

**Т. В. Шейко**

**Т. В. Шейко**

**T. Sheiko**

**Л. М. Мельник, д. т. н.**

**Л. Н. Мельник**

**L. Melnyk**

**О. С. Марценюк, д. т. н.**

**А.С.Марценюк**

**O. Martsenyuk**

*Національний університет харчових технологій*

*Национальный университет пищевых технологий*

*National university of food technologies*

**ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ АДСОРБЦІЇ ПЕКТИНОВИХ  
РЕЧОВИН ШУНГІТОМ ІЗ СОКУ СТОЛОВОГО БУРЯКА  
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ АДСОРБЦИИ ПЕКТИНОВЫХ  
ВЕЩЕСТВ ШУНГИТОМ ИЗ СОКА СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ  
RESEARCH OF KINETICS OF ADSORPTION OF PECTIN  
SUBSTANCES OF ШУНГИТОМ IS FROM JUICE OF TABLE BEET**

*Досліджено кінетику адсорбції пектинових речовин із соку столового буряка шунгітом, визначено коефіцієнти масовіддачі та масопередачі при зовнішній та внутрішній дифузії в порах адсорбента.*

**Ключові слова:** сік столового буряка, шунгіт, адсорбційне очищення, коефіцієнти дифузії, масовіддачі, масопередачі.

*Исследована кинетика адсорбции пектиновых веществ из сока столовой свеклы шунгитом, определены коэффициенты массоотдачи и массопередачи при внешней и внутренней диффузии в порах адсорбента.*

**Ключевые слова:** сок столовой свеклы, шунгит, адсорбционная очистка, коэффициенты диффузии, массоотдачи, массопередачи.

*Was to investigate the kinetics of adsorption of pectic substances from beet juice by chungite, were determined mass transfer coefficient in external and internal*

*diffusion in pores of the adsorbent.*

**Key words:** *beet juice, shungite, adsorption, diffusion coefficient, mass transfer coefficient.*

Для проектування адсорберів в системі тверде тіло – рідина, необхідно знати коефіцієнти масовіддачі, які можна обчислити при наявності фізичних констант та кінетичних характеристик процесу адсорбції.

---

© Т. В. Шейко, Л. М. Мельник, О. С. Марценюк, 2010

На основі загальних закономірностей масообміну в основу теорії адсорбції покладені закони фізико-хімічної і дифузійної взаємодії молекул адсорбтива з молекулами й поверхнею твердих тіл – адсорбентів.

Швидкість перенесення речовини, що поглинається, з потоку рідини в ядро пористої структури гранул адсорбента залежить від стадії зовнішньої конвективної дифузії – підведення речовини з потоку до частинок адсорбента; стадії внутрішньої дифузії – переміщення молекул адсорбтиву всередині каналів і пор адсорбенту; стадії адсорбції – процес міжмолекулярної взаємодії адсорбтива з поверхнею адсорбента [1].

Характер міжмолекулярної взаємодії на межі поділу фаз визначає механізм процесу адсорбції. Це обумовлює необхідність дослідження дифузійних властивостей поглинаючої речовини та адсорбційного матеріалу [2].

Авторами досліджено процес адсорбції пектинових речовин із соку столового буряка природним вуглецевмісним адсорбентом шунгітом – з урахуванням впливу температури на зміну фізичних констант та кінетичних характеристик процесу.

Свіжевіджатиий сік столового буряка у кількості 100 мл нагрівали до температури 40°C, 50°C та 60°C і змішували з попередньо термоактивованим при температурі 90...100°C протягом 60 хвилин шунгітом, концентрацією 4,76% мас. змішаної фракції (оптимальні параметри, встановлені на основі попередніх досліджень). Суміш витримували протягом 60 хвилин при постійному перемішуванні і через кожні 10 хвилин визначали кількість поглинутих пектинових речовин. За отриманими результатами будували криві

адсорбції, які використовували для подальших розрахунків (рис. 1).

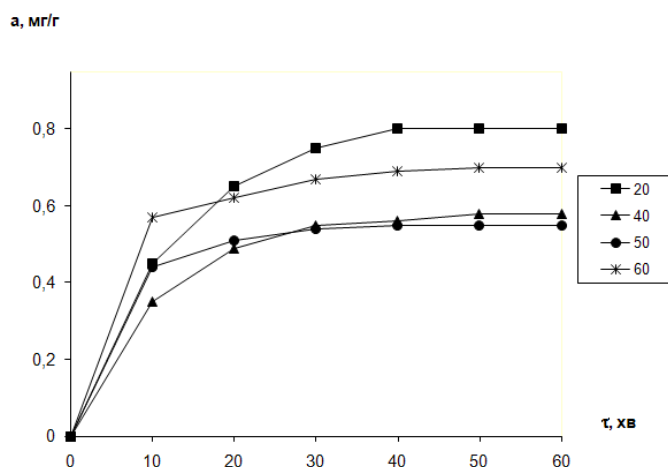


Рис. 1. Кінетичні криві адсорбції пектинових речовин шунгітом із соку столового буряка при температурі обробки соку 20°, 40°, 50°, 60°C (концентрація шунгіта – 4,76% мас).

Як видно із рис.1 адсорбція пектинових речовин із соку столового буряка найкраще відбувається при температурі 20°C та 60°C. Найефективніше процес адсорбції проходить в перші 10 хвилин обробки соку шунгітом. В подальшому процес дещо уповільнюється і настає фазова рівновага.

В процесі обробки соку при температурі 20°C окрім адсорбції відбувається також седиментація частинок пектинових речовин. Флокули пектинових речовин і адсорбенту самі спроможні приєднувати до себе високомолекулярні сполуки, що сприяє додатковому очищенню соку.

При підвищенні температури обробки соку до 60°C прискорюється броунівський рух молекул, в тому числі і рух шкідливих домішок, що збільшує вірогідність потрапляння їх в пори і нанотрубки адсорбенту та приєднуватись до незкомпенсованих зарядів складових елементів сорбенту.

Для розрахунку коефіцієнта масопередачі пектинових речовин із соку столового буряка шунгітом використали залежність [3]:

$$k_a = \frac{1}{\frac{1}{\beta_3} + \frac{1}{\beta_6}}, \quad (1)$$

де  $k_a$  – коефіцієнт масопередачі, м/с;  $\beta_3$  - коефіцієнт масовіддачі при зовнішній дифузії, м/с;  $\beta_6$  - коефіцієнт масовіддачі при внутрішній дифузії в порах адсорбенту, м/с.

Для розрахунку коефіцієнта масовіддачі при зовнішній дифузії використовуємо рівняння:

$$\beta_3 = \frac{D_3 \cdot Nu}{d}, \quad (2)$$

де  $D_3$  - коефіцієнт зовнішньої дифузії, м<sup>2</sup>/с;  $Nu$  - критерій Нусельта, який визначали з рівняння  $Nu = 1,6 \cdot Re^{0,54}$  [3].

Значення числа Рейнольдса розраховували з формули:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (3)$$

де  $w$  - швидкість руху потоку рідини, ( $w = 0,016$  м/с, розраховували із попередніх досліджень);  $d$  - діаметр частинки адсорбенту, м (для шунгіту – 0,002 м);  $\rho$  - густина соку столового буряка при вмісті сухих речовин (СР) 9,2% і температурі 20°C становить 1048 кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  - в'язкість соку столового буряка, Па·с.

В'язкість соку столового буряка обчислили [5]:

$$\mu = 0,0199 \cdot CP^{2,94} \cdot t^{-1,17}, \quad (4)$$

де  $t$  - температура соку столового буряка при проведенні дослідження, °С. В'язкість соку столового буряка при дослідних температурах 20°C, 40°C, 50°C і 60°C при вмісті СР 9,2% дорівнює 0,4069 Па·с, 0,1763 Па·с, 0,1356 Па·с, 0,1085 Па·с, відповідно.

Для розрахунку коефіцієнта зовнішньої дифузії пектинових речовин в системі сік: шунгіт скористалися рівнянням [4]:

$$D_3 = \frac{K \cdot r^2}{\pi^2 \cdot \tau_{0,5}}, \quad (5)$$

де  $K$  - коефіцієнт, який залежить від форми гранул ( $K=0,34$ );  $r$  - еквівалентний радіус пористої частинки, м;  $\tau_{0,5}$  - проміжок часу від початку досліду до моменту, коли кількість адсорбованої речовини досягає 50% від рівноважної величини адсорбції, с (визначається з рис. 1). Отримано коефіцієнти зовнішньої

дифузії  $1,52 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с – при обробленні соку шунгітом при температурі 20°C;  $1,69 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с – при 40°C; та  $1,69 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с і  $2,54 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с при температурі 50°C та 60°C, відповідно.

Обчислені коефіцієнти масовіддачі при зовнішній дифузії мають наступні значення:  $\beta_s = 3,12 \cdot 10^{-8}$  м/с (при  $t=20^\circ\text{C}$ ),  $5,49 \cdot 10^{-8}$  м/с (при  $t=40^\circ\text{C}$ );  $6,42 \cdot 10^{-8}$  м/с (при  $t=50^\circ\text{C}$ );  $1,07 \cdot 10^{-7}$  м/с (при  $t=60^\circ\text{C}$ ).

Розрахунок коефіцієнта масовіддачі при внутрішній дифузії в порах шунгіту виконували згідно рівняння:

$$\beta_s = \frac{10 \cdot D_s}{d_n}, \quad (6)$$

де  $D_s$  - коефіцієнт внутрішньої дифузії, м<sup>2</sup>/с;  $d_n$  - діаметр пор адсорбента (для шунгіта  $7 \cdot 10^{-9}$  м).

Швидкість стадії внутрішньої дифузії залежить від швидкості переміщення речовини всередині пор адсорбента і визначається як дифузійними властивостями адсорбтиву, так і властивостями адсорбенту (його активністю, сорбційною ємністю, пористістю і діаметром пор) [4].

Коефіцієнт внутрішньої дифузії адсорбтива в порах визначали за формулою [2,3]:

$$D_s = \frac{\varepsilon_s D_3}{2} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{2d_n}{3D_3} \cdot \sqrt{\frac{8RT}{M}}\right) \right], \quad (7)$$

де  $\varepsilon_s$  - пористість адсорбенту (для шунгіту – 0,5);  $M$  – молекулярна маса адсорбтиву (молекулярна маса пектинових речовин бурякового соку приблизно дорівнює 17000),  $R$  – універсальна газова стала, становить 8,314 кДж/(моль·К);  $T$  – температура, К ( $T=273+t_{\text{докл}}$ ).

Коефіцієнт внутрішньої дифузії пектинових речовин при обробленні соку столового буряка шунгітом при температурі 20°C складає  $3,79 \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup>/с, при 40°C –  $4,22 \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup>/с,  $4,22 \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup>/с і  $6,33 \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup>/с при температурі 50°C і 60°C.

Коефіцієнт масовіддачі при внутрішній дифузії пектинових речовин в порах адсорбенту  $\beta_s = 0,054$  м/с (при  $t=20^\circ\text{C}$ );  $0,06$  м/с (при

$t=40^{\circ}\text{C}$ ); 0,06 м/с (при  $t=50^{\circ}\text{C}$ ); 0,09 м/с (при  $t=60^{\circ}\text{C}$ ).

Залежності коефіцієнтів зовнішньої і внутрішньої дифузії від температури суміші шунгіт: сік представлені на рис. 2, 3.

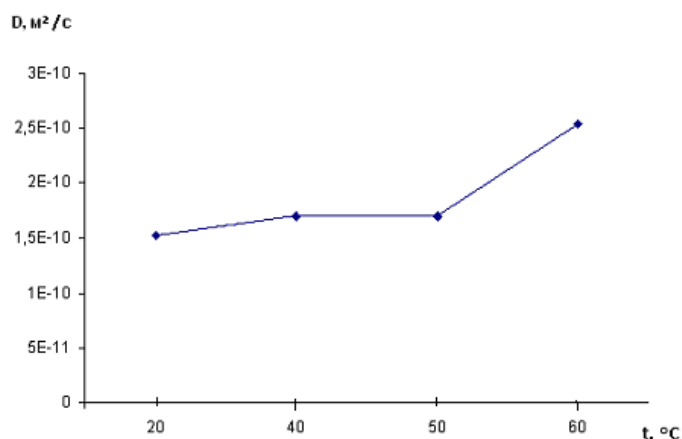


Рис. 2 Залежність коефіцієнта зовнішньої дифузії від температури процесу адсорбції пектинових речовин соку столового буряку шунгітом концентрацією 4,76% мас. при тривалості взаємодії 60 хв.

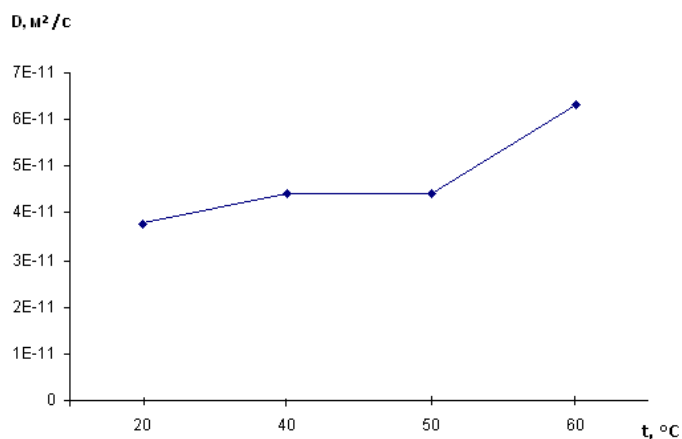


Рис. 3 Залежність коефіцієнта внутрішньої дифузії від температури процесу адсорбції пектинових речовин соку столового буряку шунгітом концентрацією 4,76% мас. при тривалості взаємодії 60 хв.

Як видно з рис. 2 і 3 коефіцієнти внутрішньої і зовнішньої дифузії зростають із збільшенням температури обробки соку шунгітом. Ймовірно, що це відбувається за рахунок підвищення швидкості броунівського руху молекул адсорбента і адсорбтива.

Коефіцієнт масопередачі пектинових речовин із соку столового буряка склав  $k_a = 0,054$  м/с при  $t=20^{\circ}\text{C}$ ; 0,06 м/с при  $t=40^{\circ}\text{C}$ ; 0,06 м/с і 0,09 м/с при  $t=50^{\circ}\text{C}$  і  $t=60^{\circ}\text{C}$ .

**Висновки:** 1. Отримано кінетичні криві адсорбції пектинових речовин із соку столового буряка шунгітом при різних температурах взаємодії соку та адсорбенту, які були використані для розрахунку фізичних константа та кінетичних характеристик процесу адсорбції.

2. Визначено оптимальні температурні параметри адсорбції пектинових речовин із соку столового буряка шунгітом.

3. Розраховано коефіцієнти масовіддачі при зовнішній і внутрішній дифузії та коефіцієнти масопередачі пектинових речовин із соку столового буряка шунгітом.

4. Встановлено і обгрунтовано збільшення значень коефіцієнтів зовнішньої і внутрішньої дифузії при підвищенні температури суміші сік: шунгіт.

#### ЛІТЕРАТУРА:

2. *Ф. А. Слисаренко.* Физико-химические исследования природных адсорбентов ./ - Саратов, 1968.- 128 с.

2. *Г. А. Аксельруд.* Массообмен в системе твердое тело – жидкость./ Из-во Львовского университета. – Львов, 1970. – 187 с.

3. *А. П. Врагов.* Массообмінні процеси та обладнання хімічних та газонафтопереробних виробництв./ Навчальний посібник. Суми, Університетська книга, 2007 р., 284 с.

4. *Г. В. Цицишвили.* Кинетика адсорбции паров воды на цеолитах А и X/ Г. В. Цицишвили, Е. Л. Григолия// Поверхностные явления на алюмосиликатах. Сборник статей, Тбилисси, Мицниереба, 1965, с. 17-29.

5. *И. А. Чубик.* Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов/ И. А. Чубик, А. М. Маслов// 2-е изд., - М.: Пищевая промышленность, 1970., 184 с.

*Одержана редколегією 16.11.2010 р.*