

циклі. Зокрема, цей аналіз можна виконати на основі всього однієї ізотерми або ізобари адсорбції. Важливо тільки, щоб експериментальні дані були одержані в діапазоні значень  $K_1 \leq \Delta F \leq K_2$ .

На першій стадії аналізу ми перевірили здійсненність співвідношення (1) для низки природних і синтетичних адсорбентів, які розглядаються як перспективні для застосування в охолоджувальних пристроях адсорбційного типу [6]. Для всіх досліджених адсорбентів значення рівноважної адсорбції, заміряні експериментально і розраховані із співвідношення (2), співпадають з точністю 10–15 %. Задовільне узгодження цих величин указує на принципову можливість прогнозування ефективності роботи цих адсорбентів в системі охолодження, виходячи із зміряної для них ізотерми адсорбції води і співвідношення Полянї.

Таким чином, в роботі запропонований простий алгоритм підбору адсорбентів, перспективних для адсорбційних холодильників, які використовують джерела тепла з низьким температурним потенціалом (теплові відходи, сонячну енергію тощо). Цей підхід заснований на принципі температурної інваріантності Полянї. Для такого аналізу може бути використаний обмежений набір експериментальних даних, зокрема одержаних в ізотермічних умовах. Грунтуючись на цьому підході, аналогічні критерії перспективності адсорбенту можна виробити і для інших адсорбційних теплових пристроїв — теплових насосів, систем виробництва льоду, глибокого охолодження та ін. При цьому кожен пристрій і його джерело тепла задають особливі вимоги до оптимального адсорбенту, що відповідають відповідним температурним параметрам адсорбційного циклу.

#### Висновки

У роботі запропонований простий алгоритм підбору адсорбентів, перспективних для адсорбційних холодильників, які використовують джерела тепла з низьким температурним потенціалом (теплові відходи, сонячну енергію тощо). Цей підхід заснований на принципі температурної інваріантності Полянї. Для такого аналізу може бути використаний обмежений набір експериментальних даних, зокрема одержаних в ізотермічних умовах. Показано, що перспективними для адсорбційних систем охолодження є адсорбенти, які мають велику різницю у вологовмісті між крайніми ізостерами робочого циклу.

#### Література

1. M.Polanyi, Trans. Faraday Soc., v.28, p.316 (1932).
2. M.M.Dubinin, V.F.Astakhov, Izv. Akad. Sci. USSR., Ser. Khim., 5 (1971).
3. M.Jaroniec, Carbon, 27, 77 (1989).
4. M.M.Dubinin, Adsorption in Micropores. J. Coll. and Interface Sci. 75, 34–499 (1980).
5. M.M.Dubinin, Progress in Surface and Membrane Science. Academic Press, New York 1975.
6. Чалаев Д. М., Аристов Ю. И. Оценка работы низкотемпературного адсорбционного холодильника: влияние свойств адсорбента воды // Теплоэнергетика. 2006. № 3. С. 73-77.

УДК 664.854

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКУ ЯБЛУЧНИХ ВИЧАВОК ПРИ СУШІННІ ІНФРАЧЕРВОНИМИ ПРОМЕНЯМИ

Дубковецький І.В., канд. техн. наук, Малежик І.Ф., д-р техн. наук,  
Веселовська Т.Є., канд. техн. наук  
Національний університет харчових технологій, м.Київ

*Наведено результати досліджень дисперсного складу порошку яблучних вичавок, висушених інфрачервоним випромінюванням.*

*The Broughted results of the studies of the dehydration apple infrared radiation.*

**Ключові слова:** дисперсні характеристики, інфрачервоне сушіння, яблучні вичавки.

Яблучні вичавки складають до 20 % при виробництві соків, що на більшості заводів є відходами виробництва. Їх можна зневоднювати і використовувати в якості добавок для різних галузей харчового виробництва, зокрема для виробництва хліба. Для зневоднення яблучних, виноградних і томатних вичавок з енергетичної точки зору найбільш доцільним є сушіння інфрачервоним випромінюванням, що дозволяє збільшити термін зберігання та підвищити якість продуктів.

Дисперсний склад має значний вплив на такі властивості порошку яблучних вичавок, як гігроскопічність і насипну масу. Дисперсний склад порошку визначали мікроскопічним та ситовим методом.

За допомогою світлової мікроскопії виконували дисперсійний аналіз порошків. Визначення розмірів частинок за допомогою світлового мікроскопа можна проводити прямим вимірюванням і методом підрахунку. Для проведення прямого вимірювання користуються окуляром – мікрометром з нанесеною шкалою, де інтервал між поділками становить 50 мкм. Дисперсійність порошку з яблучних вичавок визначали мікроскопічним методом за допомогою камери Горяєва при збільшенні у 120 разів. Підрахунок вели, орієнтуючись на те, що сторона малого квадрату камери Горяєва має 1/20 мм (50мкм). При мікроскопічному аналізі препарат порошку готували згідно вимог: частинки порошку повинні знаходитися в одній оптичній площині; кількість частинок має бути такою, щоб контури їх зображення не накладалися; кількість частинок в препараті має бути такою, щоби проба у повній мірі відображала склад досліджуємої системи.

При приготуванні препарату не допускалося седиментаційного розділення системи. Дослідження проводили по фотографіям, отриманих шляхом мікрофотографування і збільшення об'єкту. У досліджуваних зразках (див. рис.1) частинки величиною 60 – 125 мкм становлять 63,09 %; 25 – 40 мкм – 12,98 %; 8 – 16 мкм – 23,98 %.

Отже отриманий порошок можна віднести до мікрогетерогенної (грубодисперсної) системи (розміри частинок 10<sup>-2</sup> – 10<sup>-3</sup> мм.) Діаграма дисперсійного складу порошку з яблучних вичавок представлена на рис. 2.

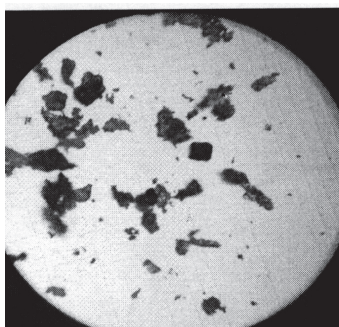


Рис. 1 – Фотографії, отримані шляхом мікрофотографування

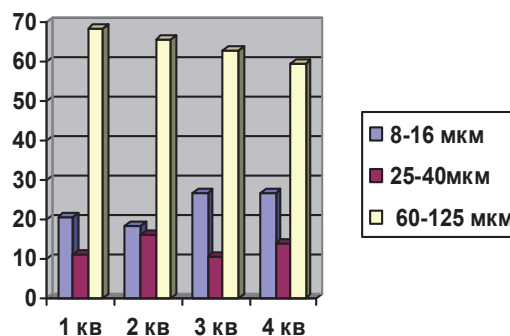


Рис. 2 – Дисперсний склад порошку з яблучних вичавок

Мікроструктурний аналіз порошку з яблучних вичавок показав, що середній діаметр гранул складає при E=3200 – 45мкм. Висушений порошок вийшов з високою сипучістю, криві розподілу частинок показано на рис. 3.

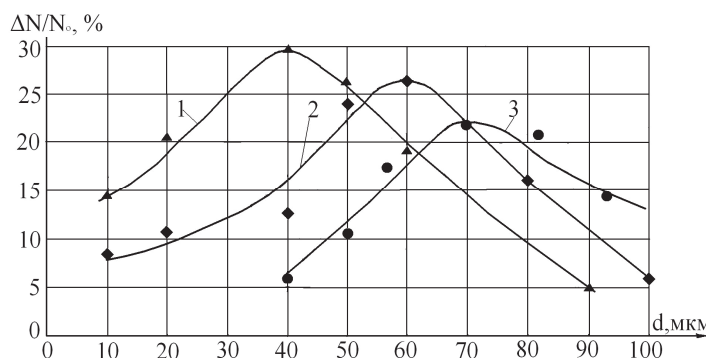
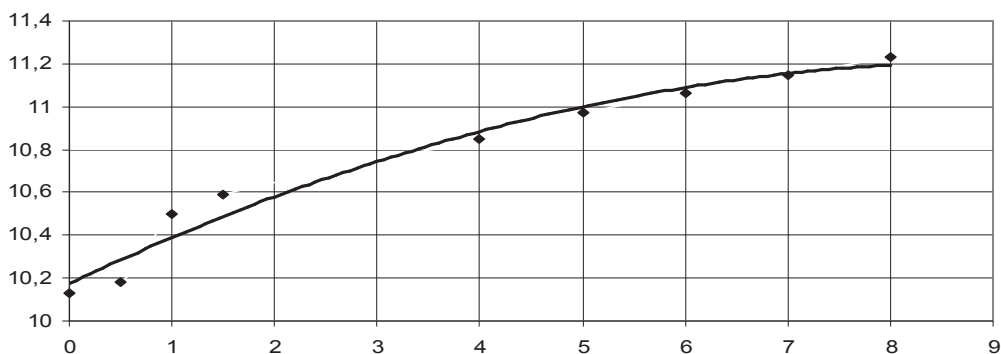


Рис. 3 – Диференційний розподіл частинок порошку з яблучних вичавок за розмірами при енергетичній опроміненості E=3200 та вологості W, %: 1 – 8; 2 – 13,65; 3 – 18

Аналізуючи крупність помелу порошку за ГОСТ 27560 ситовим методом, просіювання проводили через шовкові сита №35 і №43. Прохід сита №35 становив – 8-10 %; сита №43 – 80 %.

Висушені вичавки подрібнені на дезінтеграторі мають порошок з великою площею поверхні (7–9 м<sup>2</sup>/г). При великій поверхні порошки легко звожуються, що було доведено на прикладі порошку з яблучних вичавок. Гігроскопічність продуктів і термодинамічні параметри навколишнього середовища (відносна вологість і температура) призводять до того, що при транспортуванні і зберіганні продукту спостерігається злежування, комкування та погіршення якісних характеристик порошку з яблучних вичавок. Нами досліджувалася гігроскопічність порошку вимірюванням поточної маси з періодичністю один раз на добу. Наважку порошку поміщали у бюкс і ставили в ексікатор, на дно якого налита вода. Ексікатор закривали і щодня бюкси зважували на протязі 8 діб. Встановлено, що поглинання води порошком з яблучних вичавок зростає з часом (рис. 4.).



**Рис. 4 – Залежність вологопоглинальної здатності порошку з яблучних вичавок від тривалості зберігання**

Після апроксимації одержаних даних рівняння має вигляд:

$$w = -0,0125\tau^2 + 0,2273 \tau + 10,$$

де  $w$  – вологість порошку вичавок, %;

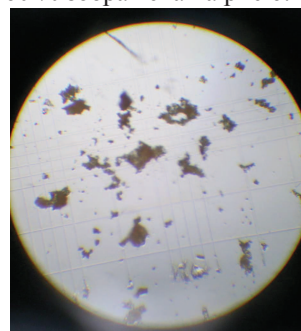
$\tau$  – тривалість зберігання, діб; коефіцієнт кореляції складає  $R^2 = 0,97$ .

Обробка кривої гігроскопічності (рис. 4) дозволила отримати графік зміни вологості від часу (рис. 5). При цьому встановлено, що швидкість поглинання води спадає з часом за степеневою залежністю і описується рівнянням:  $dw/d\tau = 0,6239 \cdot \tau - 1,0487$ , де коефіцієнт кореляції складає  $R^2 = 0,9645$ .

За зовнішнім виглядом колір порошку за 8 діб спостережень змінився від світло-коричневого до темно-коричневого і візуально по мікрофотографіям видно збільшення розмірів частинок порошку (рис. 6) на другу і шосту добу. Зміна зовнішнього вигляду порошку яблучних вичавок при збільшенні в 400 раз протягом трьох діб спостережень при відносній вологості повітря 60 % зображена на рис 6.



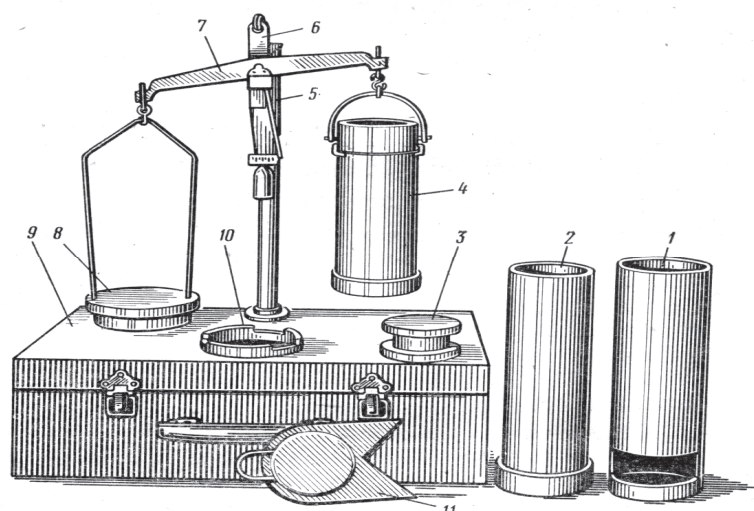
**Рис. 5**



**Рис. 6**

Насипна або об'ємна маса – це маса одиниці об'єму продукції (кг/м<sup>3</sup>) та залежить від об'єму вільного простору між окремими екземплярами, ступеню однорідності форми і розміру, забрудненості, а також пакувальних матеріалів.

Об'ємну масу встановлюють на приладі, який називається „пурка” моделі ПХ-1, згідно ГОСТ 7861-74, призначеному для визначення маси зерна в одному літрі. Загальний вигляд „пурки” представлений на рис. 7.



1 – насипний циліндр; 2 – наповнювач; 3 – падаючий вантаж; 4 – мірка; 5 – колонка терезів; 6 – підвіска; 7 – коромисло терезів; 8 – чашка для різноваг; 9 – ящик; 10 – гніздо для мірки; 11 – ніж

**Рис. 7 – Літрова пурка з падаючим вантажем**

В нашому випадку визначалася об'ємна маса сухих яблучних вичавок і порошку з яблучних вичавок. Визначення здійснювалося в наступному порядку. В щілину мірки, закріпленої в гнізді 10 на ящику 9, вставляють ніж 11 так, щоб коло на верхній площині ножа співпало з циліндричною поверхнею мірки. На ніж вкладають падаючий вантаж 3, після чого на мірку надягають наповнювач 2, а на нього – насипний циліндр 1, наповнений сухими вичавками (в першому визначенні) і порошком з яблучних вичавок (в другому визначенні). Далі обережно відкривається заслонка воронки і продукт із насипного циліндра пересипається в наповнювач. Швидко виймають ніж з мірки, але так, щоб не було струшування мірки. Після того, як падаючий вантаж, а разом з ним і сушені вичавки або порошок із вичавок впадут у мірку, ніж знову вставляють у щілину до упору ручки ножа в стінку мірки. При цьому шматочки сушених вичавок, які лежать на шляху леза ножа, перерізаються. Пурку розбирають, знімають мірку разом з наповнювачем з гнізда і видаляють залишений на ножі продукт. З мірки знімають наповнювач, витягують з неї ніж. Мірку з продуктом підвішують до правого коромисла - 7 і за допомогою комплексу різноваг зважують з точністю до 500 мг.

Середня величина двох визначень об'ємної маси сухих яблучних вичавок становить  $228,5 \text{ г/дм}^3$  або  $228,5 \text{ кг/м}^3$ ; порошку з яблучних вичавок –  $614,7 \text{ г/дм}^3$  або  $614,7 \text{ кг/м}^3$ . Визначення об'ємної маси сухих яблучних вичавок і порошку з яблучних вичавок показало, що компактність пакування дає можливість економити на тароматеріалах і транспортуванні.

Інфрачервоне опромінення максимально зберігає форму, смак, запах продуктів. Сушіння по цій технології дозволяє зберегти вміст вітамінів і інших біологічно активних речовин в сухому продукті на рівні 80-90 % від вихідного. При нетривалому замочуванні (15-20 хвилин) продукт, який пройшов ІЧ-сушіння відновлює свої натуральні властивості і може піддаватися любим видам обробки. До року сушені ІЧ-променями продукти при низькій вологості оточуючого середовища 60 – 65 % можна зберігати в негерметичній тарі (крафт-мішки, фанерні барабани). При зберіганні слід підтримувати температуру 0 - 10°C. В таких умовах зберігання продукти втрачають лише 10-15 % вітамінів. При підвищенні вологості повітря проходить зволоження порошку і створюються умови для розвитку мікроорганізмів, що призводить до псування продукції. Також небажано зберігати дану продукцію при підвищеній температурі 25°C і більше, так як активізується процес меланоїдиноутворення, що викличе потемніння і псування яблучного порошку. В герметичній упаковці і при низькій температурі сухий продукт може зберігатися до двох років.

**Висновок.** Встановлено доцільність використання інфрачервоного сушіння шкурок і м'якоті яблучних вичавок.

#### Література

1. Красников В.В. Кондуктивная сушка. – М.: Энергия, 1973. – 228 с.
2. Спосіб зберігання яблучних вичавок. / Т.Є. Веселовська, І.Ф. Малежик, Л.О. Косоголова // Наук. пр. НУХТ. – 2002. – № 12. – с. 86.