні витрати складуть 178,5 тис. грн., що окупляться протягом 2,62 роки.

Висновки

1. В роботі доказано справедливості наукового положення про можливість істотної інтенсифікації процесів масоперенесення при екстрагуванні з капілярно-пористої системи під впливом електромагнітного поля. Вплив ІЕМ поля на процес екстрагування з кавових зерен ініціює бародифузію – ефективний механізм перенесення екстрактивних речовин. В залежності від сполучення режимних параметрів значення коефіцієнта масовіддачі при екстрагуванні з кавового зерна можна збільшити в 2 – 4 рази в порівнянні з традиційною технологією. При цьому ступінь витягу екстрактивних речовин із зерен збільшується на 10 %.

2. Визначальним параметром кінетики масоперенесення при періодичних процесах екстрагування в ІЕМ полі є питома потужність електромагнітного поля. Вплив температури на інтенсивність масоперенесення в 1,3 рази менший.

3. Ступінь інтенсифікації масоперенесення від дії ІЕМ поля зростає із збільшенням розміру часток подрібненої кави. Для виробничих умов рекомендуються розміри фракції зерен кави від 1 до 2 мм.

4. Для проточних екстракторів формування граничного дифузійного шару при русі екстрагенту крізь пористий матеріал визначається гідродинамічною ситуацією в каналі, що враховується числом Re , а також безрозмірною проникністю, показники ступеня при яких рівні 0,5 і 0,35 відповідно.

5. Визначальний вплив на значення коефіцієнта масовіддачі має потужність електромагнітного поля. Коригувальне число пароутворення, що виражає співвідношення потужності мікрохвильового поля і потужності, яка необхідна для перетво-

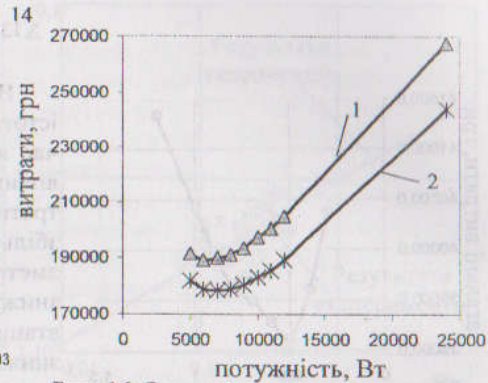


Рис. 16. Залежність грошових витрат на спроектований екстрактор від потужності електромагнітних інтенсифікаторів: 1 – загальні витрати; 2 – капітальні витрати.

рення рідини на пару, погоджує масив експериментальних даних, з похибкою 13 %.

6. Запропонована інженерна методика розрахунку екстракторів з електромагнітним інтенсифікатором може ефективно використовуватися для проведення комп'ютерного моделювання з метою оптимізації режимів екстрагування, мінімізації енерговитрат, удосконалення конструкції екстрактора та досягнення максимального прибутку при експлуатації апарата.

7. В результаті варіаційної оптимізації на ПЕОМ для продуктивності лінії 360 л/ч визначено, що мінімум загальних витрат відповідає діаметру екстрактора 0,5 м, витратам екстрагенту $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, потужності електромагнітних інтенсифікаторів 7 кВт.

8. Виробничі випробування екстрактора з електромагнітним інтенсифікатором підтвердили коректність запропонованих підходів до проектування мікрохвильових екстракторів. Окупність екстрактора передбачається в межах 2,6 року.

Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:

1. Експериментальне моделювання процесу екстрагування із зерен кави / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко, С.Г. Терзієв // Зб. наук. пр. ОНАХТ – 2004. – Вип. 27, – С. 200–205.
2. Бурдо О.Г. Моделирование процессов экстрагирования / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко, А.К. Войтенко, В.И. Саламаха // Холодильная техника и технология. – 2004. – №6. – С. 69-74.
3. Бурдо О.Г. Моделирование масопереносу при экстрагуванні із зерен кави / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко, П.І. Светлічний // Обладнання та технології харчових виробництв: Темат. зб. наук. пр. вип. 13, т. 1 / Голов. ред. О.О. Шубін, 2005. – Донецьк: ДонДУЕТ. – С. 23-29.
4. Бурдо О.Г. Энергетические аспекты пищевых нанотехнологий / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко, П.І. Светлічний // Щоквартальний наук.-прак. журнал «Інтегровані технології та енергозбереження», 2005. – №2. – С. 34-38.
5. Ряшко Г.М. Моделирование процессов массопереноса в электромагнитном поле при экстрагировании кофейных зерен // Зб. наук. пр. ОНАХТ – 2006. – Вип. 28, – С. 297-303.
6. Ряшко Г.М. Интенсифікація екстрагування в технології виробництва розчинної кави // Зб. наук. пр. ОНАХТ – 2006. – Вип. 29, – С. 47-51.
7. Бурдо О.Г. Наномасштабные процессы в пищевых технологиях / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко // Сб. науч. трудов МПА: Вып. II / Под ред. В.А. Бутковского – М.: ГИОРД, 2004 г., – С. 292-305.
8. Бурдо О.Г. Энергетична ефективність харчових нанотехнологій / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко // Сб. науч. трудов Международной науч.-техн. конф. «Энергоэффективность 2004», 13-16 октября, 2004. – Одесса. – С. 191-195.
9. Бурдо О.Г. Интенсифікація масопереносу у виробництві розчинної кави / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць ХДУХТ – 2005. – Харків. – С. 20-24.
10. Бурдо О.Г. Удосконалення процесу екстрагування при виробництві смакоароматичних речовин / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко // Матеріали міжвузівської наук.-прак. конф. «Проблеми техніки і технологій харчових виробництв», 8-9 квітня, 2004. – Полтава. – С. 6-8.

11. Burdo O.G. Intensification du procédé d'extraction des constituants hydrosolubles du café / O.G. Burdo, P.I. Svetlychniy, G.M. Rjashko // Матеріали міжнародної конф. «Управление качеством пищевой промышленности (район центральной и восточной Европы) Кишинев (Молдова) «Техника-инфо» 12-14 мая 2004г., с. 304.
12. Ряшко Г.М. Интенсификация масопереносу при экстраговании жарочных продуктов з капілярно-пористою структурою // Матеріали 71-ої наук. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 18-19 квітня, 2005. Київ, НУХТ. – Ч.2. – С. 127.
13. Ряшко Г.М. Шляхи вирішення проблем у виробництві розчинної кави / Г.М. Ряшко, О.Г. Бурдо // Матеріали I міжн. наук.-прак. конф. «Екотрофологія. Сучасні проблеми», 30 травня – 1 червня, 2005. – Біла Церква. – С. 27-28.
14. Бурдо О.Г. Пути решения энергоэкологических проблем / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко // Официальный каталог второй специализированной выставки технологий и оборудования современной городской инфраструктуры «Еврогород», 14-15 квітня, 2005. – Одеса. – С. 123.
15. Бурдо О.Г. Интенсификация экстрагования в технологии производства розчинної кави / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко // Тези доповідей міжн. наук.-прак. конф. «Харчові технології - 2005», 12-14 жовтня, 2005. – Одеса. – С. 51.
16. Бурдо О.Г. Энергетика пищевых наномасштабных процессов / О.Г. Бурдо, Г.М. Ряшко // Тезисы IV международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники», 26-30 сентября, 2005. – Киев. – С. 26-27.

Особистий внесок здобувача в наукові роботи:

Проаналізовано шляхи удосконалення процесу екстрагування при виробництві смакоароматичних речовин з рослинної сировини [10], розглянуто енерго-екологічні проблеми при виробництві розчинної кави [11, 13] та запропоновано ресурсозберігаючу технологію, яка може вирішити ці проблеми [14]. Запропоновано механізм ініціювання бародифузії та проведено комплекс досліджень, які підтверджують цей механізм [2, 4, 7, 16], а також зроблено аналіз енергетичної ефективності процесу масоперенесення в електромагнітному полі [8]. Вивчено вплив технологічних чинників на кількість вилучених розчинних речовин [12], встановлено вплив електромагнітного поля та температури на процес екстрагування з кавових зерен [1], вплив витрати екстрагенту на вихід екстрактивних речовин [15], а також вплив розмірів частинок кави [9]. Проведено комплекс аналітичних та експериментальних досліджень процесу екстрагування в технології виробництва розчинної кави [6], узагальнено результати дослідів та отримано співвідношення для розрахунку інтенсивності масоперенесення [3, 5].

АНОТАЦІЯ

Ряшко Г.М. Интенсификация процесса экстрагования при виробництві розчинної кави. – 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, Одеса, 2006.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню процесу екстрагування розчинних речовин з капілярно-пористих частинок на прикладі кавових зерен. Описано гідродинамічні 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 «кавові зерна – вода», залежності коефіцієнту масовіддачі для періодичних і безперервних режимів екстрагування від комплексу конструктивних і режимних параметрів. Показано, що вплив мікрохвильового поля підвищує значення коефіцієнта масовіддачі в 2 – 4 рази, та вихід розчинних речовин з кавового зерна на 10 %. Запропоновано інженерну методіку розрахунку екстрактора з електромагнітним інтенсифікатором.

Ключові слова: розчинна кава, екстрагування, інтенсивність масоперенесення, коефіцієнт дифузії, мікрохвильове поле.

АННОТАЦИЯ

Ряшко Г.М. Интенсификация процесса экстрагирования при производстве растворимого кофе. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и аппараты пищевых, микробиологических и фармацевтических производств, Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2006.

В работе высказано предположение о наличии бародиффузии – нового механизма масопереноса, возникающего при проведении процесса экстрагирования в условиях электромагнитного поля, который поясняется электродиффузионной моделью. Аналитические методы моделирования не позволили решить поставленную задачу, поэтому на основании метода анализа размерностей была обоснована структура уравнения в обобщенных переменных для расчета массообменных характеристик при проведении непрерывного процесса экстрагирования пористого твердого тела в условиях электромагнитного поля. В этом случае число Шервуда выражается в зависимости от чисел Рейнольдса, Шмидта, безразмерной проницаемости и числа парообразования, которое устанавливает соотношение между мощностью поля и мощностью, которая необходима для перевода в пар всего объема экстрагента.

Экспериментальные исследования включали в себя определение условий фазовых равновесий в системе «кофейное зерно – вода» и кинетических зависимостей массоотдачи (для периодических и непрерывных режимов) от режимных и конструктивных параметров. Установлено максимальное содержание растворимых веществ в кофейных зернах при экстрагировании в условиях электромагнитного поля.

Сравнение процесса экстрагирования при традиционном нагреве и с помощью электромагнитного поля показало эффективность последнего, поскольку в зависимости от подводимой мощности поля массоотдача увеличивается в 2 – 4 раза, а степень извлечения растворимых веществ из зерен кофе увеличивается на 10%, что подтверждает выдвинутое в работе положение о наличии бародиффузии.

Экспериментально установлены кинетические характеристики зависимости изменения концентрации раствора в непрерывных процессах экстрагирования от степени измельчения кофейных зерен, температуры и расхода экстрагента, мощности электромагнитного поля. На основании данных о влиянии расхода экстрагента на выход растворимых веществ был получен показатель степени при числе Рейнольдса, равный 0,5. Также были найдены показатели степени при числе Шмидта и числе безразмерной проницаемости, равные соответственно 0,33 и 0,35. 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 электромагнитным интенсификатором. Для проверки адекватности предложенной методики было проведено сравнение расчетных и опытных данных. Погрешность расчета для коэффициента массоотдачи – 24%, температуры – 13%, для конечной концентрации экстрагента не превысила 4%. На основании проведенного компьютерного эксперимента, основанного на предложенном алгоритме, позволил провести оптимизацию конструктивных и режимных параметров экстрактора.

Ключевые слова: растворимый кофе, экстрагирование, интенсивность массопереноса, коэффициент диффузии, микроволновое поле.

THE SUMMARY

Ryashko G.M. Intensification of extraction process at instant coffee production. – Manuscript.

Thesis for competition the scientific degree of Ph.D. in technical science by specialty 05.18.12 – Processes and equipment for food, microbiological and pharmaceutical industries, Odessa national academy of the food technologies, Odessa, 2006.

The present Thesis is dedicated to the research of soluble substances extraction process from capillary - porous particles on an example of coffee grains. 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 "coffee grain-water" system and mass transfer factor dependence of extraction process from the complex of constructive and regime parameters for periodic and continuous modes. It was shown, that the influence of microwave field increases the values of mass transfer factor in 2–4 times, and the output of soluble substances from a coffee grain grows by 10 %. The engineering design procedure for the extractor with electromagnetic intensifier is proposed.

Key words: soluble coffee, extraction process, mass transfer intensity, diffusion factor, microwave field.