

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАКІЄВСЬКА ТЕТЯНА ЛЕОНІДІВНА



УДК 663.93.061.35.086.2-027.332

**КІНЕТИКА КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ЕКСТРАКТІВ
КАВИ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки 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
Потапов Володимир Олексійович,
Харківський державний університет харчування та торгівлі, завідувач кафедри.

- кандидат технічних наук,
Драчук Уляна Романівна,
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, старший викладач кафедри.

Захист відбудеться 26 грудня 2013 р. о 10³⁰ 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 ознайомитися у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий 25 листопада 2013 року.

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



Г.І. Палвашова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За інформацією Міжнародної Кавової асоціації, за останнє десятиліття світове споживання кави зросло на 2,5 %.

Кавовий ринок України динамічно розвивається, так в 2012 р. виробництво кави в країні збільшилося на 16,6 % порівняно з 2011 р. Подальше збільшення обсягу виробництва розчинної кави має бути забезпечено за рахунок підвищення ефективності переробки сировини та впровадження безвідходної технології.

Інтенсифікація процесу здійснюється різними фізико-хімічними методами, зокрема, дробленням сировини, впливом електричного струму, ультразвуку, вібрації, обробкою ферментними препаратами, дією високих і низьких температур.

Одним із найперспективніших напрямів для створення новітніх ресурсо- та енергоефективних, екологічно безпечних технологій представляється застосування мікрохвильових полів (МХП).

Вивчення можливості використання МХП під час екстрагування кавових зерен є перспективним напрямком. Його застосування у виробництві розчинної кави дозволить не тільки підвищити ефективність масообмінних характеристик обладнання та знизити величину витрат електричної енергії, але й поліпшити якість одержуваного продукту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі процесів, апаратів та енергетичного менеджменту Одеської національної академії харчових технологій у рамках держбюджетної тематики науково-дослідних робіт (№ держ. реєстрації 5/09 - П «Новітні енергетично ефективні харчові технології та нанотехнології в АПК» № 0109U000400) і в рамках держдоговірної тематики (9/10 - «Удосконалення режимів екстрагування і розробка технології утилізації шламу кави»).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вивчення кінетики комбінованих процесів екстрагування з кавової сировини, розробка мікрохвильового екстрактора і методів його розрахунку.

Для здійснення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- розробити фізичну і математичну модель процесу масоперенесення в системі «сировина – екстрагент» в умовах циклічного підведення мікрохвильової енергії та протитечійного режиму руху екстрагента і твердої фази;
- розробити методику і створити експериментальний стенд для дослідження комбінованих процесів екстрагування в МХП;
- дослідити вплив режимних параметрів: витрати екстрагенту, товщини шару сировини, потужності МХП, тривалості та інтервалів мікрохвильового впливу на кінетику екстрагування і на енергетичні характеристики процесу. Визначити відповідні коефіцієнти масовіддачі;
- узагальнити результати експериментальних досліджень і розробити інженерну методику розрахунку екстрактора з мікрохвильовим підведенням енергії;
- провести комп'ютерний експеримент і обґрунтувати режимні та конструктивні параметри пілотного зразка екстрактора;
- провести виробничі випробування мікрохвильового (МХ) екстрактора і розробити спосіб додаткового вилучення екстрагованих речовин з кавового шламу.

Об'єкт дослідження - комбіновані процеси та обладнання для екстрагування розчинних речовин з кавової сировини в умовах впливу МХП.

Предмет дослідження - механізм, кінетика і 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. Математичне моделювання з використанням комп'ютерної техніки і прикладних програмних пакетів (Microsoft Excel, об'єктно-орієнтована мова програмування Delphi). Для розв'язання диференціальних рівнянь використовували числові та аналітичні методи.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі розширюється наукове положення, сформульоване професором Бурдо О.Г., про можливість суттєво інтенсифікувати масоперенесення з твердої фази і скоротити витрати енергії в результаті ініціювання потужного бародифузійного потоку екстрактивних речовин шляхом комбінованого впливу мікрохвильовим полем на рослинну сировину.

У роботі пропонується *гіпотеза*, що залишок повноякісних екстрактивних речовин (складає до 4 %) у шламі кави, міститься в мікро- та нанокапілярах зерен, тому їх не вдається вилучити промисловими технологіями. На цій гіпотезі формується наукове положення, яке доведено результатами роботи:

- залучення до процесу екстрагування із кавопродуктів електромагнітного підводу енергії дозволить організувати процес при ефективному протиточному русі сировини та екстрагенту, в умовах атмосферного тиску, при вилученні із капілярної структури зерен екстрактивних речовин за рахунок специфічного гідродинамічного потоку, що виникає при взаємодії імпульсного мікрохвильового поля з полярними молекулами рідини в капілярах сировини.

У результаті комплексу аналітичних, експериментальних і виробничих досліджень вперше визначено залежності впливу потужності МХП, температури, гідродинамічних умов у екстракторі, режимів зміни концентрацій розчину на кінетику процесу та визначено значення відповідних коефіцієнтів масовіддачі, співвідношення в безрозмірних числах подібності для розрахунку інтенсивності масоперенесення в протиточних екстракторах з мікрохвильовим інтенсифікатором при виробництві розчинної кави.

Методом «аналізу розмірностей» отримана структура рівняння в узагальнених змінних для розрахунку комбінованих процесів екстрагування з капілярно - пористого тіла кавової сировини.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблений і запропонований спосіб отримання екстрактів з кавової сировини під впливом МХП істотно інтенсифікує внутрішньо дифузійні процеси масообміну і рекомендується для впровадження в технологію виробництва розчинної кави.

Запропонована здобувачем структура рівняння в узагальнених змінних рекомендується для аналізу кінетики процесу екстрагування з кавової сировини в МХП, а отримані коефіцієнти рівняння можуть використовуватися для проектування екстракторів з МХ інтенсифікатором в кавовому виробництві.

Вперше розроблено інженерну методику розрахунку мікрохвильового екстрактора, за якою складена комп'ютерна програма. Програма розрахунку мікрохвильо-

вого екстрактора, заснована на нових результатах автора в області кінетики взаємодії, подрібнених кавових зерен (кавового шламу) і води, призначена для проектування подібних систем у широкому діапазоні зміни параметрів. Розроблено типорозмірний ряд на різні продуктивності мікрохвильових екстракторів безперервної дії.

Запропонований автором метод екстрагування дозволяє скоротити втрати смакоароматичних речовин в екстракті, поліпшити якість готового продукту, підвищити ефективність переробки сировини і знизити величину витрат електричної енергії.

Створено дослідний зразок МХ екстрактора безперервної дії, випробування якого в умовах виробництва підтвердили можливість інтенсифікації процесу і збільшення виходу готової продукції за рахунок додаткового вилучення водорозчинних речовин з кавового шламу, таким чином, скорочуючи норми витрати кави-сировини.

Зразок МХ екстрактора і робочі режими екстрагування кавової сировини, передані для впровадження на ПАТ «Енні Фудз» м. Одеса.

Особистий внесок здобувача. Автор безпосередньо планував експеримент, здійснював наукові дослідження, інтерпретував і узагальнював отримані результати, брав участь в обговоренні запропонованих концепцій, виступав з доповідями на конференціях.

Особистий внесок здобувача полягає у виконанні аналітичних та експериментальних досліджень за темою дисертації, науковому аналізі, математичній обробці, узагальненні та публікації їхніх результатів, формулюванні висновків і пропозицій, оптимізації процесу масоперенесення екстрактивних речовин з твердої фази в рідину. У наукових роботах, виконаних у співавторстві, дисертанту належить планування, організація, розробка методик експериментів і реалізація експериментальних досліджень.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу та науковців Одеської національної академії харчових технологій (ОНАХТ) у 2010...2013 рр.; на Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв» (Одеса, 2010; 2012), на Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (Одеса, 2011; 2013); на XI міжнародній науково-практичній конференції «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (Санкт-Петербург, 2011); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі» (Харків, 2011; 2012); на XIV Минском міжнародном форумі по тепло- і массообмену (Минск, 2012), на XII Міжнародній науково-практичній конференції «ІТЕ -2012» (Харків, 2012); на науково-практичній конференції «Нанотехнології в харчовій промисловості» (Одеса, 2013), на Міжнародній науково-практичній конференції «Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности» (Щёлкино, 2013).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковані 10 друкованих робіт у тому числі 6 робіт у фахових виданнях України, 5 статей у збірниках науко-

вих праць, 1 стаття в науково-практичному журналі, тези 5 доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури, який включає 137 найменувань вітчизняних і зарубіжних авторів на 14 сторінках та п'яти додатків на 24 сторінках. Основний текст роботи викладено на 144 сторінках, включає 60 рисунків (45 сторінок) та 22 таблиці (18 сторінок).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, наукове положення, показана наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробація результатів і вказані публікації за темою дисертації.

У **першому розділі** «Сучасний стан виробництва розчинної кави і шляхи інтенсифікації процесу екстрагування у виробництві кавопродуктів» проведено аналіз проблем, що виникають при виробництві розчинної кави, обґрунтовано актуальність інтенсифікації процесів масоперенесення під час екстрагування з кавової сировини. Розглянуто основні методи інтенсифікації екстракції рослинної сировини. Викладено сучасні уявлення про процес МХ нагрівання, розглянуті питання застосування мікрохвиль в різних галузях науки, наводяться приклади мікрохвильових лабораторних установок, призначених для здійснення різних процесів.

Вперше в ОНАХТ роботи із застосування МХП для передпосівної активації зерна виконав проф. Калінін Л.Г., процеси екстрагування в МХП під керівництвом проф. Бурдо О.Г. вивчалися в дисертаційних роботах Терзієва В.Г. (коньячне виробництво), Осадчука П.І. і Капетули С.М. (виробництва олій) і Ряшко Г.М. (виробництво кави). В останній роботі детально вивчені статичні та кінетичні характеристики процесу, проте завдання індустріального застосування способу на основі досліджень проведених в ОНАХТ, не вирішені.

Обґрунтовано перспективність комбінованих процесів, в яких за допомогою мікрохвильового впливу можлива значна інтенсифікація процесу масоперенесення.

У **другому розділі** «Методи моделювання процесу масоперенесення в системі «сировина - екстрагент» в умові імпульсно - хвильового підведення енергії» розглянуті методи аналітичного та експериментального досліджень процесу масообміну під час екстрагування водорозчинних речовин з пористої структури кавової сировини у воду під впливом МХП. Розглянуто специфіку шламу кави, який є відпрацьованим матеріалом із збіднілим вмістом екстрактивних речовини. Але відомо, що у цьому шламі ще містяться до 4 % якісних речовин. Є суттєве протиріччя між конструктивними рішеннями, технологічними аспектами та ефективністю використання сировини. Виходячи з наукових положень наводиться фізична схема та механізм процесу (рис. 1).

Кавове зерно в процесі екстрагування поділяється на дві області - внутрішню, де концентрація розчинної речовини максимальна (C_{Tmax} , кг/м³), і зовнішню, де ця концентрація значно менше (C_{TG} , кг/м³), причому з плином часу обсяг зовнішньої області поступово зростає, а внутрішньою зменшується.

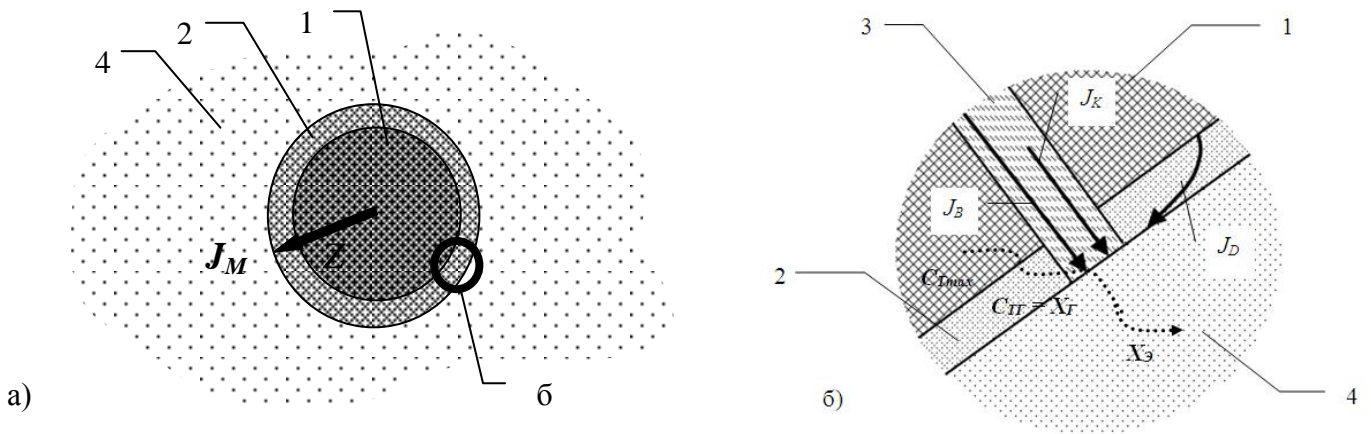


Рис. 1. Схема процесу масоперенесення цільового компонента в системі «кавова сировина - екстрагент»: а) рух загального масового потоку J_M розчинних речовин по осі Z ; б) розподілення концентрацій при вилученні розчинних речовин з пористого тіла: 1 - внутрішня область твердого тіла, 2 - зовнішня область твердого тіла, 3 - капіляр зерна; 4 - екстрагент.

Завдання масоперенесення в умовах МХП розглянуто як сукупність моделі масоперенесення з пористого тіла сферичної форми, моделі дифузії всередині капіляра пористого тіла, а також моделі дифузії з точкового джерела в потік. Основною кінетичною моделлю екстрагування є процес масоперенесення речовини з твердої фази в ядро потоку екстрагента. Під час екстрагування з шару кавової сировини в рідкій фазі екстрагента можуть виникати градієнти концентрацій розчинених речовин, що викликає перенесення екстрактивних речовин всередині рідкої фази екстрагента. Також паралельно йдуть процеси перенесення екстрактивних речовин, викликані плином екстрагента і масовіддачею з твердої фази. Швидкість зміни концентрації екстрактивних речовин в рідкій фазі (X , $\text{кг}/\text{м}^3$) можна записати

$$\frac{\partial X}{\partial \tau} = -\nabla(w_{\Sigma} \cdot X) + J_M S_{y\phi} \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} - \nabla(D\nabla C_T). \quad (1)$$

При постановці завдання прийняті наступні припущення:

- рух екстрагента здійснюється тільки в напрямку осі z ;
- молекулярна дифузія надто мала в порівнянні з конвективною;
- відсутній безпосередній контактний масообмін між частинками кавової сировини в напрямку осі z ;
- відсутні локальні ущільнення шару сировини і зменшення поверхні контакту фаз за рахунок зіткнення частинок сировини між собою.

Вважаючи, що концентрація екстрактивних речовин змінюється тільки по осі z , отримаємо:

$$\frac{\partial X}{\partial \tau} = -w_{\Sigma} \frac{\partial X}{\partial z} + J_M S_{y\phi} \frac{(1-\varepsilon_k)}{\varepsilon_k}, \quad (2)$$

де w_{Σ} - швидкість, з якою екстрактивні компоненти входять в потік, $\text{м}/\text{с}$; $S_{y\phi}$ - питома поверхня частинки, $\text{м}^2/\text{м}^3$; ε_k - поверхнева щільність капілярів у частці шלאму.

Запропонована система рівнянь, що описує внутрішню задачу масоперенесення в умовах МХП, навіть при настільки серйозних спрощеннях вельми скрутна для її вирішення. Оскільки, гідродинамічна ситуація в потоці визначається турбулентним

плином екстрагента, ускладненим вихровою дифузією з каналів кавової сировини, тому завдання вимагає подальших спрощень.

Молекулярна дифузія у твердій фазі визначається за рівнянням Фіка. Масовий потік в даному випадку залежить від коефіцієнта дифузії D і градієнта концентрації у твердому тілі. Частинки пористої сировини мають найменшу граничну концентрацію ($C_{П}$, кг/м³), якій відповідає значення граничної концентрації в рідкій фазі (X_G , кг/м³) на межі розділу фаз при взаємодії з розчинником, що можна пояснити малим діаметром капіляра і стисненими умовами для дифузії всередині капіляра. Завдяки конвективній дифузії (масовий потік J_K , кг/с), відбувається рух розчинних речовин з рідкої фази X_G в центр потоку, де їх концентрація дорівнює $X_Э$. Інтенсивність конвективної дифузії в обмежених умовах визначається коефіцієнтом масовіддачі β . При накладенні МХП паралельно руху масових потоків J_D , J_K , і виникає ще один потік J_B . Масовий потік J_B залежить від різниці тисків у капілярі P_K і в потоці екстрагента $P_Э$, а також від коефіцієнта масовіддачі β' , який істотно відрізняється від β . Внутрішньодифузійний режим процесу екстрагування стає найбільш інтенсивним режимом вилучення.

В умовах бародифузійного потоку виникає трудність розділення потоків J_D , J_K і J_B , оскільки явище бародифузії вносить збурення у всі зазначені складові процесу масоперенесення цільового компонента в системі «кавова сировина - екстрагент». Тому загальний потік маси:

$$J_M = \beta_Э (C_{тек} - C_P), \quad (3)$$

де $\beta_Э$ - ефективний коефіцієнт масовіддачі, що враховує внутрішньо-, зовнішньо- та бародифузійні процеси, м/с; $C_{тек}$ - поточна концентрація у твердій фазі, кг/м³; C_P - рівноважна концентрація у твердій фазі, кг/м³.

У зв'язку з труднощами, що виникли в результаті аналітичного моделювання, слід застосувати експериментальне моделювання, основною науковою базою якого є теорія подібності та метод «аналізу розмірностей».

Для цього визначили групи параметрів, які впливають на величину ефективного коефіцієнта масовіддачі $\beta_Э$. Так висота шару сировини H , щільність ρ і в'язкість екстрагента μ , швидкість його руху w , коефіцієнт дифузії D характеризують інерційні властивості потоку. Гідродинамічна ситуація при формуванні приграничного шару на вході в канал виражається співвідношенням висоти шару H і довжини шару L . Вклад природної конвекції встановлюється різницею концентрацій в потоці ΔX і гравітаційним полем g . Дія бародифузії за рахунок мікрохвильового поля визначається величинами питомої теплоти пароутворення r і потужності поля N . Отримана вихідна функціональна залежність загального вигляду: $\beta_Э = f(H, L, \rho, \mu, w, D, r, N, k, \Delta X, g)$.

Всі ці параметри містять тільки три основних розмірності: довжину (L), масу (M) і час (τ). Користуючись аналізом розмірностей, замінимо цю функцію залежності між критеріями подібності. Згідно π -теорема, визначено дев'ять безрозмірних комплексів, що описують процеси, які використовувалися для пошуку комбінацій структури критеріального рівняння.

Таким чином, у зв'язку зі специфікою завдання, пов'язаного з інерцією потоку екстрагента і впливом швидкості потоку на значення коефіцієнта β_3 , було прийнято в якості обумовленого числа подібності число Стантона масообмінного

$$St_m = \frac{Sh}{Re Sc} \equiv \frac{\beta_3}{w}, \quad (4)$$

Остаточно, критеріальне рівняння прийняло вигляд:

$$St_m = A (Re)^m (Sc)^n (Bu)^p (\Pi)^b, \quad (5)$$

де Re , Sc , Bu - числа подібності Рейнольдса, Шмідта, Бурдо відповідно; Π - безрозмірний комплекс параметричної проникності, що враховує геометрію укладання частинок твердого матеріалу: $\Pi = k/H^2$, де k - проникність шару, m^2 ; A , m , n , p , b - константи, які визначаються експериментально.



Рис.2. Експериментальний стенд для досліджень.

У процесі виконання дисертаційної роботи були розроблені наступні методи експериментального моделювання: методика визначення коефіцієнта масовіддачі і методика узагальнення результатів експериментів.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження, результати експериментів і їх узагальнення» наведені результати експериментальних досліджень, спрямованих на вивчення кінетики комбінованих процесів екстрагування з кавового шламу. Дослідження проводилися на експериментальному стенді (рис. 2), який складався з напірної ємності для екстрагента (води) з гнучким трубопроводом, що з'єднує ємність з досліджуванним модулем, і мірної ємністю для екстракту. Металева камера, в якій розташовується блок масообмінних модулів, оснащена генератором МХП. Система керування дозволяє регулювати потужність випромінювань установки.

Самостійною проблемою є схема розподілу гідравлічних потоків (рис. 3). Це багатошарова течія, де схема потоків істотно залежить від товщини шару продукту та його структурних характеристик і від витрати рідини. Така багатошарова течія непрогнозована, тому значення гідравлічного опору визначалося експериментально. Залежності витрати від напору для різних завантажень касет

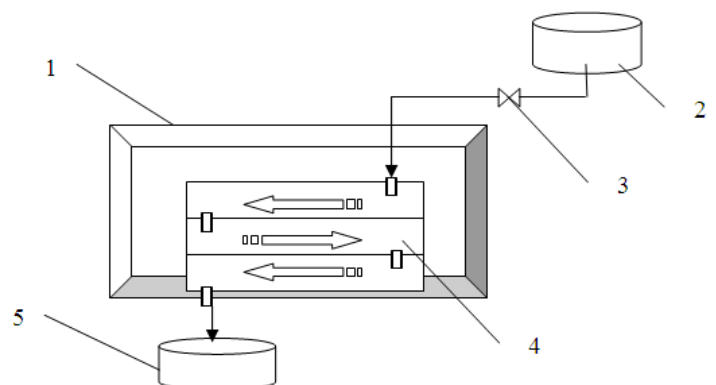


Рис.3. Схема багатошарової течії рідини в масообмінних модулях: 1 - камера, 2 - напірна ємність, 3 - вентиль, регулюючий витрати; 4 - касети, 5 - мірна ємність.

продуктом свідчать про сприятливе для процесів екстрагування явище (рис. 4): гідродинамічна ситуація з таким псевдозрідженим шаром однозначно сприятиме інтенсифікації процесів перенесення під час екстрагування.

В результаті гідравлічних випробувань встановлена раціональна конструкція касети і технологічні чинники, що забезпечують стабільні параметри масообмінного модуля, на якому проводилися дослідження, спрямовані на вивчення кінетики екстрагування з кавового шламу.

Експериментальні дослідження процесу масоперенесення в системі «сировина - екстрагент» в умові МХП проводилися в широкому діапазоні параметрів (табл. 1).

Вплив режимних параметрів на інтенсивність даного процесу досліджувався в дискретному режимі, тобто досліджуваний кавовий продукт був завантажений в блок касет, розташованих по висоті однієї камери і знаходився нерухомо щодо її стінок. В якості сировини для проведення експериментів використовували вторинну сировину (кавовий шлам) виробництва розчинної кави на ПАТ «Енні Фудз», в якості екстрагента - вода. Фракція вихідної сировини мала розмір часток в діапазоні $0,5 \cdot 10^{-3} \dots 1,5 \cdot 10^{-3}$ м. Вихідна потужність магнетрона 900 Вт.

Таблиця 1

Діапазон експериментальних досліджень

Маса шламу в 1 касеті $G_{ш}$, кг	Товщина шару $\delta \cdot 10^3$, м	Витрата екстрагента $V \cdot 10^6$, м ³ /с	Температура t , °C	Мікрохвильова потужність N , Вт/кг
0,12...0,34	8...27	1...3	30...70	270...900

Температура вимірювалася комбінованим контактним і ІЧ термометром Fluke 561.

При підвищенні потужності МХП пропорційно зростала температура екстрагенту (рис. 5). Підвищення потужності МХП з 270 Вт/кг до 900 Вт/кг може підвищити вихід екстрактивних речовин з кавового шламу більш ніж у два рази і суттєво зменшити тривалість (рис. 6), а, отже, зменшити енергоємність процесу виробництва екстрактів кави на 53 %.

Впливи товщини шару кавового шламу на інтенсивність процесу екстрагування в МХП.

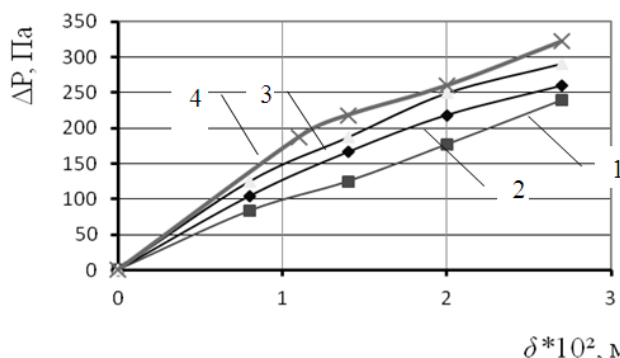


Рис. 4. Залежність гідравлічних характеристик касет від їх завантаження при витраті екстрагента V [м³/с]: 1 - $1,2 \cdot 10^{-6}$; 2 - $1,8 \cdot 10^{-6}$; 3 - $2,5 \cdot 10^{-6}$; 4 - $5,3 \cdot 10^{-6}$.

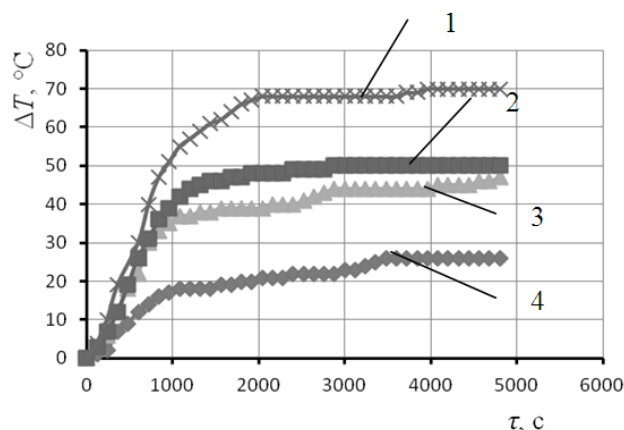


Рис. 5. Залежність зміни температури екстрагента від потужності МХ поля N [Вт/кг]: 1 - 900, 2 - 630, 3 - 450, 4 - 270.

Видно (рис. 7), що чим менше товщина шару оброблюваного продукту, тим менше тривалість екстрагування з кавового шламу. Така залежність спостерігається для всіх досліджених концентрацій.

Вплив об'ємної витрати екстрагенту на інтенсивність масоперенесення.

При збільшенні об'ємної витрати екстрагента в 3 рази вихід екстрактивних речовин з кавового шламу підвищується на 35 % і скорочується тривалість екстрагування в 2 рази (рис. 8). Це пояснюється тим, що в каналах, по яких інтенсивно рухається екстрагент, який проходить через складну структуру нерухомого шару кавового шламу, виникають значні вихроутворення, що практично повністю знімають зовнішній дифузійний опір на межі розділу твердої і рідкої фази.

Отримані експериментальні дані оброблялися за допомогою програмного пакета Microsoft Excel з метою оцінки значень відповідних коефіцієнтів масовіддачі.

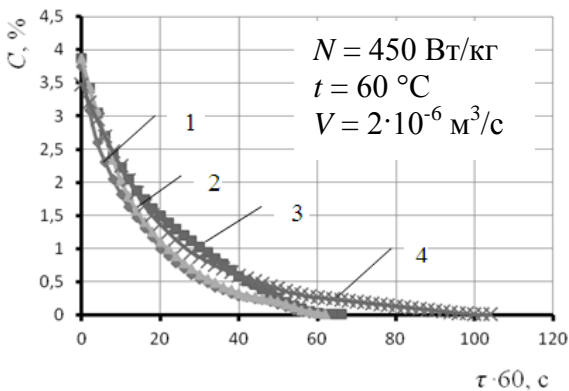


Рис. 7. Залежність інтенсивності екстрагування цільових компонентів від товщини шару сировини δ [м]: 1 - 0,008; 2 - 0,014; 3 - 0,020; 4 - 0,027.

вого екстрактора» приведена інженерна методика розрахунку МХ екстракторів безперервної дії у вигляді узагальнених блок-схем для розрахунку самостійних етапів. Складено узагальнений алгоритм перевірного розрахунку мікрохвильового екстрактора, вхідними параметрами якого є початкові параметри екстрагента і кавового шламу, витратні та енергетичні параметри процесу, з метою визначення концентрації на виході з екстрактора при різному поєднанні вхідних конст-

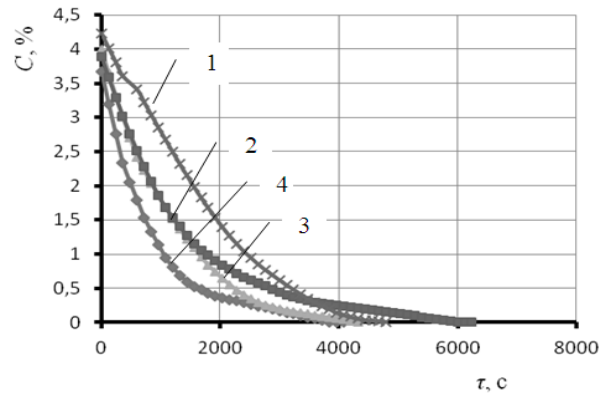


Рис. 6. Залежність часу виснаження кавового шламу від мікрохвильової потужності N [Вт/кг]: 1 - 270; 2 - 450; 3 - 630; 4 - 900.

Отримано:

$$St_m = 0,004 (Re)^{-0,5} (Sc)^{0,43} (\Pi)^{0,6} (Bu)^{0,33}. \quad (6)$$

Рівняння (6) рекомендується в діапазоні чисел подібності: $10 < Re < 68$; $0,5 \cdot 10^3 < Sc < 10,5 \cdot 10^3$; $0,9 < \Pi < 10,6$; $0,22 \cdot 10^{-7} < Bu < 1,6 \cdot 10^{-7}$.

Максимальна відносна похибка розрахунку $St_{m,theor}$ за співвідношенням (6) до експериментальних даних $St_{m,exp}$ становить 17,58 % і спостерігається при малих значеннях числа Стантона.

У четвертому розділі «Інженерна методика розрахунку та оптимізація мікрохвильо-

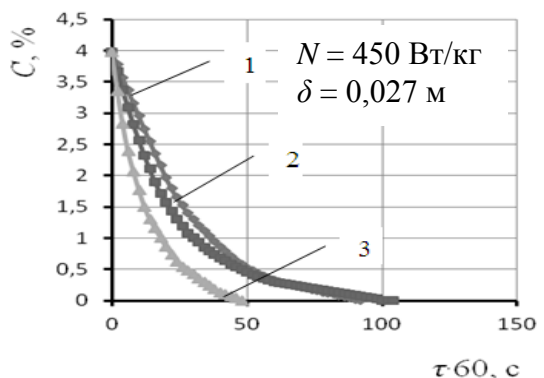


Рис. 8. Залежність часу процесу масоперенесення екстрактивних речовин з кавового шламу від об'ємної витрати екстрагента V [м³/с]: 1 - $1 \cdot 10^{-6}$; 2 - $2 \cdot 10^{-6}$; 3 - $3 \cdot 10^{-6}$.

руктивних і технологічних параметрів.

Отримане критеріальне рівняння (6) і запропонована інженерна методика розрахунку МХ екстракторів ефективно використовувалися для проведення комп'ютерного моделювання. Аналіз комп'ютерного експерименту показав, що найбільший вплив на процес екстрагування в умовах МХП викликають наступні параметри: вихідна мікрохвильова потужність магнетронів, продуктивності за сировиною та екстрагентом, висота шару сировини в одиничному масообмінному модулі.



Рис. 9. Зразок експериментального МХ екстрактора.

За результатами проведених досліджень була розроблено експериментальний зразок МХ екстрактора безперервної дії (рис. 9) з параметрами, наведеними в табл. 2.

Металеві камери оснащені генераторами мікрохвильового випромінювання і з'єднані між собою металевими шлюзами. У металевій шахті розміщено 38 касет, зібраних в блоки з діелектричного матеріалу, призначені для закладки кавової сировини. Передбачена можливість регулювати швидкість переміщення касет по висоті шахти. За рівнем безпеки мікрохвильового випромінювання МХ екстрактор на найпотужніших рівнях випромінювання на відстані 1 м не перевищує 10 мкВт/см^2 , що відповідає стандартам, що діють в Україні.

Оптимізація конструктивних і режимних параметрів МХ установки.

Використання принципу максимуму зводилося до задачі рівномірного заповнення досліджуваної області обчисленими значеннями цільової функції (7). На область зміни перемінних (рис. 10) були накладені обмеження.

Таблиця 2

Основні характеристики установки

Параметри	Експериментальний зразок МХ екстрактора
Частота випромінювання МХ генераторів, МГц	2450 ± 50
Вихідна потужність МХ випромінювання, кВт	$\leq 4,5$ кВт (регулюємо)
Магнетрони (0,9 кВт), шт.	5
Габаритні розміри установки ($l/b/h$), м:	0,52/0,68/2,05
Продуктивність за сировиною, кг/год.	≤ 24

$$Z = \max (\zeta \cdot D - K_y - C_{\text{эу}} \cdot P_{\text{эу}}), \quad (7)$$

де $P_{\text{эу}}$ - річне споживання енергії установкою, кВт·ч; $C_{\text{эу}}$ - вартість енергії споживаної установкою, грн/кВт·ч; K_y - вартість установки, грн; ζ - вартість сировини,

грн/кг; D - кількість сировини заощадженої за рахунок додаткового вилучення з шламу, кг; який розраховується за формулою:

$$D = G_{ocm} \cdot (C_n - C_{ocm}) \cdot k_{zg}, \quad (8)$$

де G_{ocm} - маса кавового шламу, кг; C_n - концентрація екстрактивних речовин в шламі на вході в установку, %; C_{ocm} - залишкова концентрація екстрактивних речовин в шламі, %; k_{zg} - коефіцієнт враховує втрати екстрактивних речовин зі шламом по відношенню до вихідної сировини (до сирих зерен кави) і дорівнює 1,3.

Для оптимізації був обраний математичний метод, який приводив би до кінцевих результатів з найменшими витратами на обчислення. Вибір методу покоординатного спуску або методу Гаусса-Зейделя визначався постановкою оптимізаційної задачі і використовуваною техніко-економічною моделлю об'єкта оптимізації (рис. 10).

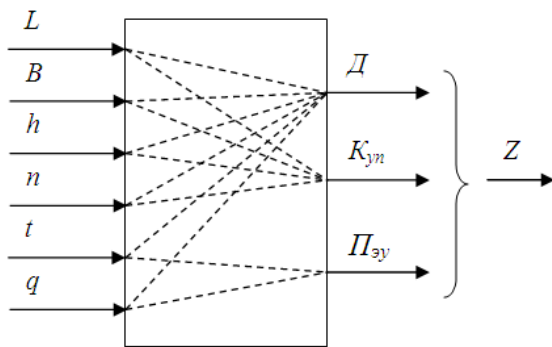
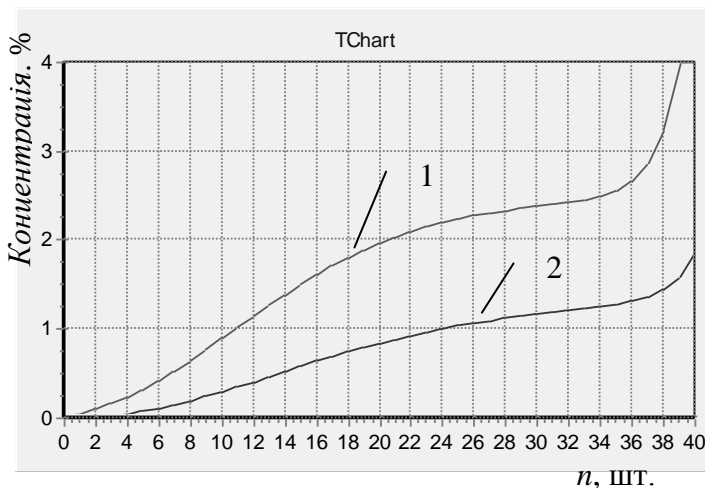


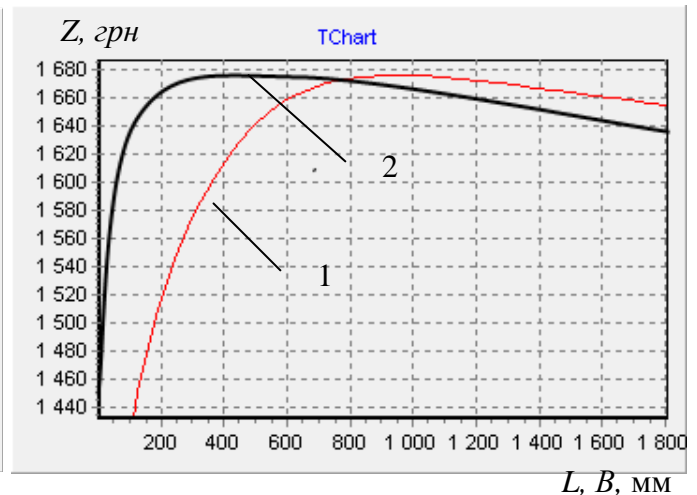
Рис. 10. Параметрична схема техніко-економічної оптимізації, де q - гідромодуль, n - кількість модулів по висоті установки.

Проведена серія комп'ютерних експериментів, визначені поля концентрацій у екстракторі (рис. 11, а). По осі ординат відкладено кількість масообмінних модулів n , а по осі абсцис: 1) зміна концентрації рідкої фази (екстрагента) та 2) твердої фази (кавовий шлам) по висоті екстрактора H . Вплив довжини L і ширини B масообмінного модуля на функціонал економічної ефективності Z при продуктивності установки 24 кг/год. наведено на рис. 11, б.

Максимум економічної ефективності функціоналу досягає при значенні довжини масообмінного модуля екстрактора 937 мм та ширини масообмінного модуля 350 мм. Виявляється, що більш економічними є масообмінні модулі довжиною 0,94 м і шири-



а)



б)

Рис. 11. а) Розподіл концентрації екстрактивних речовин в рідкій і твердій фазі по модулях відповідно локального максимуму Z по координаті L і B ; б) Вплив: 1 - довжини масообмінного модуля L ; 2 - ширини масообмінного модуля B на функціонал економічної ефективності Z .

ною 0,35 м. Так, даний розмір модуля МХ екстрактора забезпечує 32 % підвищення функціоналу стосовно дослідно-промисловій установці. Аналогічно реалізація алгоритму покоординатного спуску здійснювалася по кожній координаті локального оптимуму.

За підсумками оптимізації розроблений типорозмірний ряд мікрохвильових екстракторів безперервної дії для екстрагування шламу продуктивністю 6...96 кг/год., потужність, що підводиться електромагнітних інтенсифікаторів становить до 26 кВт. При цьому термін окупності запропонованих установок не перевищує - 0,5 року (табл. 3).

Таблиця 3

Типорозмірний ряд МВ екстракторів безперервної дії

Варіант	1	2	3	4	5
Продуктивність по кавовому шламу G_c , кг/год.	6	12	24	48	96
Гідромодуль системи «кавовий шлам - вода» q	1,2	4,0	3,0	2,6	3,0
Кінцева температура екстрагенту t_k , °C	60	90	85	85	96
Потужність, кВт/кг	1,0	4,4	6,1	10,5	26,0
Ширина масообмінного модуля B , мм	65	240	350	1140	1800
Довжина масообмінного модуля L , мм	350	550	937	1180	1500
Функціонал економічної ефективності Z , грн/зміна	168	826	1696	3400	6843
Концентрація екстрагенту X_s , %	2,14	1,60	1,67	1,68	1,61
Капітальні витрати, тис. грн	30	85	160	300	550
Термін окупності, років	0,41	0,23	0,21	0,20	0,18

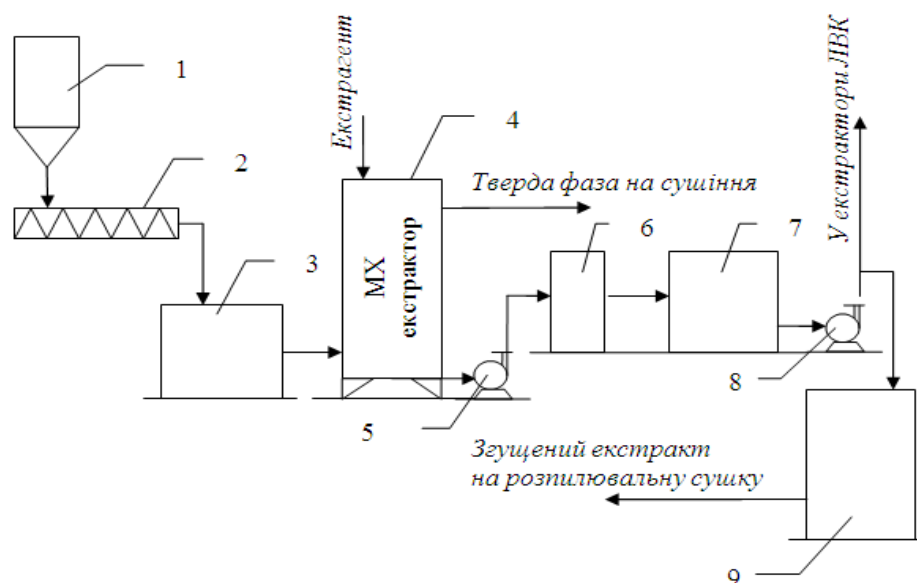


Рис. 12. Апаратурне оформлення способу додаткового вилучення водорозчинних цільових компонентів з кавового шламів: 1 - бункер; 2 - шнек; 3 - пункт завантаження в касети; 4 - мікрохвильовий екстрактор; 5, 8 - насос; 6 - фільтр; 7 - проміжна ємність; 9 - вакуум випарний пристрій.

Запропоновано апаратурне оформлення для здійснення способу додаткового вилучення водорозчинних речовин з твердої і рідкої частин кавового шламу (рис. 12). Реалізація даного способу дозволить збільшити вихід готової продукції і, таким чином, скоротити норми витрати кавової сировини.

ВИСНОВКИ

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень виявлено, що технологічні відходи при виробництві розчинної кави (кавовий шлам), які містять до 4 % повноцінних цільових компонентів, не можуть бути вилучені традиційними технологіями. В дисертації висунуто наукове положення и розроблена фізична модель можливості вилучення залишків цільових компонентів з шламу за рахунок ініціювання потужного бародифузійного потоку екстрактивних речовин, що істотно інтенсифікує масоперенесення з твердої фази і скоротить витрати енергії за рахунок комбінованого впливу на рослину сировину, яка рухається в протитечії з екстрагентом в умовах циклічного електромагнітного мікрохвильового поля, при можливості адресної доставки енергії в мікроканали твердої фази.

1. Отримана математична модель процесу, що досліджується, шляхом запису диференціального рівняння, яке враховує швидкість зміни концентрації екстрактивних речовин в рідкій фазі, переведенням його в одновимірну форму, після аналізу масових потоків конвективної дифузії і бародифузії, трансформації їх в критеріальну форму при використанні нового узагальнюючого комплексу - числа Стантона масообмінного.

2. Розроблені методики визначення коефіцієнта масовіддачі, визначення площі поверхні контакту фаз і методика узагальнення результатів експериментів. Створено комплекс експериментальних стендів для дослідження процесів гідродинаміки і тепломасоперенесення екстрактивних речовин з шламу в потік екстрагента (води) в умовах МХ поля.

3. Визначено оптимальні режимні параметри та встановлено, що зі зменшенням товщини шару від 0,027 до 0,008 м час екстрагування зменшується в 2,5 рази; зі збільшенням об'ємної витрати екстрагента $1 \cdot 10^{-6} \dots 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ тривалість процесу зменшується в 2 рази; з підвищенням питомої потужності МХ полю від 270 до 900 Вт/кг збільшується вихід екстрактивних речовин в 2 рази та зменшується тривалість процесу екстрагування на 33 %, а відповідно, зменшується на 53 % енергоємність процесу виробництва екстрактів кави.

4. Створено програму розрахунку установок безперервної дії для екстрагування з кавового шламу під впливом МХ поля - «Extractor». Визначені коефіцієнти критеріальної залежності числа St_m від чисел подібності Re , Sc , Bu і безрозмірного комплексу параметричної проникності, шляхом узагальнення експериментальних даних. Критеріальне рівняння, отримане на основі цих чисел дозволяє розрахувати коефіцієнт масовіддачі β з похибкою не більше 18 % та рекомендовано для використання в діапазоні: $10 < Re < 68$; $0,5 \cdot 10^3 < Sc < 10,5 \cdot 10^3$; $0,9 < \Pi < 10,6$; $0,22 \cdot 10^{-7} < Bu < 1,6 \cdot 10^{-7}$.

5. Розроблено та виготовлено експериментально - промисловий зразок МХ екстрактора безперервної дії продуктивністю за сировиною $1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ (або 4 кг/год.),

що забезпечує додаткове вилучення екстрактивних речовин з кавового шламу на 0,24 т/рік при цьому питома витрата енергії складає 250 кДж/кг вилучених сухих речовин. Додаткові капітальні витрати складають 25500 грн, які окупляться протягом 0,4 року. Отримано типорозмірний ряд установок різної продуктивності, на підставі оптимізації режимів роботи і конструктивних параметрів апаратів, що проектуються.

6. Проведені виробничі випробування на підприємстві ПАТ «Енні Фудз» безвідходної технології виробництва розчинної кави, пов'язаної з додатковим вилученням водорозчинних речовин з кавового шламу і його утилізації. Кавовий екстракт, вилучений після обробки шламу кави в експериментальному зразку мікрохвильового екстрактора, отримав позитивні оцінки за всіма критеріями якості виробленої продукції.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Макиевская Т.Л. Повышение энергетической эффективности процесса экстрагирования при производстве кофе [Текст] / Т.Л. Макиевская // Наукові праці ОНАХТ, - Одеса. – 2013. – Вип. 43, Т.2. – С. 113 – 116.

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

2. Бурдо О.Г. Энергетический анализ пищевых нанотехнологий [Текст]/ О.Г. Бурдо, Т.Л. Макиевская, Н.В. Ружицкая, С.Г. Яровой // Наукові праці ОНАХТ, - Одеса. – 2012. – Вип. 41, Т.2. – С. 19 – 25.

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

3. Бурдо О.Г. Энергетичні аспекти харчових нанотехнологій [Текст] / О.Г. Бурдо, В.Н. Бандура, Н.В. Ружицкая, Т.Л. Макиевская // Наукові праці ОНАХТ, - Одеса. – 2012. – Вип. 42, Т.2. – С. 462 – 467.

Особистий внесок здобувача: проведення аналізу літературних джерел, проведення експериментальних досліджень, обробка та узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

4. Терзиев С.Г. Кинетика процесса экстрагирования в микроволновом поле [Текст] / С.Г. Терзиев, Т.Л. Макиевская // Наукові праці ОНАХТ, - Одеса. – 2011. – Вип. 39, Т.2. – С. 200 – 203.

Особистий внесок здобувача: розробка моделі процесу, проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

5. Бурдо О.Г. Повышение эффективности использования энергии и сырьевых ресурсов при производстве растворимого кофе [Текст] / О.Г. Бурдо, С.Г. Терзиев, П.И. Светличный, Т.Л. Макиевская // Наукові праці ОНАХТ, - Одеса. – 2011. – Вип. 39, Т.2. – С. 284 – 287.

Особистий внесок здобувача: проведення енергетичного моніторингу, проведення експериментальних досліджень, їх узагальнення, підготовка матеріалів до друку.

6. Терзиев С.Г. Совершенствование энерготехнологий при производстве пищевых концентратов [Текст] / С.Г. Терзиев, О.М. Кураков, А.А. Борщ, Т.Л. Макиевская // Энергетика теплотехнології та енергозбереження ХДПУ, - Харків. – 2012. – № 3. – С. 32 – 36.

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

7. Бурдо О.Г. Наномасштабные подходы при переработке пищевого сырья [Текст] / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Макиевская Т.Л., Ружицкая Н.В. // Высокие технологии, образование, промышленность. Сборник статей одиннадцатой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности», - Т.3, - Санкт-Петербург, «Издательство политехнического университета», 2011 – С. 129 – 132.

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

8. Бурдо О.Г. Тепломассообмен в наномасштабных элементах пищевого сырья [Текст] / О.Г. Бурдо, В.Н. Бандура, Т.Л. Макиевская // Тезисы докладов и сообщений XIV Минского международного форума по тепло- и массообмену, 10-13 сентября, 2012 – Минск: НАН Белоруссии. – 2012. – Т. 2. – Ч. 2. – С. 611- 614.

Особистий внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих результатів, підготовка матеріалів до друку.

9. Макиевская Т.Л. Совершенствование режимов экстрагирования из зерен кофе на основе микроволновых технологий [Текст] // Тези доповідей всеук. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, готельного, ресторанного господарств і торгівлі», 23 березня, 2011 – Харків: ХДУХТ. – 2011. – Ч. 1. – С. 327.

Особистий внесок здобувача: проведення літературного пошуку та аналіз його результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

10. Макиевская Т.Л. Экстрагирование из зерен кофе в микроволновом поле [Текст] // Тези доповідей всеук. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів «Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі», 25 квітня, 2012 – Харків: ХДУХТ. – 2012. – Ч. 2. – С. 47.

Особистий внесок здобувача: проведення аналітичних досліджень, аналіз отриманих результатів, підготовка матеріалів до опублікування.

АНОТАЦІЯ

Макієвська Т.Л. «Кінетика комбінованих процесів виробництва екстрактів кави 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 України, Одеса, 2013.

У дисертації розглянуті можливості використання МХ випромінювання під час екстрагування кавових зерен, визначені залежності впливу теплових і гідродинаміч-

них умов у екстракторі на кінетику процесу екстрагування, розроблено спосіб отримання кавових екстрактів з кавового шламу, що дозволяє збільшити вихід готової продукції і, таким чином, скоротити норми витрат кавової сировини, та запропоновано методику розрахунку таких екстракторів.

Наведено результати експериментальних досліджень, спрямованих на вивчення кінетики комбінованих процесів екстрагування з кавового шламу. Складено узагальнений алгоритм перевірного розрахунку мікрохвильового екстрактора, вхідними параметрами якого є початкові параметри екстрагента і кавового шламу, витратні та енергетичні параметри процесу, з метою визначення концентрації на виході з екстрактора при різному сполученні вхідних конструктивних і технологічних параметрів. Для синтезу енергоефективного апарату проведена оптимізація конструктивних і режимних параметрів МХ установки. Цільова функція враховує річне споживання енергії установкою, вартість енергії споживаної установкою; вартість установки і кількість сировини заощадженої за рахунок додаткового вилучення зі шламу кави. За підсумками оптимізації розроблений типорозмірний ряд мікрохвильових екстракторів безперервної дії для екстрагування шламу продуктивністю 6...96 кг/год., потужність, що підводиться електромагнітними інтенсифікаторами становить до 26 кВт. При цьому термін окупності запропонованих установок не перевищує - 0,5 року.

Пропонується апаратне оформлення для здійснення способу додаткового вилучення водорозчинних речовин з твердої і рідкої частин кавового шламу, що дозволяє збільшити вихід готової продукції і, таким чином, скоротити норми витрати кавової сировини.

Результати роботи впроваджено у виробництво на підприємстві ПАТ «Енні Фудз» м. Одеса.

Ключові слова: кавовий шлам, екстракція, кінетика, масообмін, бародифузія, мікрохвильове поле, моделювання.

АННОТАЦІЯ

Макиевская Т.Л. «Кинетика комбинированных процессов производства экстрактов кофе в микроволновом поле». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Одесская национальная академия пищевых технологий, Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2013.

В диссертации рассмотрены возможности использования микроволнового (МВ) излучения при экстрагировании кофейных зерен, определены зависимости влияния тепловых и гидродинамических условий в экстракторе на кинетику процесса экстрагирования, разработан способ получения кофейных экстрактов из кофейного шлама и предложена методика расчета таких экстракторов.

В результате анализа литературных данных показаны особенности протекания процессов в условиях МВ нагрева, преимущества использования этого источника энергии по сравнению с традиционными способами нагрева. Обоснована перспективность комбинированных процессов, в которых с помощью микроволнового воз-

действия возможна значительная интенсификация процесса массопереноса. Показана перспективность дополнительной переработки кофейного шлама.

Показано противоречие между конструктивными решениями, технологическими аспектами и эффективностью использования сырья и показана физическая схема и механизм процесса. Записаны кинетические зависимости внутренней и внешней задачи массопереноса с учетом бародиффузионного потока. На основании теории размерностей получен общий вид критериального уравнения для определения эффективного коэффициента массоотдачи, учитывающего внутри-, внешне- и бародиффузионные процессы. Разработаны методики определения коэффициентов массоотдачи и обобщения результатов экспериментов.

Приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение кинетики комбинированных процессов экстрагирования из кофейного шлама. В результате гидравлических испытаний установлена рациональная конструкция кассеты и технологические факторы, обеспечивающие стабильные параметры массообменного модуля, на котором проводились опыты, направленные на изучение кинетики экстрагирования из кофейного шлама. Наблюдения показали, что повышение мощности МВ энергии может повысить выход экстрактивных веществ из кофейного шлама более чем в два раза и существенно уменьшить продолжительность, а, следовательно, уменьшить энергоемкость процесса производства экстрактов кофе. При увеличении объемного расхода экстрагента в 3 раза выход экстрактивных веществ из кофейного шлама повышается на 35 % и сокращается время экстрагирования в 2 раза. Это объясняется тем, что, проходя через сложную структуру неподвижно лежащего слоя кофейного шлама, в каналах, по которым интенсивно движется экстрагент, возникают значительные вихреобразования, и на границе раздела твердой и жидкой фазы, при этом практически полностью снимается внешнее диффузионное сопротивление. Под действием микроволнового поля скорость процесса диффузионного переноса возрастает в несколько раз, за счет образования механодиффузионного эффекта. В результате обработки экспериментальных данных получены эмпирические коэффициенты критериального уравнения для определения коэффициента массоотдачи в диапазоне чисел подобия: $10 < Re < 68$; $0,5 \cdot 10^3 < Sc < 10,5 \cdot 10^3$; $0,9 < \Pi < 10,6$; $0,22 \cdot 10^{-7} < Vu < 1,6 \cdot 10^{-7}$.

Составлен обобщенный алгоритм проверочного расчета микроволнового экстрактора, входными параметрами которого являются начальные параметры экстрагента и кофейного шлама, расходные и энергетические параметры процесса, с целью определения концентрации на выходе из экстрактора при различном сочетании входных конструктивных и технологических параметров. По результатам проведенных исследований был разработан экспериментально-промышленный образец МВ экстрактора непрерывного действия. Для синтеза энергоэффективного аппарата проведена оптимизация конструктивных и режимных параметров МВ установки. Целевая функция учитывает годовое потребление энергии установкой, стоимость энергии потребляемой установкой; стоимость установки и количество сырья сэкономленного за счет дополнительного извлечения из шлама. Максимум целевой функции достигается при значении длины массообменного модуля экстрактора 0,94 м. Так, данный размер модуля МВ экстрактора обеспечивает 32 % повышение функционала по отношению к опытно-промышленной установке. По итогам опти-

мизации разработан типоразмерный ряд микроволновых экстракторов непрерывного действия для экстрагирования шлама производительностью 6...96 кг/ч, подводимая мощность электромагнитных интенсификаторов составляет до 26 кВт. При этом срок окупаемости предложенных установок не превышает – 0,5 года.

Предлагается аппаратурное оформление для осуществления способа дополнительного извлечения водорастворимых веществ из твердой и жидкой частей кофейного шлама, позволяющее увеличить выход готовой продукции и, таким образом, сократить нормы расхода кофе - сырья.

Результаты работы внедрены в производство на предприятии ПАО «Енни Фудз» г. Одесса.

Ключевые слова: кофейный шлам, экстракция, кинетика, массообмен, микроволновое поле, моделирование.

ANNOTATION

Makievskaya T.L. «Kinetics of the combined processes of production of coffee extracts in the microwave field». – Manuscript.

The candidate's thesis in technical sciences, specialty 05.18.12 – processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. – Odessa National Academy of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa 2013.

The dissertation examined the possibility of using microwave radiation of coffee bean extracting depending influence of thermal and hydrodynamic conditions in the extractor on the kinetics of the extraction process, a process for producing coffee extracts from coffee slurry that can increase the output of finished product and thus reduce the expense we nor coffee raw materials, and proposed a method of calculation of such extractors.

The results of experimental studies aimed at studying the kinetics of the combined processes of extraction of coffee sludge. Done generalized algorithm testing calculation microwave extractor, input parameters which are initial settings extracting and coffee sludge, consumables and energy parameters of the process, in order to determine the concentration at the outlet of the extractor with various combinations of input design and process parameters. For the synthesis of energy-efficient device design and the optimization of microwave installation operational parameters. The objective function takes into account the annual energy consumption of the installation, the cost of energy consumed by the plant, the cost of installing and raw material savings due to the additional removal of sludge coffee. As a result of optimizing the number of dimension designed microwave extractors continuous extraction for sludge capacity 6...96 kg/h. The power supplied by electromagnetic intensifiers up to 26 kW. In this case, the payback period of the proposed plant does not exceed - 0.5 years.

Equipment design is proposed for carrying out the method further removal of water-soluble substances from the solid and liquid parts of the coffee sludge, thus increasing the yield of finished products and thus reduce the rates of consumption of raw coffee.

The results of the work put into production at the company PАО Enny Foods (Enny Foods, PLC) Odessa.

Keywords: coffee sludge, kinetics extraction, mass transfer intensity, diffusion factor, microwave field.

Підписано до друку 18.11.2013. Формат 60х90/16
Гарн. Таймс. Умов.-друк. арк. 0,9. Тираж 100
Замовл. № 482

ОНАХТ 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112