

УДК 664.8.047.014

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ АДСОРБЦІЇ АНТИОКСИДАНТНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РОСЛИННИХ ПОРОШКІВ

Петрова Ж.О. д.т.н., пров. наук. співр., Сисжкін Ю.Ф. чл.-кор. НАН України, д.т.н., професор,  
Гетманюк К.М. аспірант  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

*Проведені дослідження ізотерм адсорбції монопорошків та комбінованих функціональних порошків на основі моркви показали, що вони мають однаковий характер та представляють собою капілярно-пористі колоїдні тіла і мають однакові форми зв'язування вологи (адсорбційну, капілярну та осмотичну) в той же час суттєво відрізняються один від одного рівноважною вологістю. Визначення рівноважної вологості функціональних рослинних порошків має дуже важливе значення, оскільки саме ці дослідження визначають умови їх зберігання, кінцевий вологовміст та енергетичну складову процесу сушіння.*

*There are research of isotherms adsorption of mono powders and combined functional powders based on carrot showed that they have the same character and represent by itself capillary-porous colloidal body and having the same form binding humidity (adsorption, capillary, osmotic) at the same time significantly different from one another by equilibrium humidity. Determination of the equilibrium humidity of functional vegetable powders has a very important meaning, as these research define the conditions of their storage, final moisture content and energy component of the drying process.*

Ключові слова: адсорбція, рівноважна вологість, антиоксидантні рослинні порошки.

Основна ідея функціональних харчових продуктів в зміні цих продуктів таким чином, що вони отримують специфічну фізіологічну функцію, яка веде до запобігання різноманітних захворювань. На основі комплексного дослідження тепломасообмінних процесів переробки функціональної рослинної сировини розроблено інноваційну енергоресурсозберігаючу теплотехнологію виробництва антиоксидантних порошків. Моркву разом з вівсом обробляли гострим паром для запобігання ферментативного Браунінгу. У випадку поєднання моркви з бобами проводили термічну обробку бобів, а потім боби при оптимальній температурі поєднували з подрібненою морквою і необхідний час витримували, що дозволяє зберегти каротиноїди до 93 %. Сушіння підготовленої сировини відбувається за розробленими енергоефективними ступеневими режимами. Початкова температура теплоносія при високому вологовмісті становить 100-120 °С. На другому етапі сушіння антиоксидантної сировини на основі каротиноїдів, як показали експериментальні дослідження, температуру зменшуємо до 70 - 75 °С. Сушіння відбувається до кінцевого вологовмісту  $W = 6 - 8 \%$ , що дає змогу отримати порошкоподібні матеріали. Після подрібнення та сепарування отримуємо харчову фракцію дисперсністю  $<0,5$  мм. [1,2].

При розгляді технологічних властивостей зразків функціональних порошків, одержаних з овочів та фруктів важливе значення має рівноважна вологість, яка визначає не тільки умови їх зберігання, а і кінцевий вологовміст при сушінні. Це важливо перш за все з точки зору економних витрат енергетичних ресурсів при сушінні та використанні виробничих потужностей.

Зразки порошків адсорбують з навколишнього повітря воду на зовнішній і внутрішній сильно розвиненій поверхні, оскільки їх поверхня має вільну енергію. Адсорбція на поверхні твердого дисперсного тіла йде мимовільно і до тих пір, поки не встановиться динамічний рівноважний стан цієї термодинамічної системи.

Через різноманітність форм зв'язку вологи з дисперсними матеріалами, аналітична будова ізотерм сорбції дисперсних матеріалів ускладнена. Поки рівняння ізотерми сорбції виведено аналітично, тільки для ізотерм Ленгмюра капілярно-пористих тіл. Тому ми, як і більшість дослідників, вибрали емпіричний шлях визначення рівноважної вологості.

Вміст водяної пари в повітрі прийнято визначати відносною вологістю повітря  $\varphi$ , рівною відношенню парціального тиску пари повітря  $p$  до тиску насичення  $p_{нас}$  при тій же температурі над водою.

Оскільки в довідковій літературі наведена залежність тиску водяної пари над розчинами сірчаної кислоти в мм рт. ст. від концентрації  $H^2SO^4$  у вагових %, проведений перерахунок даного тиску на відносну вологість  $\varphi$  за формулою 1:

$$\varphi = \frac{p}{p_s} \quad (1)$$

де  $p$  та  $p_s$  – парціальний тиск та тиск насичення водяної пари при тиску 760 мм рт.ст. і температурах, що охоплюють можливий діапазон їх зміни в експерименті.

У довідниках в табличній формі наведена залежність тиску водяної пари над розчинами від вагових %  $H_2SO_4$  в розчині (тобто від її концентрації), а також залежність вмісту  $H_2SO_4$  в грамах на 100 г розчину і на 1 літр розчину від густини розчину в  $г/см^3$  при  $20\text{ }^\circ C$  для кислоти густиною 1,8305.

Оскільки визначення рівноважної вологості комбінованих порошків треба було проводити в діапазоні відносної вологості повітря  $\varphi$  від 0,4 до 0,9, яка характерна для виробничих умов, були визначені необхідні характеристики сірчаної кислоти та підготовлено розчини відповідно до таблиці перерахунку [3].

Слідуючи техніці приготування розчинів було підготовлено 6 розчинів для 6 різних  $\varphi$  в діапазоні від 0,4 до 0,9. Експерименти проводились при температурі навколишнього повітря, яка коливалась в межах  $20\text{ }^\circ C$ .

Оскільки рівноважну вологість доцільно розраховувати по відношенню до абсолютно сухої маси матеріалу, тому що ця величина, в процесах сорбції-десорбції і сушки-зволоження, залишається незмінною, то при обробці всіх експериментальних даних поглинена матеріалом волога була віднесена до маси абсолютно сухого матеріалу. Таким чином, були одержані ізотерми сорбції  $W_{cp} = f(\varphi)$  у дослідженому інтервалі відносної вологості повітря та криві кінетики сорбції  $W_c = f(\tau)$ , оскільки у схемі експерименту передбачена також можливість фіксування зміни вологості зразків у часі.

Отримані в результаті дослідів кінетичні криві адсорбції водяної пари зразками комбінованих порошків дисперсність яких  $d < 0,5$  мм при співвідношенні компонентів зазначених для кожного порошку зображені на рис. 1 - 4.

Аналіз експериментальних даних показує, що всі криві мають однаковий характер. В межах досліджуваної вологи повітря, вони повернені до випуклості  $W$ , що свідчить про полімолекулярність адсорбції.

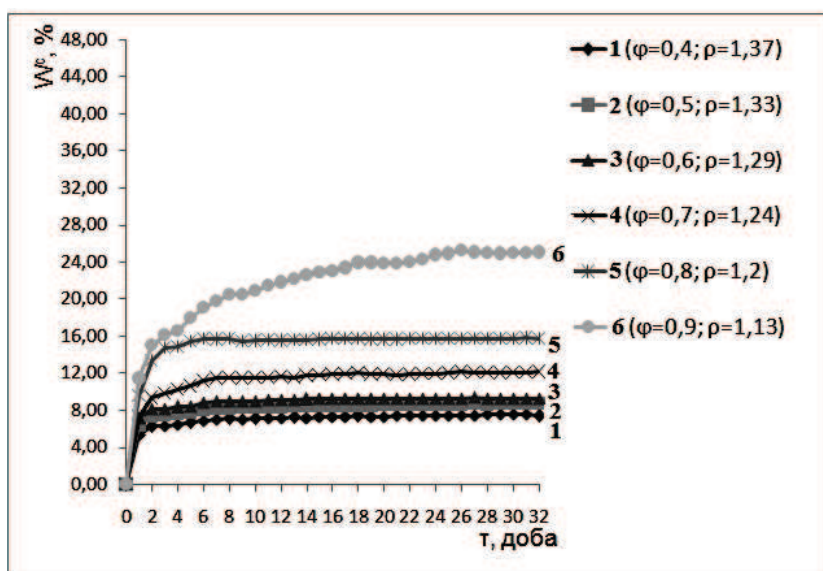


Рис. 1 – Кінетичні криві адсорбції водяної пари антиоксидантного горохово-морквяного порошку

Рівноважний стан для горохово-морквяного порошку при  $\varphi = 0,4 - 0,6$  встановлюється на 7 – 8 добу, відповідно при  $\varphi = 0,7 - 0,8$  на 9 – 10 добу, при  $\varphi = 0,9$  на 25 добу.

Рівноважна вологість горохово-морквяного порошку змінюється в широкому діапазоні вологості матеріалу від  $W_{cp} = 8\%$  при  $\varphi = 0,4$  до  $W_{cp} = 24\%$  при  $\varphi = 0,9$  (рис. 1).

Для квасолево-морквяного порошку при  $\varphi = 0,4 - 0,6$  рівноважний стан встановлюється на 7 – 8 добу. При  $\varphi = 0,7$  на 8 добу, при  $\varphi = 0,8$  на 14 добу, при  $\varphi = 0,9$  на 24 добу (рис. 2).

Для вівсяно-морквяного порошку при  $\varphi = 0,4 - 0,6$  рівноважний стан встановлюється на 6 – 7 добу. При  $\varphi = 0,7$  на 9 добу, а при  $\varphi = 0,8$  на 22 добу, а при  $\varphi = 0,9$  на 25 добу (рис. 3).

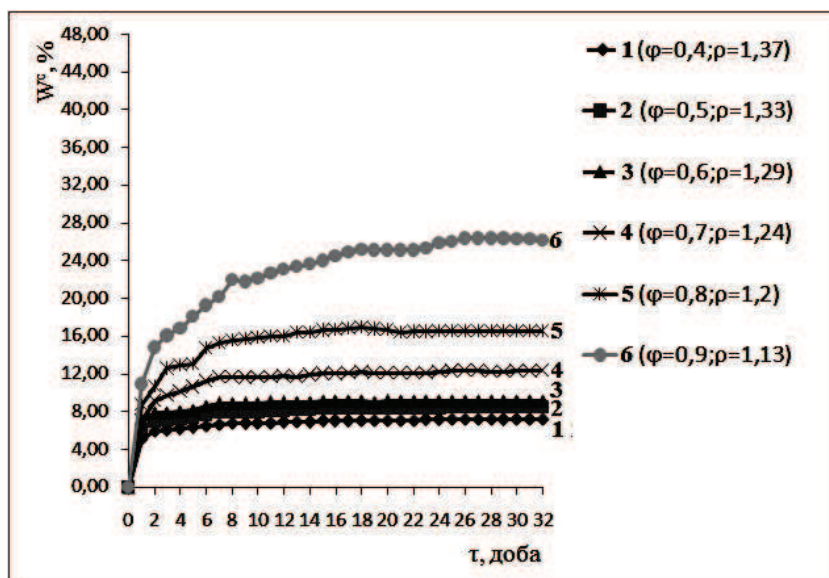


Рис. 2 – Кінетичні криві адсорбції водяної пари антиоксидантного квасолево-морквяного порошку

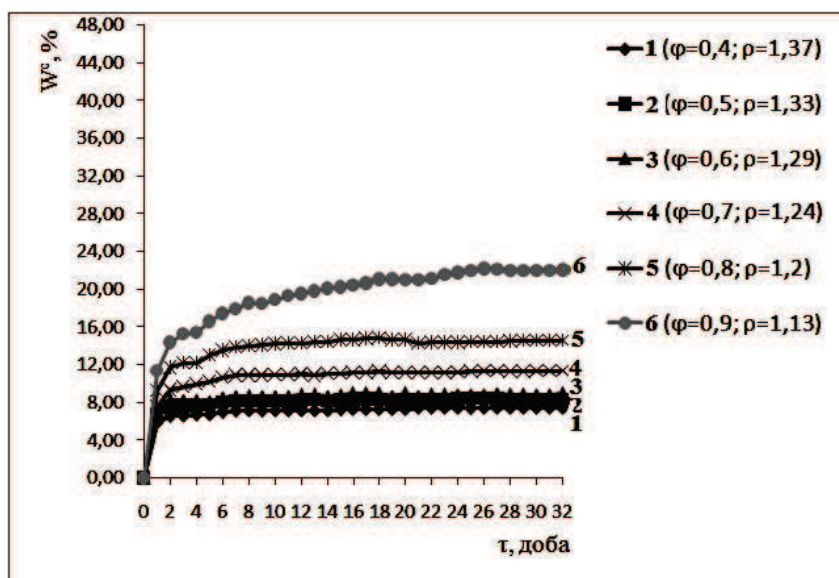


Рис. 3 – Кінетичні криві адсорбції водяної пари антиоксидантного вівсяно-морквяного порошку

На підставі експериментальних даних про рівноважний вологовміст були побудовані ізотерми адсорбції водяної пари функціональними порошками (рис. 4).

Порівняння ізотерм адсорбції монопорошку та комбінованих функціональних порошків (рис. 5), що не дивлячись на однаковий характер цих ізотерм, які показують, що ці матеріали представляють собою капілярно-пористі колоїдні тіла і маючи однакові форми зв'язування вологи (адсорбційну, капілярну та осмотичну) в той же час суттєво відрізняються один від одного рівноважною вологістю. Що можна пояснити їх різним хімічним складом.

З рис. 4 видно, що рівноважна вологість композиційних антиоксидантних порошків значно нижча, ніж морквяного моно порошку, причому найбільш гігроскопічний селеро-морквяний порошок. Рівноважна вологість якого становить при  $\varphi = 0,6$  –  $W_{cp} = 12,5$  %, а найменш гігроскопічний вівсяно-морквяний порошок рівноважна вологість якого при  $\varphi = 0,6$  –  $W_{cp} = 9$  %.

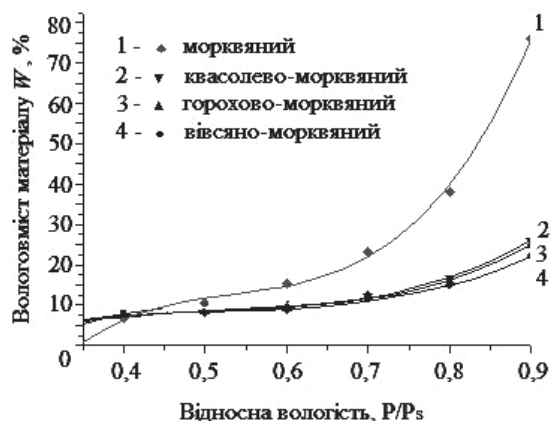
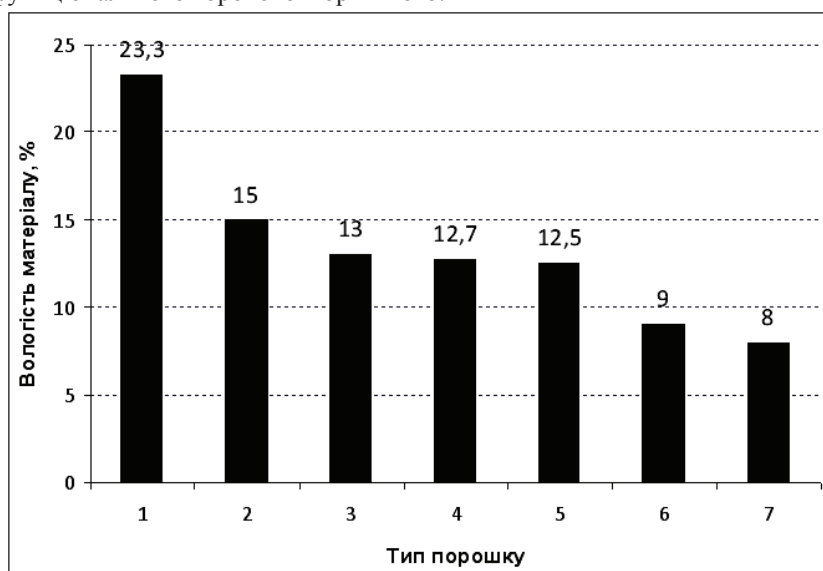


Рис. 4 – Ізотерми адсорбції водяної пари антиоксидантних морквяномісних порошків в порівнянні з морквою

На рис. 5 показані рівноважні вологості моно та комбінованих порошків при відносній вологості повітря  $\phi = 0,7\%$ . Рівноважна вологість морквяного та горохового монопорошків на 61 % та 31 % відповідно більше, ніж функціонального горохово-морквяного.



1 – морквяний; 2 – кваселевий; 3 – гороховий; 4 – вівсяний; 5 - квасолево-морквяний; 6 - горохово-морквяний; 7 - вівсяно-морквяний

Рис. 5 – Порівняння рівноважної вологості харчових моно- та комбінованих порошків

Ця тенденція до зменшення рівноважної вологості спостерігається у всіх антиоксидантних порошках: так вівсяно-морквяний порошок має рівноважну вологість на 37% менше ніж монопорошок вівсяний і на 66 % менше ніж морквяний порошок.

**Висновки**

Виходячи з ізотерм адсорбції (рис. 5) видно, що найменшу рівноважну вологість  $W_{ср} = 8\%$  з комбінованих порошків має вівсяно-морквяний, а найвищу рівноважну вологість при  $\phi = 0,6 - 0,7$  мають монопорошки. В розроблених композиційних порошках рівноважна вологість зменшується, що призводить до покращення умов зберігання цих порошків.

Очевидно, що під час переробки розроблених антиоксидантних композицій на нанорівні відбувається взаємодія хімічних компонентів сировини. Це призводить до утворення композицій з новими властивостями, які мають кращі характеристики, ніж моносировина, з яких вони утворені.

При зберіганні композиційних порошків з метою збереження їхніх технологічних властивостей рекомендується підтримувати в приміщенні наступні умови: вологість повітря до 60 % при температурі 20 – 25 °С, або герметично їх запакувати.

### Література

1. Патент України № 102358 МПК А23 L1/27, А23 L1/212, С09 В61/00. Спосіб одержання буряково-лимонного антиоксидантного барвника / Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Гетманюк К.М., Самойленко О.П.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики. – Заявка № а201211386; заявл. 02.10.2012; видано 11.03.2013; опубл. 25.06.2013; Бюл. №12. – 4 с.
2. Патент України 57176, МПК А23L 1/212. Спосіб одержання квасолево-морквяного порошку / Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики. - №201009834, заявл.09.08.10; опубл. 10.02.11; Бюл. № 3 – 4 с.
3. Снежкін Ю.Ф., Боряк Л.А., Хавин А.А. Энергосберегающие теплотехнологии производства порошков из вторичных сырьевых ресурсов // К: Наукова думка, – 2004. –228 с.

УДК : 66.081.3

## СТАТИКА І КІНЕТИКА АДСОРБЦІЇ ОКСИПРОПІОНОВОЇ КИСЛОТИ ПРИРОДНИМ ЦЕОЛІТОМ

Гивлюд А.М., аспірант, Сабадаш В.В., канд. техн. наук, доцент,  
Гумницький Я.М., д-р техн. наук, професор  
Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів

*Досліджено кінетику адсорбції оксіпропіонової кислоти природним цеолітом з метою очищення стічних вод молокопереробних підприємств. Представлено ізотерму адсорбції та визначено кінетичні параметри в умовах механічного перемішування.*

*The kinetics of adsorption of hydroxypropionic acid on natural zeolites for wastewater treatment of milk processing plants was investigated. The isotherm of adsorption and kinetic parameters defined in conditions of mechanical mixing are presented.*

Ключові слова: статика, кінетика адсорбції, коефіцієнт масовіддачі.

**Постановка проблеми** і її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями.

Аналіз стану очищення стічних вод молокопереробної промисловості та численних літературних джерел свідчить про те, що застосовані в нашій країні технічні рішення для очищення стічних вод не забезпечують ефективного видалення біологічних забруднень до потрібного гранично допустимого значення концентрації для скиду у водойму. Такі води, скинуті без належного очищення в природні водоймища, можуть призвести до їх евтрофікації. Це пов'язано із взаємодією при окисненні органічних компонентів з розчиненим у воді киснем. Крім того, органічні кислоти (передовсім оксіпропіонова), що утворюються в процесі скисання молока та інших кисломолочних продуктів, підкислюють стічні води до рН близько 3. Велике значення в останні роки для очищення води надається природним сорбентам або сорбентам, отриманим на основі природних матеріалів. Використання природних дисперсних сорбентів для очищення стічних вод забруднених стічними водами промислових підприємств в досить повній мірі обгрунтовано в багатьох наукових роботах [1,2]. Проте значний інтерес представляє кінетика процесу адсорбції оксіпропіонової кислоти на природних сорбентах. В попередніх публікаціях приведено дані досліджень кінетики адсорбції ряду промислових забруднень мінеральними сорбентами. Зокрема представлено адсорбцію розчину купрум у апараті з мішалкою відповідно до розмірів зерен цеоліту. Авторами наведено залежності зміни концентрації іонів  $\text{Cu}^{2+}$  з часом при різному числі обертів та розмірі часточок адсорбенту. Розраховано коефіцієнти масовіддачі для зовнішньодифузійної області даного процесу[3]. У статті [4] приведено результати адсорбційного вилучення фосфат іонів при сумісній присутності фосфатів та амонію. При цьому, за наявності аморфних чи кристалічних структур нерозчинних фосфатів, утворених в процесі хемосорбції фосфат іонів та амонію, що сприяє переходу процесу у внутрішньодифузійну область.

### Мета роботи

Вивчення сорбційно-кінетичних властивостей природних сорбентів стосовно оксіпропіонової кислоти та порівняння їх значень з теоретичними, визначених на підставі теорії локальної ізотропної турбулентності.

**Експериментальні дослідження сорбційної ємності цеоліту щодо оксіпропіонової кислоти.** Експериментальне дослідження адсорбції молочної кислоти проводили в статичних умовах. Концентрацію молочної кислоти визначали перманганатометричним методом, рН – за допомогою іономіра ИМ-160.