

УЗАГАЛЬНЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКСТРАГУВАННЯ ШЛАМУ КАВИ

Бурдо О.Г., д-р техн. наук, професор, Терзісв С.Г., канд. техн. наук, асистент,
Ружицька Н.В., аспірант

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

У статті розглянуто процес екстрагування олії зі шלאму кави. Запропоновано методику розрахунку експериментального ефективного коефіцієнта масовіддачі в умовах виникнення явища бародифузії. Отримано критеріальне рівняння періодичного процесу екстрагування олії зі шלאму кави в умовах дії мікрохвильового поля.

The process of extraction coffee oil from coffee ground is considered in current paper. The methods of calculation the experimental effective mass transfer coefficient in barodiffusion conditions is proposed. The criterion equation of coffee oil batch extraction process under microwave field action is received.

Ключові слова: шлам кави, бародифузія, олія кави, екстрагування, мікрохвильове поле, коефіцієнт масовіддачі.

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

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

Після екстрагування шлам кави містить до 4 % екстрактивних речовин [3]. Найбільш цінними компонентами шלאму кави, доцільними для подальшої переробки є: каваова олія (7 – 17 %), целюлоза та лігнін (60 – 75 %), суміш смако-ароматичних речовин (кофеоль) – (3 – 5 %), білок (5 – 7 %) [1, 2]. Також у кавовому шламі містяться макро- та мікроелементи і вітаміни B₂ і PP [3].

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

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

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

Для фармацевтичної промисловості каваова олія є цікавою завдяки антиканцерогенній та протизапальній дії, притаманній кафестолу і кафеолу.

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

Мікрохвилі – хвилі, що не іонізують, частотою від 300 МГц до 300 ГГц і у електромагнітному спектрі розташовуються між рентгенівським та інфрачервоним промінням [4]. Принцип нагріву мікрохвилями ґрунтується на їхній безпосередній взаємодії з полярними матеріалами та розчинниками і керується двома явищами: іонною провідністю та обертанням диполів, які у більшості випадків відбуваються одночасно.

Під дією мікрохвильового поля виникає обертальний рух полярних молекул води та, у разі використання полярного розчинника (спирт), розчинника у капілярах шלאму. Стінки капілярів є радіопрозорими, тобто енергія мікрохвиль витрачається лише на нагрівання води та полярного розчинника. У капілярах утворюються парові бульбашки, внаслідок чого виникає градієнт тиску і рідина з капіляра періодично викидається у потік. При цьому можливе часткове руйнування стінок капіляра [5].

Це явище називається бародифузією. Частота викидів та кількість капілярів, що функціонують пропорційні електрофізичній дії. Бародифузійний потік J_b турбулізує приграничний шар та суттєво зменшує, або усуває дифузійні опори нано- та мікрокапілярів [5, 6].

Масовий потік J_b залежить від різниці тисків у капілярі P_K і в потоці екстрагента P_E , а також від коефіцієнта масовіддачі β_b [5].

$$J_{\phi} = \beta_{\phi} \cdot (P_K - P_E). \quad (1)$$

В умовах виникнення бародифузійного потоку важко відокремити потоки, оскільки явище бародифузії вносить збурення у всі зазначені складові процесу масопереносу цільового компонента в системі «шлам кави – екстрагент».

Тоді загальний потік маси можна записати як:

$$J = \beta_{ef} (Y_T - X_E), \quad (2)$$

де β_{ef} – ефективний коефіцієнт масовіддачі, який враховує внутрішньо-, зовнішньо- та бародифузійний процеси.

Експериментально β_{ef} визначали за формулою:

$$\beta_{ef} = \frac{\Delta M}{F \Delta C}, \quad (3)$$

де ΔM – кількість олії, яку вилучено, кг/с;

F – площа поверхні контакту фаз, м²;

ΔC – різниця концентрацій олії у твердій фазі та розчині, кг/м³.

Швидкість протікання процесів екстрагування у системі тверде тіло-рідина визначається складними взаємодіями багатьох факторів, врахувати які в одній універсальній для всіх випадків моделі неможливо.

Отримати структуру критеріального рівняння для розрахунку гідравлічних, термічних, дифузійних опорів, коефіцієнтів переносу можна методом аналізу розмірностей [7].

У загальному вигляді на ефективний коефіцієнт масопередачі β_{ef} впливають розмір часток d , густина потоку ρ та в'язкість μ , коефіцієнт дифузії D , тобто параметри, що характеризують інерційні властивості потоку. Різниця концентрацій ΔC , та гравітаційне поле g визначають внесок природної конвекції. Дія бародифузії визначається потужністю мікрохвильового інтенсифікатора N , питомою теплотою пароутворення r . Також враховуються витрати продукту (G_{np}) та розчинника (G_{roz}). Тоді отримуємо таку залежність у загальному вигляді:

$$\beta = f(d, \rho, \mu, D, r, \Delta C, N, G_{np}, G_{roz}, g). \quad (4)$$

Перелік параметрів наведено у табл. 1. Всі параметри складаються з трьох основних розмірностей: довжини (м), маси (кг) та часу (с). Скориставшись аналізом розмірностей, можна функцію (4) замінити залежністю між критеріями подібності. За π -теоремою визначаємо кількість безрозмірних комплексів, які описують процес. Оскільки число змінних $n = 11$, число одиниць виміру $m = 3$, кількість безрозмірних комплексів, що описують процес дорівнює $(n - m) = 8$.

Таблиця 1 – Перелік параметрів

Параметр	Символ	Розмірність
Ефективний коефіцієнт масовіддачі	β_{ef}	м · с ⁻¹
Діаметр часток	d	м
Середня густина потоку	ρ	кг · м ⁻³
Середня в'язкість потоку	μ	кг · м ⁻¹ · с ⁻¹
Коефіцієнт дифузії	D	м ² · с ⁻¹
Різниця концентрацій	ΔC	кг · м ⁻³
Теплота пароутворення	r	м ² · с ⁻²
Потужність мікрохвильового поля	N	кг · м ² · с ⁻³
Витрати продукту	G_{np}	кг · с ⁻¹
Витрати розчинника	G_{roz}	кг · с ⁻¹
Гравітаційна стала	g	м · с ⁻²

Наведемо функцію (4) у степеневому вигляді:

$$\beta = A d^a \rho^b \mu^c D^d \Delta C^e r^f N^g G_{np}^h G_{roz}^i g^j. \quad (5)$$

Складаємо рівняння розмірностей:

$$\frac{m}{c} = m^a \cdot \left(\frac{kg}{m^3} \right)^b \cdot \left(\frac{kg}{m \cdot c} \right)^c \cdot \left(\frac{m}{c} \right)^d \cdot \left(\frac{kg}{m^3} \right)^e \cdot \left(\frac{m^2}{c^2} \right)^f \cdot \left(\frac{kg \cdot m^2}{c^3} \right)^g \cdot \left(\frac{kg}{c} \right)^h \cdot \left(\frac{kg}{c} \right)^i \cdot \left(\frac{m}{c^2} \right)^j. \quad (6)$$

Об'єднуємо параметри за однаковими показниками ступеня:

$$\frac{\beta d^3 \rho}{\mu} = A \cdot \left(\frac{dD\rho}{\mu} \right)^d \cdot \left(\frac{\Delta C}{\rho} \right)^e \cdot \left(\frac{d^2 r \rho^2}{\mu^2} \right)^f \cdot \left(\frac{Nd\rho^2}{\mu^3} \right)^g \cdot \left(\frac{G_{np}}{d\mu} \right)^h \cdot \left(\frac{G_{poz}}{d\mu} \right)^i \cdot \left(\frac{gd^2 \rho^2}{\mu^2} \right)^j. \quad (7)$$

Комплекси, отримані у рівнянні (7), використовуємо для пошуку комбінацій, які дадуть структуру критеріального рівняння. Комплекс $\frac{\mu}{D\rho}$ – число Шмідта. Групи $\frac{\beta d\rho}{\mu}$ та $\frac{\mu}{D\rho}$ дають число Шервуда:

$$\frac{\beta d\rho}{\mu} \cdot \frac{\mu}{D\rho} = \frac{\beta d}{D} = Sh. \quad (8)$$

$$\left(\frac{\Delta C}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{gd^3 \rho^2}{\mu^2} \right) = \frac{d^3 g \Delta C \rho}{\mu^2} = Gr_d, \quad (9)$$

Оскільки в умовах виникнення бародифузії внесок природної конвекції малий, показник степеня при числі Гразгофа прямує до 0.

Вплив мікрохвильового поля враховується комбінацією:

$$\left(\frac{Nd\rho^2}{\mu^3} \right) \cdot \left(\frac{G_{poz}}{d\mu} \right)^{-1} \cdot \left(\frac{d^2 r \rho^2}{\mu^2} \right)^{-1} = \frac{N}{rG_{poz}} = Bu. \quad (10)$$

Фізичний зміст числа Bu полягає в тому, що встановлюється співвідношення між енергією, яка необхідна для перетворення у пару всього розчину, що знаходиться у екстракторі [5, 7]. Чим ближче число Bu до 1, тим більше утворюється парової фази, тим більший градієнт тисків та інтенсивніші викиди насиченого екстрагенту з капілярів, та більша турбулізація приграничного шару.

Комплекс

$$\left(\frac{G_{np}}{d\mu} \right) \cdot \left(\frac{G_{poz}}{d\mu} \right)^{-1} = \left(\frac{G_{np}}{G_{poz}} \right) = \Gamma \quad (11)$$

є безрозмірною величиною, що враховує співвідношення продукту та розчинника.

Таким чином із застосуванням чисел подібності отримуємо таке рівняння:

$$Sh = A(Sc)^n (Bu)^m (\Gamma)^k \quad (12)$$

Константи A, n, m, k визначаються експериментально.

Обробка масиву експериментальних даних дозволяє рекомендувати для розрахунків процесу масопереносу олії зі шлему кави в умовах дії мікрохвильового поля рівняння (13) для спирту етилового та (14) для гексану.

$$Sh = 0,006(Sc)^{0,33} (\Gamma)^{0,08} (Bu)^{0,64} \quad (13)$$

$$Sh = 0,01(Sc)^{0,33} (\Gamma)^{0,05} (Bu)^{0,32} \quad (14)$$

Похибки за розрахунком за співвідношенням (13) складали 15,2% та за співвідношенням (14) – 19,5 %.

Висновки

1. Структуру критеріального рівняння визначено методом «аналізу розмірностей». Число Шервуда визначається числом Шмідта, гідромодулем та числом енергетичної дії, яке встановлює співвідношення потужності мікрохвильового поля та енергії, яка необхідна для переведення розчину в пару.

2. Визначальний вплив на інтенсивність масопереносу чинить потужність електромагнітного поля. У результаті обробки експериментальних даних визначено коефіцієнти критеріального рівняння. Показник степеня при показнику гідромодуля складає 0,08 для етанолу та 0,05 для гексану, показник степеня при числі енергетичної дії складає 0,64 для етанолу та 0,32 для гексану.

Література

1. Нахмедов Ф.Г. Технология кофепродуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 184 с.
2. Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности (образование и использование). Справочник. М.: Экономика – 1984 г.

3. Процеси переробки шламу в технологіях виробництва розчинної кави//Бурдо О.Г., Терзієв С.Г., Шведов В.В., Ружицька Н.В. – наукові праці ОНАХТ. – Вип. 37. – Одеса, – 2010. – С.252 – 255.
4. Clarke R. J. The Flavour of Coffee // Food Science. – 1986. – 3. – Р. 44-47.
5. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе-вода». – Одесса, 2007. – 176с.
6. Burdo O.G. Food Nanotechnologies. Specificity and Development Directions// Burdo O.G., Bandura V.N., Yarovoy I.I., Ruzhitskaya N.V.
7. Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах: Учебник. – Одесса: Друк, 2008. – 348с.

УДК [641.528:66-974]:640.432

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕСТОРАННОГО ХОЗЯЙСТВА

Ряшко Г.М., канд. техн. наук, доцент

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В статье рассмотрены особенности технологии низкотемпературного приготовления пищевых продуктов. Приведены достоинства и недостатки применения технологии на предприятиях ресторанного хозяйства. Проведен сравнительный анализ оборудования, необходимого для осуществления технологии низкотемпературного приготовления. Рассмотрены принципы внедрения данной технологии на предприятиях ресторанного хозяйства Украины.

The article describes the features of the low-temperature cooking technology of various food products. Advantages and disadvantages of the use technology in enterprises restaurant facilities are given. A comparative analysis of the equipment required for the implementation of the low-temperature cooking technology is carried out. The principles implementation of this technology in enterprises restaurant business of Ukraine is discussed.

Ключевые слова: низкотемпературное приготовление, ресторанный бизнес, ресурсосбережение, энергоэффективные технологии.

Одной из наиболее динамично развивающейся индустрии в нашей стране, несмотря на сложность работы, является индустрия питания и гостеприимства. Главными задачами предприятий ресторанного бизнеса являются предоставление платных услуг населению в форме организованного питания и удовлетворение потребностей потребителей в пище. Для решения этих задач предприятия ресторанного хозяйства должны повышать культуру обслуживания и качество выпускаемой продукции, заниматься рекламой, увеличивать ассортимент предлагаемых услуг и товаров, внедрять новые технологии для приготовления пищи с учетом знаний о рациональном питании и, по возможности, снизить стоимость выпускаемой продукции.

Одной из новых технологий, появившейся в ресторанном бизнесе, является технология низкотемпературного приготовления пищи, или как её ещё называют – sous vide. Этот метод был разработан в середине 1970-х годов шеф-поваром Джорджем Пралюсом (Georges Pralus), работавшим во всемирно известном ресторане Troisgros (Роан, Франция). Изначально он был разработан для решения проблемы приготовления паштета из гусиной печени, которая при обычных условиях приготовления серьезно теряла в весе. Приготовление гусиной печени при низких температурах в вакууме позволило минимизировать потери при тепловой обработке и придало ей более нежный вкус. За последние два десятка лет этот метод стал активно использоваться многими адептами так называемой «молекулярной кухни» в самых лучших ресторанах мира.

Таким образом, технология низкотемпературного приготовления (sous vide) представляет собой технологию приготовления пищи в вакуумной упаковке при точной постоянной температуре. При этом, температура должна быть ниже температуры кипения воды. В этом случае внутренняя температура еды достигает температуры воды и не может её превысить, продолжая в ней находиться. Чаще всего процесс проводят при температурах (55...85) °С, например, для стейка эта температура колеблется в пределах (55...60) °С, а для корнеплодов 85 °С [1]. Данная технология позволяет достичь результатов, практически невозможных при традиционных способах тепловой обработки продуктов.