

УДК 615.012.014

## ВПЛИВ ДИСПЕРСНОСТІ НАСІННЯ АМАРАНТУ НА МЕХАНІЗМ ЕКСТРАГУВАННЯ ОЛІЇ

Семеншин Є.М., д.т.н., проф., Стадник Р.В. асп.,  
Троцький В.І. к.т.н., доц., Федорчук-Мороз В.І., к.т.н., доц.  
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

*Наведені результати експериментальних досліджень по кінетиці екстрагування олії з подрібненого і неподрібненого насіння амаранту гібриду. Запропоновано математичну модель, яка враховує змішаний (внутрішньо- і зовнішньодифузійний) механізм процесу екстрагування цільового компонента (олії).*

*The results of experimental research on oil extraction kinetics of ground and normal Amaranth Hybrid seeds have been presented. Mathematical model that considers mixed (internal and external diffusion) mechanism of target component (oil) extraction process has been offered.*

**Ключові слова:** амарант гібрид, розчинення, екстрагування, дисперсність зерна.

Однією з основних стадій технологічного процесу вилучення цільових компонентів екстракційним методом є стадія екстрагування, яка є найбільш повільною, а тому визначає швидкість і економічну ефективність всього процесу.

Як було показано [1], процес екстрагування цільових компонентів з неподрібненого насіння амаранту гібриду протікає дуже повільно і триває десятки діб, оскільки процес лімітує внутрішня дифузія. Це пояснюється складною клітинною будовою зерна і наявністю мало проникних оболонок як в середині зерна, так і на його поверхні.

Тому з метою інтенсифікації процесу виникає необхідність руйнування бар'єрів на шляху транспортування цільового компонента з середини зерна до поверхні фазового контакту.

З другої сторони, процес подрібнення є енерговитратним, тому виникає необхідність виявити вплив дисперсності на механізм екстрагування та оптимальні умови проведення процесу.

Присутність порівняно малих розмірів частинок подрібненого насіння в суміші призводить до зміни внутрішньодифузійної кінетики. Тому, процес екстрагування олії з подрібненого насіння протікає за змішаним механізмом (внутрішньо- та зовнішньодифузійним). Очевидно, що зменшення розміру частинок зерна пов'язане з тим, що частина цільових компонентів екстрагується за рахунок зовнішньої дифузії. Тому в даному випадку процес протікає за змішаним механізмом.

Для опису впливу дисперсності насіння амаранту на кінетику процесу використаємо рівняння (1) – для зовнішньодифузійного розчинення та рівняння (2) – для внутрішньодифузійного екстрагування [2-3]:

$$1 - \varphi_p = \frac{t_p}{T_p} \quad (1)$$

$$1 - 3\varphi_e^2 + 2\varphi_e^3 = \frac{t_e}{T_e} \quad (2)$$

де  $\varphi_p$  і  $\varphi_e$  — безрозмірні радіуси;  $\varphi_e = r/R$  в умовах внутрішньої дифузії;

$R$  — радіус неподрібненого зерна;

$r$  — радіус сфери, що відповідає часу  $t$ , обмеженої наявністю цільового компонента в зерні;

$t_p$  — біжучий час розчинення;

$T_p$  — час повного розчинення цільових компонентів;

$T_e$  — час повного вилучення цільового компонента в умовах екстрагування;

$t_e$  — біжучий час екстрагування.

При вивченні кінетики екстракційного вилучення цільового компонента (олії) приймається, що вся сукупність частинок суміші, включає як частинки амаранту, з яких олія екстрагується за зовнішньодифузійним механізмом, так і частинки, з яких олія екстрагується за внутрішньодифузійним механізмом. Ма-

су олії, що знаходиться в частинках першого роду позначимо –  $M_{01}$ , а масу олії, що знаходиться в частинках другого роду –  $M_{02}$ . Загальну масу позначимо –  $M_0$ . Тоді  $M_0 = M_{01} + M_{02}$ .

Відношення  $M_{01}/M_0$  позначимо  $\alpha$ , з врахуванням якого:

$$M_{01} = M_0 \cdot \alpha ; \quad M_{02} = M_0 \cdot (1 - \alpha) \quad (3)$$

З другої сторони :

$$M_{01} = \frac{\pi d^3}{6} \rho_0 n ; \quad M_{02} = \frac{4\pi R^3}{3} \rho m \quad (4)$$

де  $\rho_0$  — густина олії, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  — кількість частинок амаранту, на поверхні яких знаходиться олія;

$m$  — кількість частинок, в порах яких знаходиться олія, кг;

$\rho$  — кількість олії в одиниці об'єму частинки, кг/м<sup>3</sup>.

При такому припущенні, кількість олії, що знаходиться в суміші на момент часу  $t$ , визначиться з рівняння:

$$M_1 = \frac{\pi d^3}{6} \rho_0 n ; \quad M_2 = \frac{4\pi r^2}{3} \rho m \quad (5)$$

Поділивши рівняння (5) на (3) відповідно одержимо:

$$M_1 = M_{01} \varphi_p^3 = M_0 \alpha \varphi_p^3 \quad (6)$$

$$M_2 = M_{02} \varphi_e^3 = M_0 (1 - \alpha) \varphi_e^3 \quad (7)$$

З другої сторони кількість олії, яка перейшла в розчин на момент часу  $t$  визначиться з рівняння матеріального балансу:

$$M = M_0 - (M_1 + M_2) = M_0 [1 - \varphi_p^3 \alpha - (1 - \alpha) \varphi_e^3] \quad (8)$$

З рівнянь (1) і (2) слідує:

$$\varphi_p = 1 - \frac{t_p}{T_p} \quad (9)$$

$$\varphi_e = \frac{1}{2} \pm \cos \left[ 60^\circ + \frac{1}{3} \arccos \pm \left( 1 - 2 \frac{t_e}{T_e} \right) \right] \quad (10)$$

( знак (+) – при  $\frac{t_e}{T_e} \leq \frac{1}{2}$ , знак (-) – при  $\frac{t_e}{T_e} > \frac{1}{2}$  ).

З врахуванням (9) і (10), рівняння (8) приводиться до виду:

$$C = \frac{M_0}{W} \cdot \left[ 1 - \alpha \left( 1 - \frac{t_p}{T_p} \right)^3 - (1 - \alpha) \left\{ \frac{1}{2} \pm \cos \left[ 60^\circ + \frac{1}{3} \arccos \pm \left( 1 - 2 \frac{t_e}{T_e} \right) \right] \right\}^3 \right] \quad (11)$$

де  $C$  — концентрація розчину в момент часу  $t$ , г/л;

$W$  — об'єм екстрагента, л.

Рівняння (11) описує кінетику процесу сумісного екстрагування (внутрішньо- і зовнішньодифузійно-го) при постійній русійній силі і може бути використане для прогнозування кінетики екстрагування при відомих значеннях  $\alpha$ .

Слід зазначити, що у виробничій практиці, процеси сумісного розчинення і екстрагування можуть протікати в умовах змінної русійної сили, а тому залежність  $1 - \varphi_p = f(t)$  може бути не прямолінійною. В таких випадках необхідно змінити вигляд величини  $\varphi_p$  в рівнянні (8) або  $T_p$  в рівнянні (11), які

залежать від величини руйнівної сили ( $\Delta C = C_n - C_1$ ); де  $C_n$  – концентрація насичення;  $C_1$  – концентрація розчину в момент часу  $t$ .

Для одержання рівняння, яке б описувало кінетику сумісного екстрагування при  $\Delta C = \text{var}$ , використовуємо рівняння кінетики розчинення виду:

$$-\frac{d\varphi_p}{dt} = \frac{2\beta\Delta C}{d_0\rho_T} \quad (12)$$

де  $\beta$  — коефіцієнт масовіддачі.

При розв'язку рівняння (12) при  $\Delta C = \text{var}$  приймемо, що весь процес являє собою сукупність окремих стадій в межах яких  $\Delta C = \text{const}$ . Такий підхід спрощує задачу пов'язану з рішенням рівняння (12). Тоді інтегрування рівняння (12) для першої стадії процесу дає результат представлений рівнянням (1). Для наступних стадій інтегрування, рівняння (12) після деяких перетворень дає:

$$1 - \varphi_p - 1 - \varphi_{pi-1} + (t - t_{i-1}) \frac{1 - \varphi_{pi-1} - A_i}{t_{i-1}} \quad (13)$$

де  $\varphi_{pi}$  — безрозмірний діаметр, який відповідає часу закінчення  $i$ -тої стадії –  $t_i$ ;

$T_p = \rho_T d_0 / 2\beta\Delta C_i$  — час повного розчинення частинки з початковим діаметром  $d_0$  на  $i$ -тій стадії при  $\Delta C = \text{const}$ ;

$A_i$  — деяка постійна для  $i$ -тої стадії:

$$A_i = 1 - \varphi_{pi-1} - \frac{t_{i-1}}{T_{pi}} \quad (14)$$

Рівняння (13) зводиться до більш простого вигляду:

$$1 - \varphi_p - \left( \frac{1 - \varphi_{pi-1} - A_i}{t_{i-1}} \right) \cdot t + A_i \quad (15)$$

Рівняння (15) є рівнянням прямої лінії в координатах  $1 - \varphi_p = f(t)$  з тангенсом кута нахилу

$\text{tg}B = \frac{1 - \varphi_{pi-1} - A_i}{t_{i-1}}$  і відрізком  $A_i$ , який відсікає пряма по осі ординат. З врахуванням (15) і (10) рівняння (8) приймає остаточний вид:

$$C = \frac{M_0}{W} \left[ 1 - \alpha \left[ 1 - A_i - t \cdot \left( \frac{1 - \varphi_{pi-1} - A_i}{t_{i-1}} \right) \right]^3 - (1 - \alpha) \left\{ \frac{1}{2} \pm \cos \left[ 60^\circ + \frac{1}{3} \arccos \pm \left( 1 - 2 \frac{t_e}{T_e} \right) \right] \right\}^3 \right] \quad (16)$$

Таким чином рівняння (11) і (16) можна застосувати для вивчення впливу дисперсності пористих структур на механізм екстрагування при  $\Delta C = \text{const}$  і  $\Delta C = \text{var}$ .

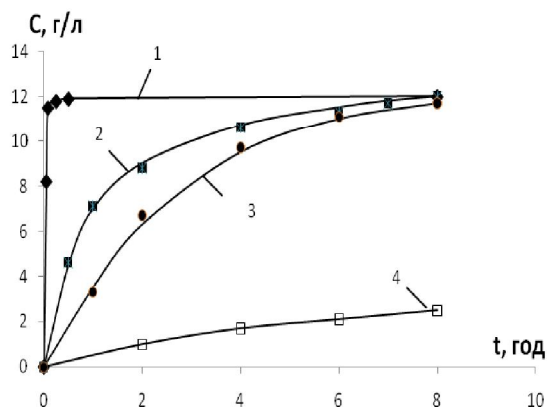
**Експериментальна частина** полягала в наступному: насіння амаранту подрібнювали до такої ступені подрібнення, яка б відповідала процесу розчинення. Згідно рівняння (1) між величинами  $1 - \varphi_p$  і  $t$  повинна існувати лінійна залежність. Такій залежності відповідала фракція подрібненої суміші з середнім розміром частинок  $d_{\text{сеп}} = 0,08$  мм. Для одержання даної фракції насіння амаранту подрібнювали, просіювали на наборі сит в межах  $0 - 0,5$  мм, з подальшим визначенням маси залишку на кожному ситі. Підготовлену, таким чином, суміш в кількості 75 г, розміром  $d_{\text{сеп}} = 0,08$  мм, засипали в апарат з мішалкою, в який попередньо заливали 0,5 л розчинника, нагрітого до температури  $30^\circ\text{C}$ . В якості розчинника використовували хлористий метилен. Процес розчинення здійснювали в умовах перемішування при  $n=200$  об/хв. Через певні відрізки часу відбирали проби розчину для аналізу, які попередньо фільтрували, роз-

чинник відганяли, а залишок сушили до постійної ваги в сушильній шафі. Масу олії визначали ваговим методом за різницею бокса з олією і порожнього бокса.

Результати експериментів представлені на рис. 1 і 2 у вигляді залежностей  $C=f(t)$  і  $\varphi = f(t/T)$ .

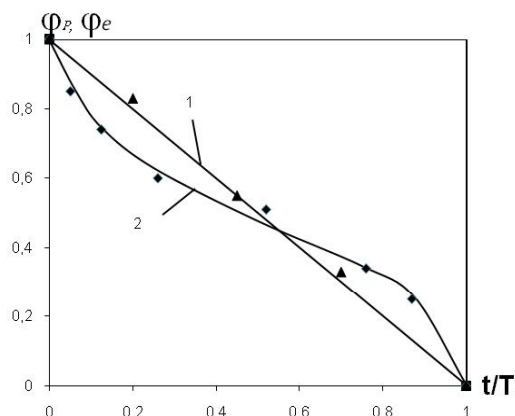
Безрозмірний радіус  $\varphi_p$  визначали з рівняння (1), а  $\varphi_e$  з рівняння матеріального балансу [4]. Час повного розчинення визначали при досягненні концентрації рівної 12 г/л, що відповідало повному вилученню цільового компонента.

Аналогічно визначали значення  $\varphi_e$ , а також значення  $\varphi_p + \varphi_e$  для суміші.



**Рис. 1 – Залежність концентрації олії від часу в процесі:**

- 1 — розчинення олії з подрібненого насіння амаранту,  $d_{сер} = 0,08$  мм;
- 2 — екстрагування олії з подрібненого насіння,  $d_{сер} = 0,3$  мм;
- 3 — екстрагування олії з подрібненого насіння,  $d_{сер} = 0,5$  мм
- 4 — екстрагування олії з неподрібненого насіння амаранту,  $d_{сер} = 0,5$  мм

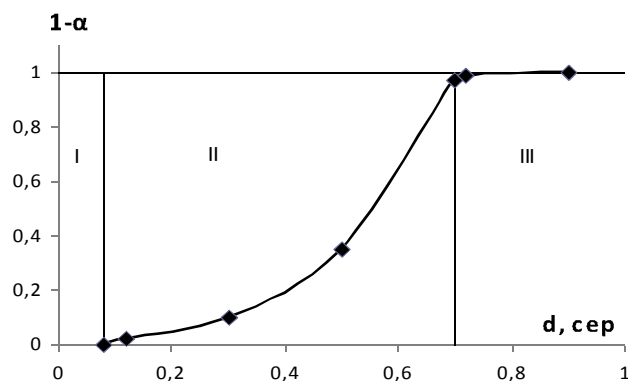


**Рис. 2 – Залежність  $\varphi = f(t/T)$ :**

- 1 — в процесі розчинення олії, що є на поверхні сколу зерна
- 2 — в процесі екстрагування олії з пор та клітин зерна

Як слідує з рис. 2 залежність  $\varphi_p = f(t/T_p)$  є прямолінійною, що підтверджує зовнішньодифузійний механізм процесу (залежність 1). Оскільки кінцева концентрація, порівняно з концентрацією насичення, є невеликою, то процес розчинення можна вважати як такий, який здійснюється в умовах постійної рушійної сили ( $\Delta C = const$ ). Тому для ідентифікації кінетичних залежностей  $C=f(t)$ , одержаних експериментальним шляхом, з теоретичними використовували рівняння (11). Як показано на рис. (1) і (2) експериментальні залежності задовільно узгоджуються з теоретичними. Похибка складала 15 %, що є в межах допустимого.

Таким чином, рівняння (11) і (16) можуть бути використані для прогнозування кінетики сумісного зовнішньо- і внутрішньодифузійного процесу, а також для визначення величини  $\alpha$ , згідно експериментальних даних. Нами було прийнято, що кожній фракції подрібненого насіння відповідає те значення  $\alpha$ , при якому розраховувалась залежність, яка найбільш задовільно відповідає експериментальним даним. Аналогічним способом були визначені значення  $\alpha$  для всіх фракцій подрібненого насіння. На рис. 3 показана залежність  $1-\alpha = f(d_{сер})$ . Як бачимо з рис. 3 для частинок зерна розміром менше 0,08 мм  $\alpha=1$  і процес протікає за зовнішньодифузійним механізмом; для частинок розміром 0,08 – 0,7 мм характерним є змішаний (зовнішньо- та внутрішньодифузійний) механізм; а для частинок, в яких  $d_{сер} > 0,7$  мм процес протікає за внутрішньодифузійним механізмом.

Рис. 3 – Залежність  $1 - \alpha = f(d_{\text{сеп}})$ **Висновки.**

1. Розроблена методика визначення границь, в яких протікають окремі процеси розчинення, екстрагування, а також сумісного розчинення і екстрагування.
2. Експериментально визначено вплив долі цільового компонента в суміші на кінетику сумісного розчинення і екстрагування  $M_{01}$  і  $M_{02}$ .
3. Визначено експериментальним шляхом значення  $\alpha$  для трьох областей. Для частинок  $d_{\text{сеп}} < 0,08$  мм  $\alpha=1$ ; для частинок  $d_{\text{сеп}} = 0,3$  мм значення  $\alpha=0,1$ ; для частинок  $d_{\text{сеп}} = 0,5$  мм значення  $\alpha=0,65$ ; для частинок  $d_{\text{сеп}} > 0,7$  мм значення  $\alpha=0$ .

**Література**

1. Семенишин Є.М., Ятчишин Й.Й., Стадник Р.В. Амарантова олія. Проблема виділення цільових компонентів з насіння амаранту гібриду (*amaranthus hybridus*) екстрагуванням // Хімічна промисловість України. – 2010. – № 2(97) – с.19 – 22.
2. Стадник Р.В., Семенишин Є.М. Визначення коефіцієнта внутрішньої дифузії при екстрагуванні олії з подрібненого насіння амаранту гібриду (*amaranthus hibrydus*) // Наук. Пр. Одес. Нац. акад. харчових технологій. – 2010. – Вип. 37. – Т. 1. – С. 317.
3. Семенишин Е.М., Аксельруд Г.А., Гордиенко Е.Г. О влиянии дисперсионной серной руды на механизм извлечения серы // Ж. приклад. хим. -1978. –Т.1.
4. Семенишин Е.М., Гордиенко Е.Г. Кинетика извлечения твердого вещества из смеси полидисперсных пористых части // Химическая технология, – 1976. – № 6 – с. 25-27

УДК 665.3.061.34:537.8

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ЕКСТРАГУВАННЯ ОЛІЇ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

Буйвол С.М., асп., Светлічний П.І., доц., Малашевич С.А., наук.спів.  
Одеська національна академія харчових технологій

*Одним із важливих напрямків виробництва олії є інтенсифікація процесу екстрагування. В наш час при виробництві олії з рослинної сировини майже не використовують електромагнітний нагрів, який дає хороший результат. За рахунок впливу електромагнітного поля при екстракції можна отримати більший процентний вихід олії з найбільш цінними компонентами, скоротити тривалість технологічного процесу й інтенсифікувати його, а також знизити затрати енергії.*

*One of the important points in the production of oil is intensification of the extraction process. At present oil production from raw material does not use electromagnetic heating which gives a good result. Owing to the influence of the electromagnetic field we can get greater percent of the oil yield with more valuable components, to reduce time of the technological process, energy costs and intensificate this processes.*

**Ключові слова:** розчинник, екстрагування, інтенсифікація, масообмін, дифузія.