

При вивченні кінетики екстрагування флавоноїдів зі шроту шишок хмелю визначено коефіцієнт масопереносу, який зменшується із збільшенням розміру екстрагованої частинки. Розрахований порядок коефіцієнта дифузії через клітинну оболонку  $D_c = 10-14 \text{ м}^2/\text{с}$  та в міжклітинному середовищі  $D_m = 10-11 \text{ м}^2/\text{с}$ . Для прогнозування процесу екстрагування виведено аналітичну залежність коефіцієнту масопереносу та числа вимивання від розміру частинки твердої фази

**Ключові слова:** шишки хмелю, шрот, кінетика екстракції, коефіцієнт дифузії, масопереносу, число вимивання

При изучении кинетики экстрагирования флавоноидов из шрота шишек хмеля определен коэффициент массопередачи, который уменьшается с увеличением размера экстрагированной частицы. Рассчитан порядок коэффициента диффузии через клеточную оболочку  $D_c = 10-14 \text{ м}^2/\text{с}$  и в межклеточной среде  $D_m = 10-11 \text{ м}^2/\text{с}$ . Для прогнозирования процесса экстрагирования выведена аналитическая зависимость коэффициента массопередачи и числа вымывания от размера частички твердой фазы

**Ключевые слова:** шишки хмеля, шрот, кинетика экстракции, коэффициент диффузии, массопереноса, число вымывания

УДК 542.61:502.75:615.322:66.061.34  
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50965

# ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЕКСТРАГУВАННЯ ФЛАВОНОЇДІВ ЗІ ШРОТУ ШИШОК ХМЕЛЮ

**І. В. Павлюк**  
Аспірант\*

E-mail: ipavluk@gmail.com

**Н. Є. Стадницька**

Кандидат хімічних наук, доцент\*

E-mail: nataliyastadnytska@gmail.com

**В. П. Новіков**

Доктор хімічних наук,

професор, завідувач кафедри\*

E-mail: vnovikov@polynet.lviv.ua

\*Кафедра технології біологічно

активних сполук, фармації та біотехнології

Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

## 1. Вступ

Рослини завжди були одним з основних джерел біологічно активних сполук. Це призвело до зростаючої потреби у пошуках перспективних рослинних джерел з достатньою ресурсною базою для одержання біологічно активних речовин [1]. Раціональне використання сировинних ресурсів є одним з першочергових сучасних завдань передових технологій, спрямованих на вирішення економічних та екологічних питань в багатьох країнах світу. В Україні щорічно після виробництва фітопрепаратів, зокрема екстрактів та настоянок з лікарської рослинної сировини, шрот, який отримують в результаті первинної переробки, стає відходами, незважаючи на те, що містить значну кількість біологічно-активних речовин (БАР). З метою раціональнішого використання природних ресурсів, підвищення рентабельності виробництва та зменшення його негативного впливу на навколишнє середовище, шрот може бути повторно використаний як джерело БАР [2].

Основною стадією одержання препаратів природних сполук є екстрагування з сировини, яке визначається загальними законами масопереносу, властивостями рослинної тканини та фізико-хімічними властивостями розчинника та речовини, що вилучається. При екстракції з рослинної сировини має місце процес масопереносу в системі тверде тіло – рідина [3].

Для фармацевтичних підприємств, які займаються екстракцією рослинної сировини, актуальним

є питання раціонального її використання, чи максимального вилучення біологічно-активних речовин з неї, оптимізації та інтенсифікації технологій для підвищення якості препаратів та підвищення ефективності технологічного процесу [2]. Важливим завданням є визначення оптимальних умов процесу екстрагування для одержання максимальної кількості цільових компонентів. Одним з методів для визначення цих параметрів є експериментальне дослідження кінетики екстрагування. В роботах [2, 4, 5] представлені результати досліджень по вторинному використанню відходів на прикладі насіння моркви дикої та трави материнки, які підтверджують доцільність подальших досліджень в даному напрямку.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В останні роки спостерігається зростання попиту на застосування біологічно активних речовин природного походження в складі лікарських та косметичних засобів [2]. Одним з джерел, що представляють особливий інтерес, є відходи рослинної сировини, які багаті біологічно активними речовинами, у тому числі фенольними сполуками. Наявність фенольних сполук у сільськогосподарських і промислових відходах, їх екстракція та вивчення біологічної активності була предметом багатьох досліджень [6–8].

Отже, розробка технології екстракції вимагає індивідуального підходу до вивчення технологічних властивостей сировини. Дослідження коефіцієнтів масопереносу та факторів, що впливають на них, мають принципове значення для створення оптимального процесу виділення БАР [9].

Необхідно зауважити, що вибір екстрагенту суттєво впливає на якість та кількість проекстрагованих біологічно-активних речовин, які відносяться до певного класу хімічних сполук. Враховуючи, що в рослинній сировині більшість біологічно-активних речовин (за винятком речовин плодів та насіння) відносять до гідрофільних, то очевидно, що більш полярні розчинники будуть кращими екстрагентами. До того ж, значний вплив на розчинність та швидкість дифузійних процесів має в'язкість та поверхневий натяг. Тому в якості екстрагенту, який би відповідав вище приведеним вимогам, найдоцільніше застосовувати для екстракції гідрофільних сполук водно-спиртові розчини [10].

Однією з найважливіших технологічних властивостей, що впливає на швидкість дифузії та повноту витягнення екстрактивних речовин є ступінь подрібнення. Ступінь подрібнення сировини характеризує розмір частинок та поверхню екстрагування, необхідну при встановленні констант масопереносу. За допомогою коефіцієнта вимивання розраховують кількість речовини, яка вилучається зі зруйнованих клітин, на основі якої визначають інтенсивність першої стадії екстрагування. Коефіцієнт дифузії речовин всередині сировини характеризує швидкість процесу екстрагування з сировини [3].

У зв'язку з вище перерахованим очевидним є необхідність проведення експериментальних досліджень вторинної рослинної сировини. Об'єктом досліджень було обрано шрот шишок хмелю після екстракції 96 % етанолом [3, 4].

Екстракція з рослинної сировини – це складний фізико-хімічний процес, тому дослідження кінетики екстрагування заслуговує уваги для кожного виду сировини окремо. Вилучення цільових компонентів з різних морфологічних органів рослин має свої особливості [10, 14]. Важливість вивчення кінетики процесу екстрагування рослинної сировини для встановлення оптимальних параметрів процесу екстракції описана в роботах [11–13, 15].

Масообмінні процеси при вилученні цільових компонентів з шишок хмелю описані в роботах [10, 16]. Однак відомості щодо експериментального підтвердження кінетики масопереносу та дифузії флавоноїдів при екстракції зі шроту шишок хмелю не згадуються.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є вивчення кінетичних закономірностей процесу екстрагування зі шроту шишок хмелю різного ступеня подрібнення в апараті періодичної дії (апарат з мішалкою).

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– обґрунтувати вибір концентрації етанолу, як екстрагенту, оптимального для вилучення флавоноїдів зі шроту шишок хмелю;

– визначити кінетичні константи, а саме коефіцієнти масопереносу, вимивання та дифузії через клітинну мембрану та в міжклітинному середовищі при екстрагуванні шроту рослинної сировини в апараті з мішалкою.

## 4. Матеріали та методи досліджень

### 4.1. Теоретична частина процесу екстрагування з рослинної сировини

При вивченні процесу екстрагування із твердих тіл клітинної будови за основу приймають математичну модель, приведена в роботі [11]. При її побудові враховується, що основною структурною одиницею твердого тіла рослинного походження є клітина, внутрішній об'єм якої обмежений клітинною оболонкою. Процес екстрагування є двостадійним. Перша стадія визначається переходом цільової речовини (внутрішньоклітинної речовини) із клітини в міжклітинний простір з подоланням опорів всіх бар'єрів, які оточують клітину. Друга стадія – дифузія в міжклітинному просторі до зовнішньої границі твердого тіла. Така концепція покладена в основу побудови математичних моделей.

Основні припущення, які зроблено при моделюванні, зводяться до наступного: цільова речовина міститься виключно у внутрішньому об'ємі клітини; опір клітинної оболонки настільки значний, що можемо вважати концентрацію цільової речовини –  $C_{co}$  в об'ємі клітин –  $V_c$  постійною, незалежною від координати всередині клітини, а залежною лише від часу –  $t$ ; концентрація цільової речовини в основній масі екстрагенту –  $C_1$  вважається досить малою, порівняно з концентрацією її в межах об'єму клітини; частинка твердої фази, яка складається із великої кількості клітин має форму кулі.

За таких умов математична модель має вигляд [11, 12]:

$$\begin{cases} \frac{dC_e}{dt} = -k_c(C_c - C); \\ \frac{dC}{dt} = k_c(C_c - C) - k_m(C - C_1); \\ V_e C_{co} = V_e C_c + V(1 - \epsilon)C + WC_1; \\ t = 0; C = 0, C_c = C_{co}, C_1 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Перше рівняння системи описує зміну концентрації цільової речовини в об'ємі клітини з бігом часу. Зміна концентрації цільової речовини в міжклітинному середовищі від часу описується другим кінетичним рівнянням системи. Система рівнянь (1) разом з третім рівнянням матеріального балансу та заданням початкових та граничних умов і є математичним формулюванням моделі.

Рішення моделі описує:

– зміну концентрації цільової речовини –  $C_c$  в об'ємі клітини з бігом часу, за умови:  $t=0$ ,  $C=0$ ,  $C_c=C_{co}$ ; та має вигляд:

$$C_c = C_{co} e^{-k_c t}, \quad (2)$$

де

$$k_c = \frac{D_c F_c}{\delta_c V_c} = \frac{D_c}{\delta_c R_{\text{екв}}}, \quad (3)$$

де  $\delta_c$  – товщина клітинної оболонки;  $R_{екв}$  – еквівалентний радіус клітини;

– зміну концентрації внутрішньоклітинної речовини –  $C$  в міжклітинному середовищі з бігом часу, за умови;  $t = 0, C = 0$ :

$$C = C_{co} \frac{k_c}{(k_m - k_c)} [e^{-k_c t} - e^{-k_m t}], \quad (4)$$

де

$$k_m = \frac{D_m F_m}{d V_m} = \frac{D_m}{d R_m}, \quad (5)$$

де  $d$  – розмір екстрагованої частинки;  $R_m$  – приведений радіус екстрагованої частинки;

– зміну концентрації цільової речовини –  $C_1$  в основному об'ємі екстрагенту за умов інтенсивного перемішування (до прикладу екстрагування в апараті з мішалкою), якщо в стані рівноваги,  $C_{co} = C_c = C = C_{ip}$ :

$$C_1 = C_{ip} \left( 1 - \frac{1}{r+1} \exp(-(k_m - k_c)t) \right), \quad (6)$$

або

$$\left( 1 - \frac{C_1}{C_{ip}} \right) = A \exp(-kt), \quad (7)$$

де

$$k = k_m - k_c = \frac{D_m \delta_c - D_c d}{\delta_c d}; \quad A = \frac{1}{1+r}. \quad (8)$$

Приведеними рішеннями в подальшому користувались при визначенні кінетичних констант на основі отриманих експериментальних даних [12, 13].

#### 4. 2. Експериментальна частина процесу екстрагування з шроту шишок хмелю

На першому етапі роботи були проведені експериментальні дослідження з метою вибору концентрації екстрагенту. Для цього була вивчена залежність ступеня екстрагування флавоноїдів, поліфенольних сполук та загальної кількості екстрактивних речовин з неподрібненого шроту шишок хмелю водою та різними концентраціями етанолу 20, 30, 40, 50, 70 та 96 % при настоюванні протягом 24 годин. Для визначення кількісного вмісту флавоноїдів та поліфенольних сполук використовували спектрофотометричний метод. Оптичну густину вимірювали в кюветі з товщиною шару 10 мм на спектрофотометрі Cary Varian при певній довжині хвилі. Вміст суми поліфенольних сполук визначали за методикою з реактивом Фоліна-Чокальтеу в перерахунку на галову кислоту при довжині хвилі 270 нм. Суму флавоноїдів визначали з використанням реакції комплексоутворення з алюмінію хлоридом при довжині хвилі 409 нм [5]. Визначення вмісту екстрактивних речовин – сухого залишку, проводили гравіметричним методом, для цього відбирали 2 г екстракту, поміщали у бюкс випарювали насухо на водяній бані та висушували у сушильній шафі при температурі

105 °С протягом 3 годин. Охолоджували в ексикаторі і зважували [17].

Кінетику екстрагування шроту шишок хмелю, подрібненого до певних розмірів вивчали в апараті з мішалкою при температурі 20 °С. Сировину подрібнювали на лабораторному млинку, розмір твердої фази встановлювали за допомогою ситового аналізу. В якості екстрагентів використовували встановлені концентрації водно-етанольної суміші. Співвідношення фаз (тверде тіло : рідина) становило 1:50. Через певні проміжки часу відбирали проби для визначення суми флавоноїдів.

#### 5. Результати експериментальних досліджень екстрагування зі шроту шишок хмелю та їх обговорення

На основі експериментальних даних встановлена залежність вилучення флавоноїдів, поліфенольних сполук та загальної кількості екстрактивних речовин від концентрації екстрагенту – водно-етанольної суміші (рис. 1).

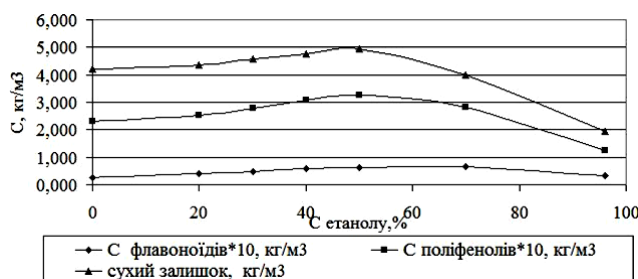


Рис. 1. Кількість вилучених поліфенольних сполук, флавоноїдів та екстрактивних речовин в залежності від концентрації водно-етанольної суміші

Як видно з даних експериментальних досліджень, максимальна кількість поліфенольних сполук та сухий залишок вилучається 50 % водно-етанольною сумішшю, тоді як найвища кількість флавоноїдів вилучається при екстрагуванні 70 % водно-етанольною сумішшю. Таким чином, саме ці концентрації екстрагенту були обрані для подальших досліджень кінетики екстрагування.

В приведених рішеннях математичних моделей (4), (6), (7) чітко простежується вплив розміру екстрагованої сировини на кінетику процесу. Тому при вивченні кінетики екстрагування, шрот шишок хмелю попередньо подрібнювали до розміру частинок, який становив  $1 \cdot 10^{-3}$  м,  $2,5 \cdot 10^{-3}$  м,  $5 \cdot 10^{-3}$  м,  $7 \cdot 10^{-3}$  м,  $9,5 \cdot 10^{-3}$  м. Сировину завантажували в екстрактор, додавали встановлену кількість екстрагенту та перемішували. У відібраних пробах визначали вміст флавоноїдів. Одержані результати експериментальних досліджень кінетики екстрагування шроту шишок хмелю 50 % та 70 % водно-етанольною сумішшю представлені на рис. 2, та на рис. 3. Отже, розмір частинок суттєво впливає на швидкість екстрагування та в кінцевому результаті на час досягнення рівноваги.

Отримані кінетичні криві добре описуються рівнянням (7), рішенням запропонованої математичної моделі. В логарифмічних координатах дане рівняння

описує пряму лінію, тангенс кута нахилу якої дозволяє визначити сумарне значення коефіцієнту масопереносу – k.

$$\ln\left(1 - \frac{C_t}{C_{1p}}\right) = \ln A - kt. \quad (8)$$

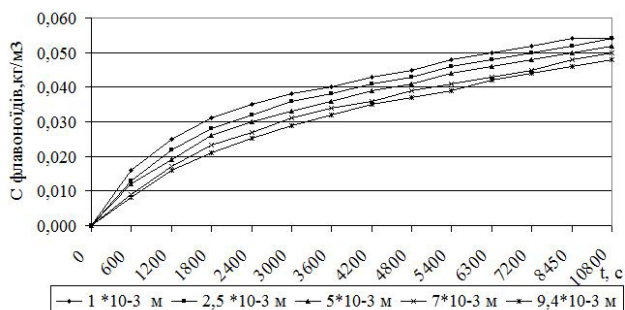


Рис. 2. Кінетика екстрагування флавоноїдів 50 % водно-етанольною сумішшю зі шроту шишок хмелю, подрібненого до різних розмірів

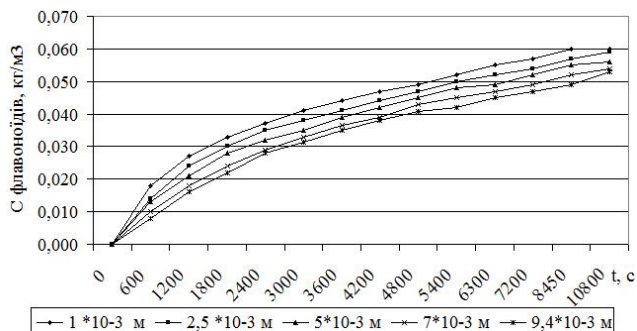


Рис. 3. Кінетика екстрагування флавоноїдів 70 % водно-етанольною сумішшю зі шроту шишок хмелю, подрібненого до різних розмірів

Експериментальні дані кінетики екстрагування в координатах

$$\ln\left(1 - \frac{C_t}{C_{1p}}\right) = f(t),$$

зображені на рис. 4 та 5. Логарифмічна залежність представлена типовими лініями внутрішньодифузійного процесу екстрагування, де на короткому проміжку часу, до 500 секунд, спостерігається нерегулярний режим екстрагування – швидке вимивання БАР зі зруйнованих клітин, тоді триває типовий регулярний режим – повільна дифузія із цілісних клітин.

Аналогічно побудована логарифмічна залежність для 70 % водно-етанольної суміші (рис. 5).

Отримані значення коефіцієнту масопереносу – k та числа – A в залежності від розміру екстрагованої частинки представлено на рис. 6 та 7, табл. 1. Як слідує з рис. 6, 7, коефіцієнт масопереносу зменшується із збільшенням розміру екстрагованої частинки. Це засвідчує про те, що основною поверхнею масопереносу є площа подрібнення, яка збільшується із зменшенням розміру частинки. Це було враховано при визначенні площі масопереносу, для обчислення коефіцієнту дифузії в міжклітинному середовищі за формулою (11).

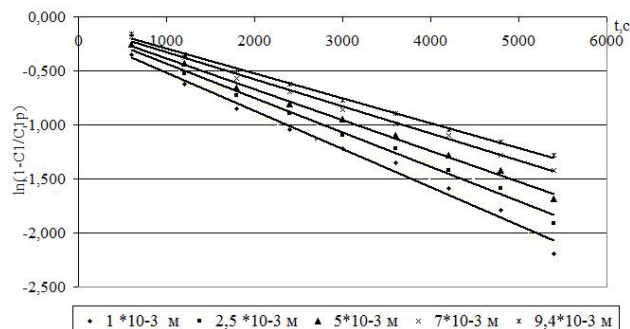


Рис. 4. Логарифмічна залежність кінетики екстрагування флавоноїдів 50 % водно-етанольною сумішшю зі шроту шишок хмелю, подрібненого до різних розмірів

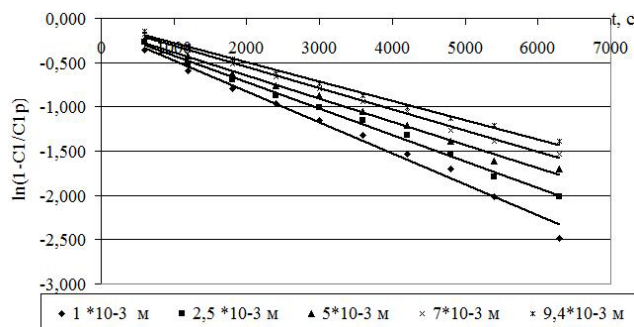


Рис. 5. Логарифмічна залежність кінетики екстрагування флавоноїдів 70 % водно-етанольною сумішшю зі шроту шишок хмелю, подрібненого до різних розмірів

Таблиця 1

Кінетичні константи екстрагування флавоноїдів зі шроту шишок хмелю

C етанолу, %	d·10 <sup>-3</sup> , м	k·10 <sup>-4</sup> , 1/с	A
50	1,0	3,5	-0,16799
50	2,5	3,2	-0,12040
50	5,0	2,8	-0,10016
50	7,0	2,5	-0,07762
50	9,4	2,3	-0,06382
70	1,0	3,5	-0,12522
70	2,5	3,0	-0,12061
70	5,0	2,6	-0,11965
70	7,0	2,4	-0,07026
70	9,4	2,2	-0,06549

Отже, значення масопереносу – k та числа – A в залежності від розміру екстрагованої частинки описують прямолінійні залежності, що дало змогу записати їх у вигляді аналітичних рівнянь (9) та (10).

$$k = 3,58 \cdot 10^{-4} - 0,1446 \cdot 10^{-4} \cdot d, \quad (9)$$

$$k = 3,48 \cdot 10^{-4} - 0,1479 \cdot 10^{-4} \cdot d. \quad (10)$$

Підставивши середньостатистичне значення розміру рослинної клітини в рівняння (9) та (10), отримали значення коефіцієнту масопереносу через клітинну мембрану та розраховали за формулою (3) значення коефіцієнту дифузії через клітинну оболонку D<sub>c</sub>. Він має порядок – 10<sup>-14</sup> м<sup>2</sup>/с.

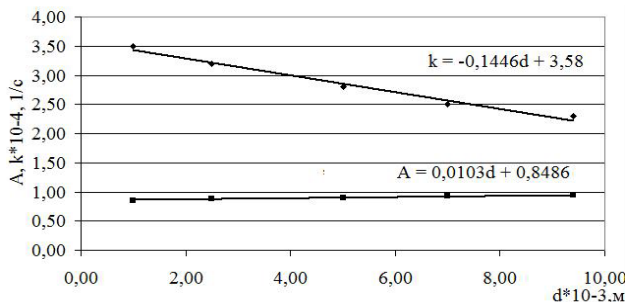


Рис. 6. Залежність коефіцієнта масопереносу – k, та коефіцієнта вимивання – A від розміру d в процесі екстрагування флавоноїдів 50 % водно-етанольною сумішшю зі шроту шишок хмелю

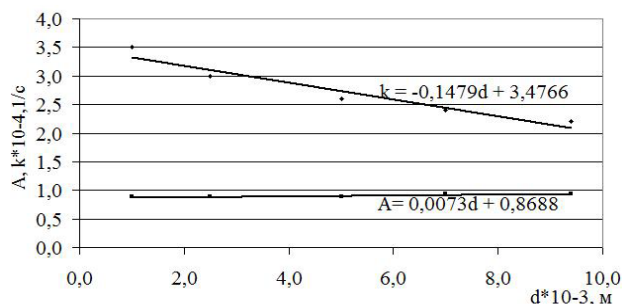


Рис. 7. Залежність коефіцієнта масопереносу – k, та коефіцієнта вимивання – A від розміру d в процесі екстрагування флавоноїдів 70 % водно-етанольною сумішшю зі шроту шишок хмелю

Оскільки ситовий аналіз проводився на ситі з круглими отворами, тому приймали допущення, що тверда частинка має форму круглої пластини або диска. Тоді коефіцієнт дифузії в міжклітинному середовищі  $D_m$  визначатиметься за формулою (9) враховуючи рівняння (5) [10]:

$$D_m = \frac{k_m d^2 h}{4d + 8h}, \tag{11}$$

де h – товщина частинки шроту шишок хмелю визначена експериментально.

Підставивши числові значення у (11), розрахували порядок коефіцієнту дифузії в міжклітинному середовищі  $D_m$ , для всіх розмірів подрібненого шроту шишок хмелю. Він дійсно є близькою до константи величиною і має порядок  $10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$  і не залежить від розміру.

Кінцеві кінетичні рівняння екстрагування флавоноїдів зі шроту хмелю подрібненого до різних розмірів можна записати у наступному вигляді:

– для 50 % водно-етанольної суміші:

$$C_1 = 0,054 \cdot (1 - (0,0103 \cdot d + 0,8486) \cdot \exp(-(3,58 \cdot 10^{-4} - 0,1446 \cdot 10^{-4} \cdot d) \cdot t)); \tag{12}$$

– для 70 % водно-етанольної суміші:

$$C_1 = 0,060 \cdot (1 - (0,0073 \cdot d + 0,8688) \cdot \exp(-(3,48 \cdot 10^{-4} - 0,1479 \cdot 10^{-4} \cdot d) \cdot t). \tag{13}$$

## 6. Обговорення результатів дослідження кінетики екстрагування флавоноїдів зі шроту шишок хмелю

Результати експериментальних досліджень підтверджують теоретичні закономірності масопереносу в клітинному та міжклітинному середовищі. На основі цих даних розкрито механізм екстрагування флавоноїдів з подрібненого шроту шишок хмелю після екстракції 96 % етанолом. Результат експериментальних досліджень, представлені на рис. 1–3, свідчать про те, що для вилучення флавоноїдів оптимальним екстрагентом є 70 % водно-етанольна суміш, рівновага вилучення цільової речовини найшвидше досягається для частинок з розміром  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

Аналіз отриманих даних, представлених в табл. 1, дозволяє стверджувати, що коефіцієнт масопереносу k та число вимивання – A зменшується із збільшенням розміру екстрагованої частинки. Число вимивання відображає кількість зруйнованих клітин. Це засвідчує про те, що основною поверхнею масопереносу є площа подрібнення – чим менший розмір частинки твердої фази, тим більша кількість зруйнованих клітин і відповідно більша питома поверхня.

Внутрішньоклітинна речовина спочатку дифундує крізь клітинну оболонку і далі через міжклітинне середовище. Основний опір дифузії цільової речовини чинить клітинна оболонка, таким чином, значення коефіцієнту дифузії через неї  $D_c$  має порядок  $10^{-14} \text{ м}^2/\text{с}$ . Значення коефіцієнту дифузії в міжклітинному середовищі  $D_m$ , для всіх розмірів подрібненого шроту шишок хмелю має порядок  $10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ , що говорить про те, що він дійсно є близькою до константи величиною і не залежить від розміру твердої фази.

Отже, на основі одержаних кінетичних характеристик сформульовані сумарні кінетичні рівняння (11), (12) процесу екстракції, які дозволяють провести технологічні розрахунки процесів і апаратів для виробництва комплексу БАР з високим вмістом флавоноїдів з вторинної сировини шишок хмелю.

## 7. Висновки

1. Встановлені оптимальні концентрації водно-етанольної суміші для максимального вилучення різних груп БАР зі шроту шишок хмелю, а саме: для екстрагування поліфенольних сполук та загальної кількості екстрактивних речовин – 50 % та для флавоноїдів концентрація водно-етанольної суміші становить 70 %.

2. Вивчено кінетику екстрагування 50 % та 70 % водно-етанольною сумішшю зі шроту шишок хмелю після екстракції 96 % етанолом в апараті з мішалкою. А саме, визначено значення коефіцієнту масопереносу, значення якого зменшується із збільшенням розміру екстрагованої частинки.

Також оцінено порядок коефіцієнту дифузії через клітинну мембрану  $D_c$  флавоноїдів середньої молекулярної маси 610 Дальтон та в міжклітинному середовищі  $D_m$ . В результаті досліджень виведено аналітичну залежність коефіцієнту масопереносу – k та числа вимивання – A від розміру частинки

твердої фази d, що дає можливість прогнозувати процес екстрагування, проектувати обладнання для здійснення технологічного процесу на виробництві, розраховувати вартість кінцевого продукту вироб-

ництва для ступеня подрібненості в межах  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $2,5 \cdot 10^{-3}$ ,  $7 \cdot 10^{-3}$ ,  $9,4 \cdot 10^{-3}$  м.

Одержані дані є необхідними при розрахунку параметрів для інтенсифікації технологічного процесу.

#### Література

- Zhang, D. Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers [Text] / D. Zhang, Y. Namaazu // *J. Food Agric. Environ.* – 2003. – Vol. 1. – P. 22–27.
- Павлюк, І. В. Оптимізація умов технологічного процесу переробки шроту *Origanum vulgare*, *Daucus carota*, *Humulus lupulus* [Текст] / І. В. Павлюк, Н. Є. Стадницька // *Вісник НУ Львівська політехніка.* – 2015. – № 812. – С. 251–256.
- Пономарев, В. Д. Экстрагирование лекарственного сырья [Текст] / В. Д. Пономарев. – М.: Медицина, 1976. – 202 с.
- Павлюк, І. В. Усовершенствование технологии переработки промышленного растительного сырья для нужд животноводства [Текст]: матер. XI междунар. науч.- практ. конф. / І. В. Павлюк, Н. Е. Стадницкая, Г. В. Рудык, И. Я. Коцкомбас, Н. В. Новиков // *daRostim*, 2015. – С. 122–124.
- Pavlyuk, I. A Study of the Chemical Composition and Biological Activity of Extracts from Wild Carrot (*Daucus carota* L.) Seeds Waste [Text] / I. Pavlyuk, N. Stadnytska, I. Jasicka-Misiak, B. Górka, P. P. Wiczorek, V. Novikov // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* – 2015. – Vol. 6, Issue 2. – P. 603–611.
- Moure, A. Natural antioxidants from residual sources [Text] / A. Moure, J. M. Cruz, D. Franco, J. M. Dominguez et. al. // *Food Chemistry.* – 2001. – Vol. 72, Issue 2. – P. 145–171. doi: 10.1016/s0308-8146(00)00223-5
- Schieber, A. By-products of plant food processing as a source of functional compounds-recent developments [Text] / A. Schieber, F. C. Stintzing, R. Carle // *Trends in Food Science & Technology.* – 2001. – Vol. 12, Issue 11. – P. 401–413. doi: 10.1016/s0924-2244(02)00012-2
- Balasundram, N. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses [Text] / N. Balasundram, K. Sundram, S. Samman // *Food Chemistry.* – 2006. – Vol. 99, Issue 1. – P. 191–203. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.07.042
- Гарна, С. В. Взаємозв'язок основних технологічних параметрів рослинної сировини [Текст] / С. В. Гарна, П. П. Ветров, В. А. Георгіянец // *Технологія вироб. ліків.* – 2012. – № 1 (8). – С. 54–57.
- Дячок, В. В. Науково-теоретичні основи екстрагування лікарської рослинної сировини [Текст]: автореф. дис. ... д-р. техн. наук / В. В. Дячок. – Київ, 2010. – 41 с.
- Dyachok, V. Extraction process of intracellular substance [Text] / V. Dyachok // *Chemistry & chemical technology.* – 2010. – Vol. 4, Issue 2. – P. 163–167.
- Dyachok, V. Some kinetic regularities of intracellular substances extracting [Text] / V. Dyachok, M. Malovanyy, I. Ilkiv // *Chemistry & chemical technology.* – 2011. – Vol. 6, Issue 4. – P. 469–472.
- Dyachok, V. On the mechanism of extraction from solid bodies cellular structure [Text] / V. Dyachok, I. Ilkiv // *Chemistry & chemical technology.* – 2013. – Vol. 7, Issue 1. – P. 23–27.
- Титова, Л. М. Исследование кинетики процесса экстрагирования в технологии комплексной переработки цитрусовых [Текст] / Л. М. Титова, И. Ю. Алексанян // *Вестник АГТУ.* – 2013. – № 1 (55). – С. 35–38.
- Малков, Ю. А. Кинетика процесса экстракции коры ливственницы этилацетатом [Текст] / Ю. А. Малков, Н. В. Иванова, В. А. Бабкин // *Химия растительного сырья.* – 2012. – № 2. – С. 63–68.
- Запорожець, Ю. В. Особливості безперервного віброекстрагування цільових компонентів з хмельової сировини [Текст] / Ю. В. Запорожець, В. Л. Зав'ялов, О. П. Лобок // *Вібрації в техніці та технологіях.* – 2009. – № 3 (55). – С. 98–103.
- Державна фармакопея України. 1-е вид., Доповнення 4. [Текст]. – Х.: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2011. – 540 с.