

УДК 666.29.022:519.876.5

Федорчук-Мороз В.І.,

Доцент ЛНТУ

## ПЕРЕВІРКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕКСТРАГУВАННЯ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА АДЕКВАТНІСТЬ

В статті «Перевірка математичної моделі екстрагування олії з насіння рослинної сировини» перевірено математичну модель на реальних об'єктах (насіння амаранту хвостатого, амаранту мітлистого та щиріці звичайної). Показано, що розроблена модель задовольняє опис кінетики екстрагування. Відхилення складає 15 %, а тому таку модель можна рекомендувати для опису кінетики екстрагування цільових компонентів для інших об'єктів рослинної сировини. Визначено кінетичні коефіцієнти, які достовірно визначають вклад двох експонент у загальний процес екстрагування.

Ключові слова: математична модель, екстрагування олії, кінетичний коефіцієнт, цільові компоненти, рослинна сировина.

**Постановка проблеми.** Використанню традиційних і нових нетрадиційних рослин як джерел одержання олій для харчової та хімічної промисловості, а також біологічно активних речовин для фармації присвячено низку наукових публікацій. Особливу увагу привертає використання олій із рослинної сировини для виготовлення біодизельного палива.

Однією з основних стадій одержання цільових компонентів із рослинної сировини є стадія екстрагування, яка здійснюється на більшості підприємств переважно за принципом настоювання з подальшим розділенням твердої та рідкої фаз очисткою. Характерною особливістю таких процесів є їхня значна тривалість — багато годин, а то й діб. Другою характерною особливістю цих процесів є низький технологічний рівень їх оформлення при низькому ступені виділення цільових компонентів, в результаті у відходи потрапляє значна кількість біологічно активних речовин.

Процеси екстрагування цільових компонентів із рослинної сировини, з точки зору механізму та кінетики процесу, є досить складними, оскільки включають як внутрішню, так і зовнішню дифузії. Внутрішня дифузія є найповільнішою (лімітуючою) стадією процесу, тому розрахунок процесів екстрагування пов'язаний із труднощами, які виникають під час визначення кінетичних констант.

Вище зазначені проблеми викликають необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень процесів екстрагування цільових компонентів із рослинної сировини з метою інтенсифікації процесу, апаратного вдосконалення, комплексної переробки сировини, підвищення ступеня вилучення цільових компонентів та ін.

Беручи до уваги перспективу розробки технології для вилучення олії з рослинної сировини в промислових масштабах, доцільним є проведення досліджень для визначення оптимальних умов процесів екстрагування для одержання максимальної кількості вилучення цільових компонентів, тому отримання необхідних даних для ефективнішого вилучення цільових компонентів із рослинної сировини є актуальною проблемою.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Для перевірки математичної моделі екстрагування олії з рослинної сировини – насіння родини Амарантових (амаранту хвостатого, амаранту мітлистого, щиріці звичайної), а також для визначення кінетичного коефіцієнта  $K$ , необхідно провести експериментальні дослідження та здійснити математичну обробку одержаних даних.

Беручи до уваги рівняння матеріального балансу для умов повного вилучення цільового компонента, одержимо:

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot (C_n - C_k) = W \cdot C_k, \quad (1)$$

де  $C_k$  – кінцева концентрація розчину, кг/м<sup>3</sup>.

З урахуванням рівняння (1) рівняння для визначення кінетичного коефіцієнта  $K$  матиме вигляд:

$$-\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = \frac{3 \cdot K \cdot t}{R} \cdot \frac{C_n}{C_n - C_k}. \quad (2)$$

Рівняння (2) у напівлогарифмічних координатах  $-\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = f(\tau)$  є прямою лінією, тангенс кута нахилу якої дає можливість визначити сталу  $K$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3 \cdot K}{R} \cdot \left( \frac{C_n}{C_n - C_k} \right) \quad (3)$$

Рівняння (3) після експоненціювання набуває вигляду:

$$C_1 = C_k \cdot \left[ 1 - e^{-\frac{3 \cdot K \cdot t}{R} \cdot \left( \frac{C_n}{C_n - C_k} \right)} \right] \quad (4)$$

Як буде показано в подальшому, експериментальні значення біжучих концентрацій підтверджують таку залежність.

Перевірка математичної моделі здійснювалася на основі експериментального дослідження кінетики екстрагування олії з амаранту хвостатого, мітлистого та щирини звичайної. Результати експериментів з екстрагування олії наведено в [1, 2, 3].

Для перевірки математичної моделі (4) на рис. 1 та 2 показано результати експериментальних досліджень у вигляді залежності  $-\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = f(\tau)$  для амаранту мітлистого і амаранту хвостатого для частинок  $d_c = 0,25$  мм і  $d_c = 0,5$  мм за різних температур.

Попередньо авторами [1, 2, 3] було показано, що експериментальні кінетичні залежності для неподрібненого та подрібненого насіння амарантів хвостатого та мітлистого за різних температур адекватно узгоджуються з теоретичними, розрахованих на основі рівняння (4). Аналіз цих кривих показує, що експериментальні дані задовільно узгоджуються з теоретичними (рівняння (3)). Експериментальними даними також підтверджено, що екстрагування олії з амаранту хвостатого порівняно з амарантом мітлистим здійснюється з більшою швидкістю, при значно вищій кінцевій концентрації  $C_k$ , що свідчить про значно вищий вміст олії в цьому насінні. Поряд з цим, на ступінь вилучення олії суттєво впливають такі фактори, як ступінь подрібнення насіння, температура та тривалість процесу. Характерною властивістю амаранту хвостатого порівняно з амарантом мітлистим є значно вищий ступінь екстрагування на початку процесу, що вказує на наявність значної кількості олії на поверхні подрібнених частинок насіння. Так, для амаранту хвостатого за температури  $40^\circ\text{C}$  протягом 2 годин для фракції 0,25 мм вилучено олію, яка кількісно відповідає майже 100 % виходу олії.

Відомо, що вихід олії з амаранту хвостатого становить  $8 \div 9$  % від маси сухого насіння, для амаранту мітлистого –  $7 \div 8$  %, а для щирини звичайної –  $6 \div 7$  % [1, 2]. Кінетичний коефіцієнт  $K$  визначали за допомогою ЕОМ шляхом розрахунку так, щоб сума квадратів відхилень експериментальних і розрахункових значень відповідних концентрацій була мінімальною:

$$\sum [C(t_i) - C_p(t_i)] = \min.$$

Розрахункові значення концентрацій  $C_p$ , значення кінетичного коефіцієнта  $K$  та середньоквадратичні відхилення розрахункових і експериментальних концентрацій  $S_c$  для щирини звичайної подано у табл. 1.

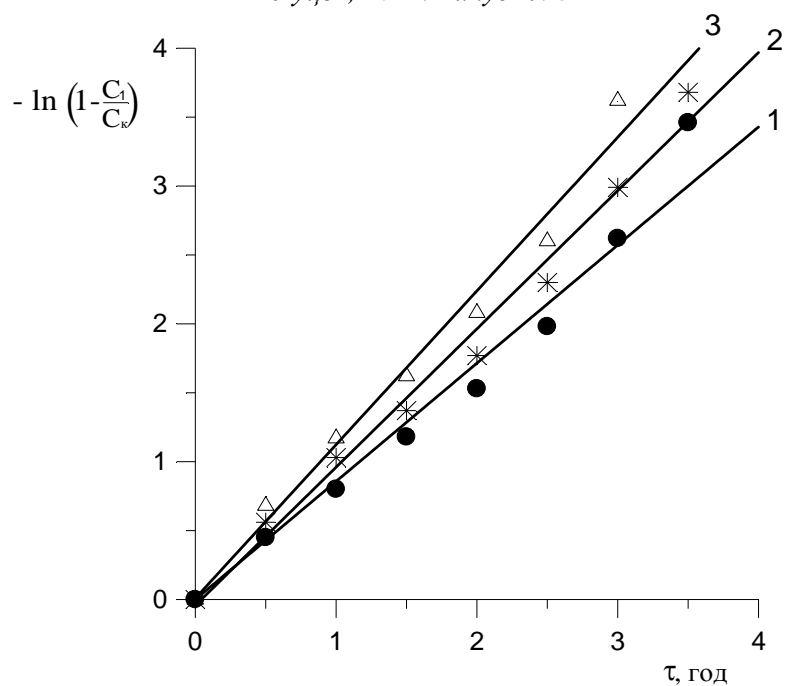


Рис. 1. Залежність  $-\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = f(\tau)$  для амаранту хвостатого з  $d_c = 0,25$  мм: 1 – 20 °С; 2 – 30 °С; 3 – 40 °С.

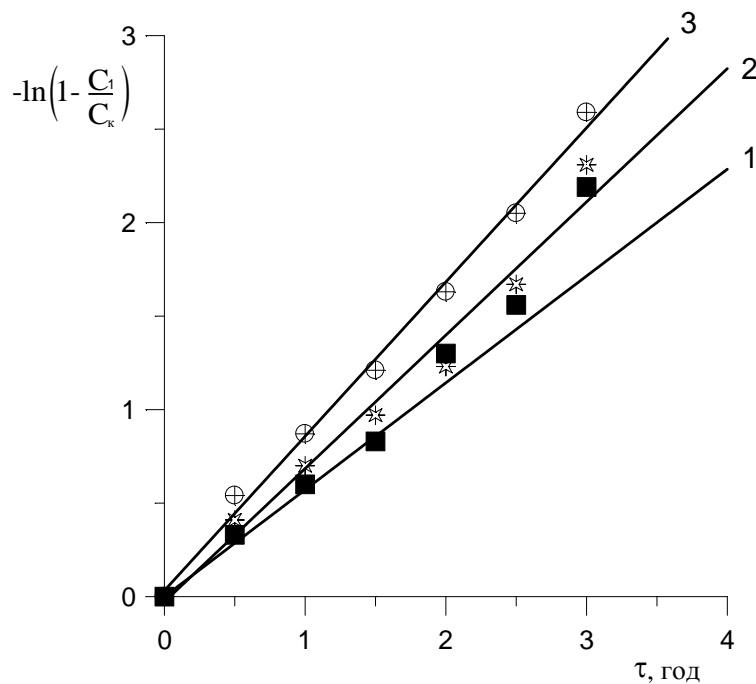


Рис. 2. Залежність  $-\ln\left(1 - \frac{C_1}{C_k}\right) = f(\tau)$  для амаранту хвостатого з  $d_c = 0,5$  мм: 1 – 20 °С; 2 – 30 °С; 3 – 40 °С.

Таблиця 1

**Розрахункові значення концентрації олії  $C_p$ , кінетичного коефіцієнта  $K$  і середньоквадратичного відхилення  $S_c$  для насіння щиріці загнutoї**

Час, год	T=20 °C		T=30 °C		T=40 °C	
	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,25$ мм	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,25$ мм	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,5$ мм
0,5	0,08	0,1	0,08	0,1	0,09	0,1
1	0,014	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16
1,5	0,18	0,21	0,19	0,21	0,21	0,21
2	0,22	0,24	0,22	0,24	0,24	0,24
2,5	0,24	0,26	0,25	0,26	0,26	0,26
3	0,26	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28
3,5	0,27	0,29	0,28	0,29	0,29	0,29
4	0,28	0,3	0,29	0,3	0,3	0,3
$K$ (м/год)	0,8E-4	0,1E-3	0,87E-4	0,1E-3	0,98E-4	0,1E-3
$S_c$	0,206E-1	0,165E-1	0,160E-1	0,19E-1	0,13E-1	0,288E-1

Аналогічні результати одержані під час екстрагування олії з амаранту мітлистого і амаранту хвостатого (див. табл. 2 і 3).

Таблиця 2

**Розрахункові значення концентрації олії  $C_p$ , кінетичного коефіцієнта  $K$  і середньоквадратичного відхилення  $S_c$  для насіння амаранту мітлистого**

Час, год	T=20°C		T=30°C		T=40°C	
	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,25$ мм	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,25$ мм	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,5$ мм
0,5	2,89	3,65	3,44	4,39	4,18	5,49
1	4,99	6,08	5,84	7,12	6,91	8,57
1,5	6,51	7,7	7,5	8,81	8,68	10,3
2	7,61	8,78	8,66	9,87	9,84	11,26
2,5	8,41	9,5	9,47	10,52	10,59	11,81
3	8,99	9,98	10,03	10,93	11,08	12,11
3,5	9,41	10,3	10,42	11,18	11,4	12,28
4	9,71	10,51	10,69	11,34	11,61	12,38
$K$ (м/год)	0,74E-4	0,47E-4	0,83E-4	0,55E-4	0,99E-4	0,66E-4
$S_c$	0,478	0,25	0,387	0,277	0,372	0,329

Таблиця 3

**Розрахункові значення концентрації олії  $C_p$ , кінетичного коефіцієнта  $K$  і середньоквадратичного відхилення  $S_c$  для насіння амаранту хвостатого**

Час, год	T=20°C		T=30°C		T=40°C	
	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,25$ мм	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,25$ мм	$d_c=0,5$ мм	$d_c=0,5$ мм
0,5	4,9	6,76	5,26	8,22	7,12	11,33
1	8,08	10,46	8,66	13,01	11,74	16,36
1,5	10,13	12,49	10,86	15,8	14,72	18,6
2	11,46	13,59	12,28	17,43	16,65	19,59

2,5	12,32	14,2	13,21	18,37	17,9	20,03
3	12,88	14,53	13,8	18,93	18,71	20,22
3,5	13,24	14,71	14,19	19,25	19,24	20,31
4	13,47	14,81	14,44	19,44	19,58	20,35
$K, (м/год)$	0,1E-3	0,69E-4	0,1E-3	0,62E-4	0,1E-3	0,93E-4
$Sc$	1,98	0,345	2,39	0,787	1,48	0,417

**Висновки.** Як видно з рис. 1 та 2, а також таблиць, отриманих за допомогою даної математичної моделі, криві кінетики екстрагування задовільно узгоджуються з експериментальними даними. Середнє відхилення відносної похибки одержаних результатів не перевищує 15 %, що допускається для розрахунків у реальних умовах.

Отже, запропонована модель може знайти застосування для попереднього прогнозування кінетики екстрагування олії та інших компонентів, що містяться в пористих структурах насіння амаранту та іншого насіння.

1. Семенишин Є. М., Троцький В. І., Федорчук–Мороз В. І. Математична модель кінетики екстрагування олії з насіння амаранту // Вісн. нац. ун-ту “Львів. політехніка”. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2005. – № 529. – С. 199–203.
2. Семенишин Є. М., Троцький В. І., Федорчук–Мороз В. І. Апробація математичних моделей для екстрагування олії з насіння амаранту // Вісн. нац. ун-ту “Львів. політехніка”. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2006. – № 553. – С. 214–217.
3. Федорчук-Мороз В.І., Семенишин Є.М., Стадник Р.М. Кінетика екстракції з насіння амаранту хвостатого та амаранту гібриду //Вісник НУ „Львівська політехніка” Хімія, технологія речовин та їх застосування, № 644. – Львів. – 2009. – С. 162-167.