

УДК 66.061.34:665.334.9:665.335.2(043.3)

ТЕОРІЯ ПОДІБНОСТІ ЯК СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ ПІД ВПЛИВОМ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ

Власенко Володимир Васильович д.б.н., професор
Бандура Валентина Миколаївна к.т.н., доцент
Колянська Людмила Миколаївна к.т.н., ст. викладач
Вінницький національний аграрний університет

Vlasenko V.

Bandura V.

Kolyanovska L.

Vinnitsia National Agrarian University

Анотація: у статті побудована математична модель процесу екстрагування із рослинної сировини. У роботі підтверджено та розширено наукову гіпотезу про інтенсифікування процесу за рахунок бародифузійного потоку, запропоновану керівником наукової школи ОНАХТ д.т.н., професором Бурдо О.Г. Методом "аналізу розмірностей", враховуючи фізичний зміст процесу, отримано залежність чисел подібності для розрахунку процесів екстрагування із насіння сої та ріпаку в мікрохвильовому полі.

Ключові слова: інтенсифікування, теорія подібності, метод аналізу розмірностей, критеріальне рівняння.

Вступ

Аналітичне моделювання, що зазвичай використовується, є дещо спрощеним для опису процесу екстрагування та не враховує факторів визначення гідродинамічної ситуації при екстрагуванні турбулентним плином екстрагенту, ускладненим вихровою дифузиею з каналів пористої структури зерен сої та ріпаку. А також не дає можливості виходу на розрахунок екстракційного апарату. У зв'язку з труднощами, що виникають в результаті аналітичного моделювання, було застосовано експериментальне моделювання, основною науковою базою якого є теорія подібності і метод «аналізу розмірностей».

Задачі дослідження

Розробка математичної моделі процесу екстрагування олії із ріпаку сорту «Чемпіон» та сої сорту «Вінничанка» розчинниками гексаном та спиртом.

Результати досліджень

Друга теорема подібності Федермана – Бекінгема дає можливість обробки експериментальних даних у формі загального критеріального рівняння.

Математичний опис процесу екстрагування було одержано емпіричним методом. Отримати структуру критеріального рівняння для розрахунку сил тертя, які виникають при русі рідини й спричиняють втрати тиску і відповідних коефіцієнтів масоперенесення можливо, використовуючи метод аналізу розмірностей [1]. Залежність між фізичними величинами, отриману під час дослідження процесу, згідно даного методу моделювання, можна виразити критеріальним рівнянням, до якого входять критерії, складені із досліджених величин.

Інтенсивність процесу екстрагування визначають коефіцієнтом масовіддачі β , розмірність якого $\frac{m}{c}$.

На величину коефіцієнта масовіддачі β та на перебіг процесу впливають розміри частинок d , густина масового розчину ρ , в'язкість μ , коефіцієнт дифузії D , витрати продукту і витрати розчинника. В досліджуваних умовах бародифузія пов'язана з впливом мікрохвильового поля визначається різницею

тисків, величина яких пропорційна енергії випромінювання і тієї енергії, яка необхідна для пароутворення, тобто величинам питомої теплоти пароутворення r і потужності поля N . Внесок природної конвекції встановлюється різницею концентрацій ΔC і гравітаційним полем з гравітаційною постійною G .

Отже, вихідна функціональна залежність загального вигляду буде наступною:

$$\beta = f(M_{np}, \Delta C d \rho \mu M_{роз} r N G). \quad (1)$$

Список перерахованих параметрів представлений в табл. 1.

Таблиця 1

Список параметрів

| Параметр | Символ | Розмірність |
|---|------------|---|
| Середній коефіцієнт масовіддачі | β | $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| Витрати продукту | M_{np} | $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| Коефіцієнт дифузії олії | D | $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ |
| Різниця концентрацій | ΔC | $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ |
| Розмір частинки, яку піддають екстрагуванню | d | м |
| Густина масового потоку | ρ | $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ |
| В'язкість потоку | μ | $\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| Витрати розчинника | $M_{роз}$ | $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| Теплота пароутворення | r | $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$ |
| Потужність мікрохвильового поля | N | $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$ |
| Гравітаційна постійна | G | $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ |

Всі параметри містять тільки три основних розмірності (табл. 1): довжину (L), масу (M) і час (T). Користуючись методом аналізу розмірностей, замінимо цю невідому функцію залежністю між критеріями подібності. В даному випадку число змінника = 11, число їх одиниць виміру $b=3$. Тоді, згідно π -теоремі, число безрозмірних комплексів, що описують процес, має дорівнювати $a-b=8$.

Вихідна функціональна залежність коефіцієнта масовіддачі від параметрів (1) згідно аналізу розмірностей представлена у вигляді степеневого ряду:

$$\beta = A M_{np}^{\alpha} D^{\gamma} \Delta C^{\delta} d^{\varepsilon} \rho^{\eta} \mu^{\theta} M_{роз}^{\iota} r^{\kappa} N^{\lambda} G^{\nu} \quad (2)$$

Обравши три основні розмірності, решту розмірностей виразимо через первинні величини:

$$\frac{L}{T} = A \left[\frac{M}{T} \right]^{\alpha} \cdot \left[\frac{L^2}{T} \right]^{\gamma} \cdot \left[\frac{M}{L^3} \right]^{\delta} \cdot [L]^{\varepsilon} \cdot \left[\frac{M}{L^3} \right]^{\eta} \cdot \left[\frac{M}{L \cdot T} \right]^{\theta} \cdot \left[\frac{M}{T} \right]^{\iota} \cdot \left[\frac{L^2}{T^2} \right]^{\kappa} \cdot \left[\frac{M \cdot L^2}{T^3} \right]^{\lambda} \cdot \left[\frac{L}{T^2} \right]^{\nu} \quad (3)$$

Для рівняння (3) матриця розмірностей має вигляд:

Таблиця 2

Матриця розмірностей

| | α | γ | δ | ε | η | θ | ι | κ | λ | ν |
|---|----------|----------|----------|---------------|--------|----------|---------|----------|-----------|-------|
| L | | 2 | -3 | 1 | -3 | -1 | | 2 | 2 | 1 |
| M | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | |
| T | -1 | -1 | | | | -1 | -1 | -2 | -3 | -2 |

Зрівняємо показники усіх одиниць вимірювання лівої і правої частини (3) та на основі матриці отримаємо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{array}{l|l} L & 1 = 2\gamma - 3\delta + \varepsilon - 3\eta - \theta + 2\kappa + 2\lambda + \nu \\ M & 0 = \alpha + \delta + \eta + \theta + \iota + \lambda \\ T & -1 = -\alpha - \gamma - \theta - \iota - 2\kappa - 3\lambda - 2\nu \end{array}$$

В цій системі із трьох рівнянь є 11 невідомих. Виразимо в третьому рівнянні θ через інші множники:

$$\theta = 1 - \alpha - \gamma - \iota - 2\kappa - 3\lambda - 2\nu$$

З другого рівняння виразимо η через інші множники, підставляючи попередній вираз θ :

$$\eta = -\delta - 1 + \gamma + 2\kappa + 2\lambda + 2\nu$$

Із першого виразу знайдемо ε і підставивши значення η і θ отримаємо:

$$\varepsilon = -1 - \alpha + 2\kappa + \lambda + 3\nu - \iota$$

Після цього рівняння (2) набуде вигляду (3):

$$\beta = AM_{np}^{\alpha} D^{\gamma} \Delta C^{\delta} d^{-1-d+2\kappa+\lambda+3\nu-\iota} \rho^{-\delta-1+\gamma+2\kappa+2\lambda+2\nu} \mu^{1-\alpha-\gamma-\iota-2\kappa-3\lambda-2\nu} M_{роз}^{\iota} r^{\kappa} N^{\lambda} G^{\nu}$$

Це рівняння можна подати у наступному вигляді (4):

$$\frac{\beta d \rho}{\mu} = \left(\frac{M_{np}}{d\mu}\right)^{\alpha} \cdot \left(\frac{\mu}{D\rho}\right)^{-\gamma} \cdot \left(\frac{\Delta C}{\rho}\right)^{\delta} \cdot \left(\frac{M_{роз}}{d\mu}\right)^{\iota} \left(\frac{d^2 \rho^2 r}{\mu^2}\right)^{\kappa} \left(\frac{d\rho^2 N}{\mu^3}\right)^{\lambda} \left(\frac{d^3 \rho^2 G}{\mu^2}\right)^{\nu}$$

Комплекси отримані в рівнянні (4) дають комбінації, які утворюють структуру рівняння в узагальнених замінних:

$$\text{Комплекс} \left(\frac{M_{np}}{d\mu}\right)^{\alpha} \cdot \left(\frac{d\mu}{M_{роз}}\right)^{-\varepsilon} = \left(\frac{M_{np}}{M_{роз}}\right) = \zeta \in \text{безрозмірним і враховує співвідношення твердої і}$$

рідкої фаз.

Групи $\frac{\beta d \rho}{\mu}$ і $\frac{\mu}{D\rho}$ дають відношення коефіцієнта конвективного масообміну до коефіцієнта дифузії - число Шервуда:

$$\frac{\beta d \rho}{\mu} \cdot \frac{\mu}{D\rho} = \frac{\beta d}{D} = Sh. \quad (5)$$

Відношення кількості руху потоку до дифузійного потоку - число Шмідта.

$$\frac{\mu}{D\rho} = \frac{\nu}{D} = Sc \quad (6)$$

Відповідно:

$$\frac{\Delta C}{\rho} \cdot \frac{gd^3 \rho^2}{\mu^2} = \frac{gd^3 \Delta C \rho}{\mu^2} = Gr \quad (7)$$

критерій подібності Грасгофа, що визначає процес теплообміну при вільному русі в полі гравітації. Але в даних дослідженнях домінуючим є вплив мікрохвильового поля і в режимі інерційного потоку внесок природної конвекції незначний. Тому впливом числа Gr можна знехтувати.

Комбінація:

$$\left(\frac{\mu^2}{d^2 \rho^2 r}\right)^{-\kappa} \cdot \left(\frac{Nd\rho^2}{\mu^3}\right)^{\lambda} = \frac{N}{\mu dr} = Bu \quad (8)$$

число Бурдо, число енергетичної дії, що встановлює співвідношення між енергією випромінювання і енергією, яка необхідна для перетворення в пару всього розчину, що проходить через екстрактор. Максимальне наближення критерію подібності Bu до 1 дає максимальне утворення пари, яка проходить через екстрактор, збільшення градієнту тиску, що спричинить інтенсивніші викиди насиченого екстрагенту з середини капілярів збільшить турбулентність пограничного шару.

Отже, структура критеріального рівняння через числа подібності буде наступною:

$$Sh = A \cdot Sc^{\circ} \cdot \zeta^{\pi} \cdot Bu^{\sigma} \quad (9)$$

Константи A , \circ , π , σ визначали експериментально.

В результаті визначених констант із графічних залежностей (рис.1, 2) та на основі розрахункових і експериментальних даних отримані критеріальні рівняння можна представити у вигляді:

$$Sh = 1,7 \cdot Sc^{0,33} \cdot \zeta^{0,34} \cdot Bu^{0,7} \text{ «ріпак-спирт»} \quad (10)$$

$$Sh = 0,9 \cdot Sc^{0,33} \cdot \zeta^{0,4} \cdot Bu^{0,2} \text{ «ріпак-гексан»} \quad (11)$$

$$Sh = 1,8 \cdot Sc^{0,33} \cdot \zeta^{0,34} \cdot Bu^{0,7} \text{ «соя-спирт»} \quad (12)$$

$$Sh = 0,7 \cdot Sc^{0,33} \cdot \zeta^{0,4} \cdot Bu^{0,2} \text{ «соя-гексан»} \quad (13)$$

Отримані нами значення корелюються із значеннями, отриманими іншими авторами [2].

Аналізуючи експериментальні та розрахункові дані залежностей (10-13) похибка розрахунку знаходиться в межах 16%.

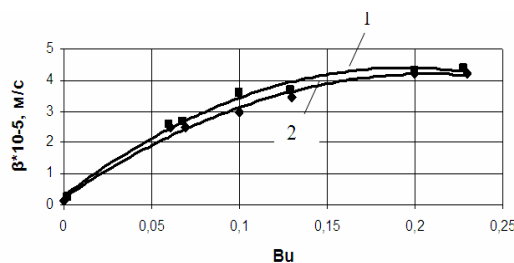


Рис. 1. Залежність коефіцієнта масовіддачі від числа енергетичної дії при екстрагуванні:
1 – сої; 2 – ріпаку етиловим спиртом

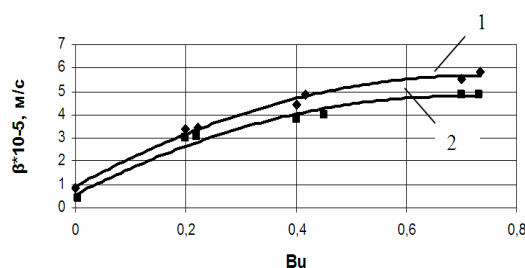


Рис. 2. Залежність коефіцієнта масовіддачі від числа енергетичної дії при екстрагуванні:
1 – сої; 2 – ріпаку гексаном

Висновки

В результаті отриманої під час дослідження процесу залежності між фізичними величинами, згідно методу аналізу розмірностей, виведено критеріальне рівняння, до якого входять критерії, складені із досліджених величин. Обробка експериментальних даних дозволила встановити коефіцієнти рівняння в узагальнених змінних.

Список літератури

1. Бурдо О.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах / О.Г. Бурдо, Л.Г. Калинин. – Одесса, 2008. – 348 с.
2. Буйвол С.М. Узагальнення бази експериментальних даних при екстрагуванні рослинної сировини в електромагнітному полі / С.М. Буйвол, О.Г. Бурдо // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Мелітополь – 2011 – Вип.11 – Том 6. – С. 234 – 238.

References

1. Burdo O.G. Prikladnoye modelirovaniye protsessov v tekhnologicheskikh sistemakh / O.G.Burdo, L.G. Kalinin. – Odessa, 2008. – 348 с.
2. Buiyvol S.M. Uzagalnennyya bazu eksperimantal'nykh danukh pru ekstrahuvanni roslunnoi surovunu v electromahnitnomy poli / S.M. Buiyvol, O.G. Burdo // Pratsi Tavriiskogo derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universitetu – Melitopol' – 2011 – Bun.11 – Том 6. – С. 234 – 238.

ТЕОРИЯ ПОДОБИЯ КАК СПОСОБ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ПОЛЯ

Аннотація: в статті построена математическая модель процесса экстрагирования из растительного сырья. В работе подтверждено и расширено научную гипотезу об интенсификации процесса

за счет бародиффузионного потока, предложенную руководителем научной школы ОНАПТ д.т.н., профессором Бурдо О.Г. Методом "анализа размерностей", учитывая физический смысл процесса, получена зависимость чисел подобия для расчета процессов экстрагирования из семян сои и рапса в микроволновом поле.

Ключевые слова: интенсификация, теория подобия, метод анализа размерностей, критериальные уравнения.

SIMILARITY THEORY AS WAY OF MODELING EXTRACTION PROCESS UNDER MICROWAVE FIELD

Summary: the scientific hypothesis on intensification of extraction process due to the bar diffusion flow was proved, that was introduced by Burdo O.G., the doctor of the engineering sciences, professor, the scientific school head of ONAFT. The dependence of similarity numbers for calculation process of extracting soybean and rapeseed in the microwave field has been obtained using the method of "Dimensional analysis" and taking into the consideration the physical characteristics of the process.

Keywords: intensification, similarity theory, the method of dimensional analysis, criteria equations.