

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 66.047

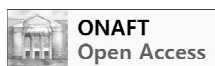
РІВНОВАГА, МЕХАНІЗМ І КІНЕТИКА ПРОЦЕСІВ
ЕКСТРАГУВАННЯ ТА СУШІННЯ
EQUILIBRIUM, MECHANISM AND KINETICS OF THE
EXTRACTION AND DRYING PROCESSES

Семенишин Є. М., д-р техн.наук, проф., Цюра Н. Я., канд.техн.наук, Римар Т.І., Кривавич А. С.
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів
Semenyshyn Ie. M., Tsiura N. Ia., Rymar T.I., Kravavych A. S.
National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



У статті проведено порівняльний аналіз масообмінних процесів, таких як екстрагування та сушіння. Доведено важливість встановлення закономірностей протікання масообмінних процесів, адже маючи чіткі уявлення про механізм, рівновагу та кінетику можна керувати та оптимізувати дані процеси.

Встановлено, що процес екстрагування може здійснюватися за такими механізмами: внутрішньодифузійним, механізмом міжфазової взаємодії, за змішаним дифузійним механізмом та змішаним дифузійно-хімічним механізмом. Встановлення механізму екстрагування пропонується здійснювати на базі рівняння кінетики процесу, беручи до уваги критерій Біо та критерій хімічної взаємодії. Експериментальна перевірка цього рівняння здійснювалась на різних об'єктах (ріпак, амарант тощо) в апараті з мішалкою та в апараті Сокслета і показала задовільні результати.

Доведено, що процес екстрагування інтенсифікується у разі його протікання в зовнішньодифузійній області, де швидкість процесу визначається гідродинамічними параметрами. Представлені результати досліджень процесу екстрагування олій із різних матеріалів в умовах, що дають змогу інтенсифікувати даний процес, а саме: подрібнення зерна, підвищення температури та здійснення попереднього прожарювання. Запропонована методика графічного визначення коефіцієнтів дифузії та розраховані відповідні коефіцієнти.

Спостерігаються певні аналогії між процесами екстрагування та сушіння. В статті вказано, що механізм процесу сушіння значною мірою визначається зв'язком вологи з матеріалом. Наведені також принципи встановлення рівноважних залежностей у випадку сушіння.

This article provides a comparative analysis of mass transfer processes such as extraction and drying. The importance of installation of mass transfer processes laws are proved. Because when we have a clear understanding of the mechanism, kinetics and equilibrium we can manage and optimize these processes.

Established that the extraction process can be carried out by the following mechanisms: internal diffusion, interfacial interaction mechanism, the mixed mechanism of diffusion and mixed diffusion-chemical mechanism. To set the extraction mechanism is proposed to use the kinetics equation of the process, taking into account the criteria of chemical interaction and criterion Bio. Experimental verification of this equation was carried out at different sites (rape, amaranth, etc.) in agitators and Soxhlet apparatus and showed satisfactory results.

Was proved that the extraction process is enhanced in case of leaks in external diffusion area where the speed of the process is determined by hydrodynamic parameters. The results of the research process of extracting oils from various materials under conditions that allow to intensify this process, namely grinding grain, fever and preliminary roasting. The technique of graphical determination of diffusion coefficients and calculated the corresponding coefficients.

There are certain analogies between the processes of extraction and drying. The article indicates that the mechanism of the drying process is largely determined by water bond with the material. Also there were established the principles of dependencies of equilibrium for drying.

Ключові слова: екстракція, сушіння, рівновага, механізм, дифузія, кінетика.

Keywords: extraction, drying, equilibrium, diffusion, kinetics.

Вступ. Зважаючи на розповсюдженість масообмінних процесів у хімічній, фармацевтичній, харчовій, деревообробній та в інших галузях промисловості, актуальними є дослідження закономірностей їх протікання з

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

метою інтенсифікації, удосконалення та підбору необхідного обладнання. Між різними дифузійними процесами є багато аналогій, тому встановивши певні закономірності протікання одного, з названих процесів можна отримати уявлення щодо іншого. Нами були проведені дослідження процесу екстрагування, основні результати яких стануть в нагоді під час дослідження й інших масообмінних процесів, зокрема сушіння. Процеси сушіння сировинних матеріалів є аналогами процесів екстрагування, оскільки пов'язані із вилученням вологи, яка перебуває на поверхні і в порах матеріалу.

Формулювання проблеми. Процеси екстрагування цільових компонентів з пористих структур як з мінеральної, так і з рослинної сировини також мають широке застосування в таких галузях промисловості як хімічна (при вилученні різного роду солей та інших цільових компонентів); гідрометалургія (вилучення кольорових металів з руд); харчова промисловість (вилучення олії та інших цільових компонентів) тощо. Особливо широко процеси екстрагування використовуються у фармацевтичній промисловості при вилученні цільових компонентів з рослинної сировини для приготування лікарських препаратів. Рослинну сировину (калусну біомасу) в народній медицині після екстрагування цільових компонентів використовують для приготування лікарських препаратів. Для впровадження у виробництво певної технології екстрагування та забезпечення процесу відповідним обладнанням, необхідні знання рівноважних станів та механізму протікання процесу екстрагування.

Процеси сушіння також мають широке застосування в різних галузях промисловості. На сьогоднішній час відомо багато методів зневоднення різного роду твердих та пастоподібних речовин, але всі вони характеризуються високою енергоємністю. Тому існує потреба в дослідженні процесів сушіння з метою їх оптимізації та інтенсифікації. Відомо, що вільна волога виводиться з матеріалу при контакті з сушильним агентом з відносною вологістю, що менша за 100%. Зв'язана волога виводиться за значно складнішим механізмом – механізмом масопровідності. Цей процес зазвичай протікає за законами внутрішньої дифузії, є доволі складним і його дослідження обов'язково вимагає знання законів рівноваги.

Аналіз останніх джерел та публікацій. Характерною особливістю процесів екстрагування є низький вміст цільових компонентів в пористому матеріалі (0,05 – 3 %) і відтак незначні значення концентрації в розчині. Здійснення цих процесів у промислових умовах пов'язане з великими труднощами у зв'язку з багатофакторним впливом різних параметрів на процеси екстрагування, основними з яких є структура пористих тіл, фізичні властивості як цільових компонентів, так і екстрагентів, температура, умови залягання компонента в пористому скелеті.

При вирішенні проблем, пов'язаних з вилученням цільових компонентів з пористих структур, необхідно взяти до уваги, в якому стані перебуває компонент в пористому скелеті – рідкому чи твердому, оскільки, згідно з теорією гетерогенних процесів, рушійна сила визначається різницею рівноважної і робочої концентрацій. Тому знання умов рівноваги є важливою умовою при вирішенні задач, пов'язаних з екстрагуванням.

Для системи тверде тіло – рідина в умовах екстрагування рівновага настає тоді, коли хімічний потенціал розчиненої речовини дорівнює хімічному потенціалові компонента в пористому твердому тілі або концентрація компонента в рідині сягає концентрації насичення. Якщо компонент, який підлягає вилученню, перебуває в порах в рідкому стані, то в умовах рівноваги його концентрація в порах твердого тіла і в основній масі розчинника вирівнюється.

Оскільки цільові компоненти в твердому скелеті розміщені в пустотах або в каналах (капілярах), то процес їх вилучення включає такі стадії: переміщення екстрагента до місця розташування компонента, розчинення і транспортування його до поверхні фазового контакту тверде тіло – рідина.

У деяких випадках взаємодія компонента з розчинником (екстрагентом) пов'язана з хімічною реакцією, що ускладнює процес розчинення. Якщо хімічна взаємодія відсутня, то процес розчинення здійснюється за законами фізики і є дифузійним.

Оскільки вилучення цільового компонента складається із двох стадій – переміщення розчину в середині пористого матеріалу до поверхні фазового контакту та стадії переміщення від поверхні фазового контакту в ядро розчинника, то найповільніша стадія цих процесів визначає швидкість усього процесу.

У більшості випадків капіляри пористого матеріалу дуже малі, тому швидкість переміщення компонента до поверхні фазового контакту визначається за законами найповільнішої стадії – молекулярної дифузії. Переміщення компонента від поверхні пористого матеріалу в ядро рідини залежить від гідродинамічної обстановки і здійснюється за законами зовнішньої дифузії, швидкість якої є значно більшою. Отже, для розв'язку задач, пов'язаних з вилученням цільових компонентів з пористих структур, у випадку екстрагування та сушіння насамперед необхідно встановити, за яким механізмом протікає процес. Важливість цього завдання стає очевидною, якщо взяти до уваги, що в деяких випадках відсутні єдині погляди на питання кінетики екстрагування. Деякі дослідники вважають, що перенесення речовини в пористій структурі пов'язане з рухом рідини в порах (фільтрація рідини крізь пори пористого скелета.) Варто зазначити, що саме припущення дифузійного механізму екстрагування не є достатнім, тому що ці процеси є дифузійними і важливо встановити, який процес

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

є повільнішим – процес внутрішньої дифузії чи зовнішньої. Деякі дослідники дифузійному механізму приписують механізм хімічної кінетики. Тому у всіх таких випадках для відповіді на питання «якому» механізму підпорядковується процес екстрагування певного цільового компонента необхідно провести експериментальні дослідження.

Найпростішим методом встановлення механізму екстрагування є метод впливу кількості обертів мішалки на кінетику процесу. Вважається, що якщо кількість обертів мішалки не впливає на кінетику процесу, то процес екстрагування протікає за внутрішньодифузійним механізмом.

Мета та завдання досліджень. Метою даної статті є встановлення механізмів протікання таких масообмінних процесів як екстрагування та сушіння, з'ясування принципів встановлення рівноваги в досліджуваних системах, а також узагальнення результатів кінетичних досліджень, які дадуть змогу інтенсифікувати дані процеси.

Виклад основного матеріалу. В даному повідомленні пропонується доволі простий і надійний метод встановлення механізму екстрагування, в основу якого покладено рівняння кінетики процесу. Перевірка цього методу на адекватність здійснювалась нами та іншими дослідниками на багатьох об'єктах і показала задовільну узгодженість теоретичних і експериментальних даних [1]. На базі цього методу можна виділити такі механізми процесу екстрагування:

1. Внутрішньодифузійний механізм. В його основу покладено рівняння виду:

$$\frac{t}{T} = \frac{1 - 3\varphi_0^2 + 2\varphi_0^3 + \frac{6}{\varepsilon}(1 - \varphi_0) + \frac{2}{Bi}(1 - \varphi_0^3)}{1 + \frac{6}{\varepsilon} + \frac{2}{Bi}} \quad (1)$$

де t –біжучий час екстрагування; T – час повного вилучення компонента; φ_0 – безрозмірний радіус; $\varphi_0 = \frac{r_0}{R}$; r_0 – радіус сфери, в якій зосереджений цільовий компонент; R – радіус сферичної частинки (зерна); $\varepsilon = \frac{K_{ro}R}{D_m}$ – критерій хімічної взаємодії; K_{ro} – константа швидкості хімічної реакції; D_m – коефіцієнт дифузії; Bi – критерій Біо; $\varepsilon = \frac{KR}{D_m}$; K – коефіцієнт масовіддачі, τ – безрозмірний час.

Для внутрішньодифузійного механізму необхідно в рівнянні (1) прийняти $\varepsilon = \infty$ і $Bi = \infty$. Тоді рівняння (1) зводиться до виду:

$$\tau = \frac{t}{T} = 1 - 3\varphi_0^2 + 2\varphi_0^3 \quad (2)$$

2. Механізм міжфазової взаємодії. Для механізму міжфазової хімічної взаємодії $\varepsilon \ll 1$ і згідно з рівнянням (1) маємо:

$$\frac{t}{T} = 1 - \varphi_0 \quad (3)$$

Варто зазначити, що рівняння (3) справедливе і для дифузійного розчинення ($Bi \ll 1$). Для частинок сферичної форми $Bi \gg 1$. Тому умова $Bi \ll 1$ не виконується.

3. Змішаний дифузійний механізм. В даному випадку хімічна кінетика не лімітує процесу і для встановлення цього механізму справедливе рівняння виду ($\varepsilon = \infty$):

$$\frac{t}{T} = \frac{1 - 3\varphi_0^2 + 2\varphi_0^3 + \frac{2}{Bi}(1 - \varphi_0^3)}{1 + \frac{2}{Bi}} \quad (4)$$

4. Змішаний дифузійно-хімічний механізм. У даному випадку справедливе рівняння (1).

Безрозмірний радіус φ_0 для кожного моменту часу визначається з рівняння матеріального балансу:

$$M_0(1 - \varphi_0^3) = W \cdot C_1 \quad (5)$$

$$\beta(1 - \varphi_0^3) = C_1 \quad (6)$$

де $\beta = M_0/W$; M_0 – маса цільового компонента, який перебуває в пористому середовищі; W – об'єм екстрагента, C – концентрація компонента в розчині.

Рівняння (6) справедливе для будь-якого моменту часу. Якщо $t=0$, то $\varphi_0 = 1$ і $C_1 = 0$; якщо $t=T$, то $\varphi_0 = 0$. Отже, безрозмірний радіус φ_0 змінюється від 0 до 1.

Експериментальна перевірка рівняння (1) здійснювалась на різних об'єктах (ріпак, амарант та інші) в апараті з мішалкою та в апараті Сокслета.

Рівняння (2) також дає змогу визначити коефіцієнт дифузії. Якщо в рівнянні (2) ліву частину рівняння покласти Φ , то згідно з рівнянням матеріального балансу отримаємо змогу побудувати залежність $\Phi = f(\tau)$ на основі кінетичної залежності $C_1 = f(\tau)$. Експериментальна залежність $\Phi = f(\tau)$ є прямою, тангенс кута нахилу якої дає змогу визначити коефіцієнт стислої дифузії за рівнянням:

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

$$D_m = \frac{\rho R^2}{c_1} t g \alpha, \quad (7)$$

Де ρ – густина речовини, що вилучається.

Експериментальні дослідження, проведені нами, показали, що процеси вилучення компонентів, які містяться в рослинній сировині, особливо в насінні, протікають дуже повільно і тривають декілька діб, а коефіцієнти дифузії становлять $0,5 \cdot 10^{-9} - 0,5 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2/\text{с}$. Це свідчить про те, що процес екстрагування протікає за внутрішньодифузійним механізмом, який і визначає швидкість всього процесу. Тому з метою інтенсифікації процесу екстрагування виникає необхідність перевести цей процес з внутрішньодифузійної області в зовнішньодифузійну, швидкість якого визначається гідродинамічними параметрами.

Експериментальні дослідження, проведені нами з метою інтенсифікації процесу екстрагування, здійснювались у таких напрямках:

1. Метод, в основу якого покладено принцип подрібнення зерна. Внаслідок подрібнення різко зростає поверхня фазового контакту та здійснюється руйнування бар'єрів (плівки, каналів) на шляху переміщення компонента з середини зерна до поверхні фазового контакту тверде тіло – рідина. На рис.1 (а, б, в) показана залежність концентрації компонента в рідині з часом для подрібненого і неподрібненого насіння і впливу розміру насіння на кінетику екстрагування для різних об'єктів [1]

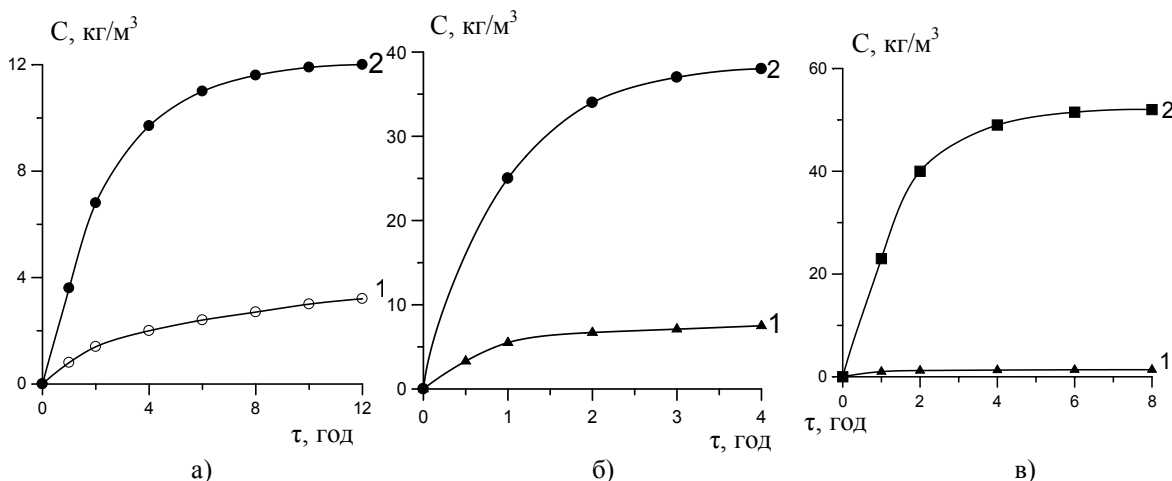


Рис. 1 – Кінетика екстрагування олії хлористим метиленом за температури 30 °С з неподрібненого ($d_{\text{сер}}=0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) - залежність 1 і подрібненого ($d_{\text{сер}}=0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) - залежність 2 насіння а) – амаранту гібриду; б) – ріпаку; в) – ріжю

2. Метод, пов'язаний із впливом температури на швидкість екстрагування.

На рис.2 показані залежності $C=f(\tau)$ за різних температур.

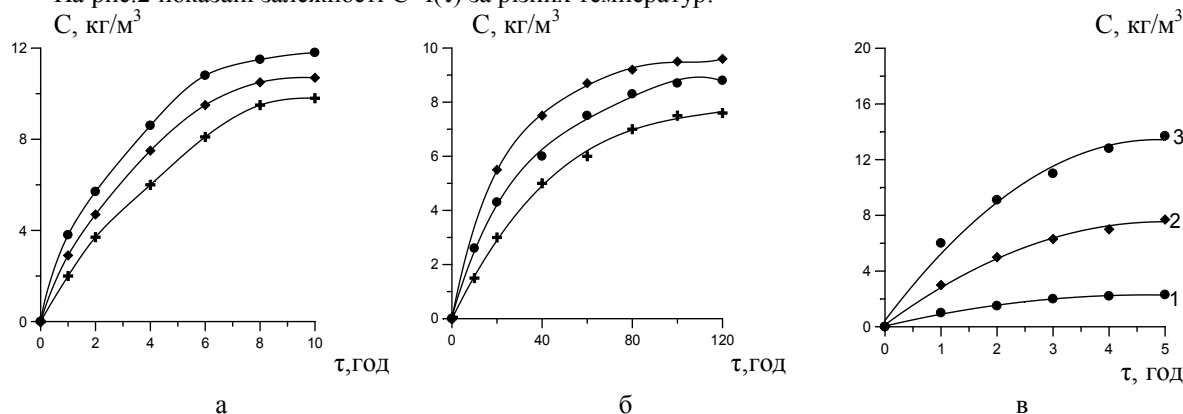


Рис. 2 – Залежність концентрації цільового компонента в екстрагенті від часу за різних температур: а) екстрагування олії з подрібненого амаранту гібриду метанолом за $t=30^\circ\text{C}$, 40°C , 60°C ; $d_{\text{сер}}=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. б) насіння амаранту гібриду $t=20^\circ\text{C}$, 30°C , 40°C н-гексаном, $d_{\text{сер}}=0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. в) насіння ріжю $t=20^\circ\text{C}$, 30°C , 40°C н-гексаном, $d_{\text{сер}}=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

3. Метод з попереднім прожарюванням неподрібненого насіння та подальшим екстрагуванням в умовах електромагнітного поля.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Експериментальні дослідження екстрагування здійснювали із застосуванням обжарювання неподрібненого насіння ріпаку з тривалістю 10 і 20 хв та подальшим екстрагуванням.

На рис. 3а показана залежність $C=f(\tau)$ процесу екстрагування олії з неподрібненого насіння ріпаку після попередньої термічної обробки (обжарки). На рис. 3б показана залежність $C_1=f(\tau)$ процесу екстрагування олії з неподрібненого насіння ріпаку в умовах попередньої обробки в електромагнітному полі.

Аналіз залежностей рис.3а показав, що процес попередньої термічної обробки неподрібненого насіння інтенсифікує процес, про що свідчать визначені коефіцієнти дифузії $1,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ проти

$2,0 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2/\text{с}$ для екстрагування олії з попередньо необробленого насіння. Значне підвищення кількості вилученої олії та вищого коефіцієнта дифузії пояснюється руйнуванням бар'єрів переміщення цільового компонента всередині зерна.

На рис. 3б показана залежність $\Phi=f(\tau)$, за допомогою якої можна визначити коефіцієнт дифузії за тангенсом кута нахилу (рівняння 7)

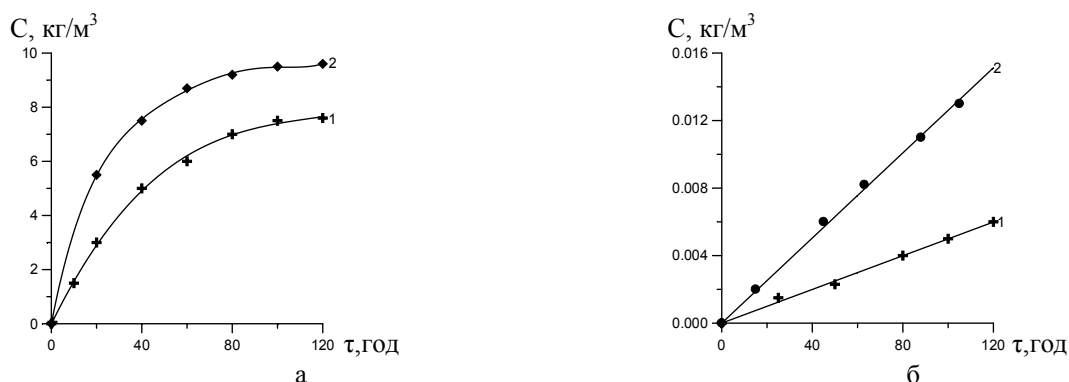


Рис. 3 – а - Залежність концентрації від часу $C=f(\tau)$ під час екстрагування олії з насіння ріпаку хлористим метиленом за температури $t=20^\circ\text{C}$; 1- неподрібнене насіння $d_{\text{сер}}=0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при екстрагуванні хлористим метиленом без попереднього зволоження; 2 - неподрібнене насіння $d_{\text{сер}}=0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ з попереднім зволоженням і подальшим екстрагуванням в електромагнітному полі; б – залежність $\Phi=f(\tau)$; 1- неподрібнене насіння $d_{\text{сер}}=0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при екстрагуванні хлористим метиленом без попереднього зволоження; 2 - неподрібнене насіння $d_{\text{сер}}=0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ з попереднім зволоженням і подальшим екстрагуванням в електромагнітному полі

Поряд з процесами, які пов'язані з вилученням цільових компонентів з пористих структур, широке застосування в різних галузях промисловості мають процеси виведення вологи з вологих матеріалів – процеси сушіння.

Оскільки процеси сушіння пов'язані з вилученням вологи з різних пористих структур, то кінетика цих процесів, аналогічно до процесів екстрагування, передбачає як внутрішньо-дифузійне масоперенесення вологи, так і зовнішнє. Тому під час вирішення задач, пов'язаних із вилученням вологи, виникає необхідність встановлення механізму процесу. Вирішення зовнішньої задачі пов'язане з вилученням так званої вільної вологи, а що-до внутрішньої задачі, то вона пов'язана з виведенням так званої зв'язаної вологи.

Якщо вільна волога виводиться за будь-яких значень відносної вологості повітря, що менша за 100%, то внутрішня волога виводиться за певних умов, пов'язаних з рівновагою в системі. Тобто коли рівноважна вологість вологого матеріалу більша за відносну вологість теплового агента ($w_p > \varphi_0$).

Механізм процесу сушіння значною мірою визначається зв'язком вологи з матеріалом і чим міцніший цей зв'язок, тим важче видалити вологу з матеріалу, тим енергозатратнішим буде цей процес.

Як відомо, зв'язок вологи з матеріалом може бути фізичним, фізико-хімічним, механічним і хімічним, тому зрозуміло, що для вирішення задач, пов'язаних з сушінням, необхідно насамперед встановити механізм та рівноважну залежність процесу $w_p = f(\varphi_0)$.

Визначення рівноважної вологості пов'язане з великими труднощами, оскільки досягнення динамічної рівноваги $P_m = P_n$ визначається експериментальним шляхом і триває декілька діб, а в окремих випадках і декілька тижнів. (P_m – парціальний тиск вологи над матеріалом; P_n – парціальний тиск повітря або газу над матеріалом).

Встановлення рівноваги здійснюється за сталої температури.

Складність експериментальних досліджень та тривалість досягнення рівноваги в більшості випадків рівноважну вологість визначають на базі вивчення кінетики сушіння з побудовою залежності зміни вологості матеріалу в часі ($w_c = f(\tau)$). Однак в цьому методі не беруться до уваги параметри сушильного агента: відносна вологість φ_0 , вологовміст x , тепловміст I на кінетику процесу і витрату сушильного агента.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Рівноважна вологість визначається за методикою, згідно з якою взірці вологого матеріалу витримуються в ексікаторах, заповнених сірчаною кислотою різних концентрацій. Кожному значенню концентрації за даної температури відповідає певний парціальний тиск водяної пари. Тобто відповідне значення φ_0

Висновки

1. Процеси екстрагування і сушіння пов'язані із вилученням речовин, які перебувають в рідкому стані, з пористих скелетів твердих матеріалів. Ці процеси належать до дифузійних, тому запропоновано методику визначення механізму з метою встановлення лімітуючої стадії, що дасть змогу інтенсифікувати масообмін.
2. Аналіз наведених результатів кінетичних досліджень вказує на те, що підвищення ефективності процесу екстрагування досягається шляхом подрібнення сировини, її попередньої термічної обробки, а також дії електромагнітного поля.
3. Встановлені відповідні коефіцієнти дифузії для процесу екстрагування олії з рослинної сировини за різних умов. Також значна увага приділяється проблемі визначення рівноваги процесів екстрагування й сушіння та запропоновані відповідні методики для її встановлення.
4. Показано, що процеси сушіння є аналогами процесів екстрагування.

Література

1. Аксельруд Г.А., Семенишин Є.М. Об определении механизма экстрагирования твердой фазы из пористых тел. ЖПХ 1976 М. №10
2. Семенишин Є.М. Експериментальне визначення коефіцієнтів внутрішньої дифузії для умов екстрагування рідких та твердих цільових компонентів / Є.М. Семенишин, Р.В. Стадник, В.І. Троцький // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій // Зб. науков. праць "Технічні науки" – Одеса; ОНАХТ, 2010. – Вип. 37. – Т. 1. – С. 61 – 65.
3. Справочник химика М. Изд. «Химия». Т.3. с.333. 522- 523.
4. Амелин А.Г. Технология серной кислоты 2-е изд. Перераб. – М.:Химия, 1983, - с.15 – 17.
5. Кінетика екстрагування олії з насіння амаранту хвостатого (*Amaranthus caudatus*) та амаранту гібриду (*Amaranthus hybridus*) / Р.В. Стадник, Є.М. Семенишин, В.І. Федорчук-Мороз, В.І. Троцький, Ю.Й. Ятчишин // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехніка" Хімія, технологія речовин та їх застосування – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. – № 644. – С. 162–167. 10.

References

1. Akselrud, G.A., Semenishin, Ye.M. (1976), "About determination of mechanism of extraction of solid phase from porous structures", *ZhPKh*, Moscow, №10
2. Semenyshyn, Ye.M., Stadnyk, R.V., Trotskyi, V.I., (2010), "Experimental determination of inner diffusion coefficients for conditions of extraction liquid and solid target components", *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii*, Is. 37, Vol. 1., pp. 61 – 65.
3. Spravochnik khimika, Vol.3., Khimiya, Moscow, Russia
4. Amelin, A.G. (1983), *Tekhnologiya sernoy kisloti* [Technology of sulphuric acid], 2-nd ed., Khimiya, Moscow, Russia.
5. Stadnyk, R.V., Semenyshyn, Ye.M., Fedorchuk-Moroz, V.I., Trotskyi, V.I., Yatchyshyn, Yu.I. (2009), "Kinetics of extraction of oil from amaranth caudate (*Amaranthus caudatus*) and amaranth hybrid (*Amaranthus hybridus*) seeds", *Visnyk Nats. un-tu "Lviv. politekhnika"*, № 644, pp. 162–167.