

УДК 664.72:544.034

Гапонюк І.І., д.т.н.

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ СОРБЦІЇ ВОЛОГИ ЗЕРНИНАМИ РІЗНИХ РОЗМІРІВ

Вступ. Для приведення зерна в стійкий стан зберігання його вологість зменшують до так називаємого критичного стану, або вологовмісту. Проте залежно від параметрів довкілля зерно, як капілярно-пористе колоїдне тіло, неперервно перебуває в процесі динамічного вологообміну із довкіллям. За підвищеної температури та вологості довкілля зерно може сорбувати вологу і його вологість може перевищувати критичний вологовміст.

Зважаючи на особливості структурної будови каркасу тіла зернини, швидкість внутрішньокапілярної дифузії води розраховують за коефіцієнтом внутрішньокапілярної дифузії α_m . Значення α_m є досить малими і для стандартних умов коливаються в межах $\alpha_m = (0,3 \dots 0,65) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. Тобто процеси сорбції-десорбції і внутрішньокапілярної дифузії є досить повільними для нормальних умов.

Актуальність. Сухе зерно може змінювати свою вологість в середовищі з перемінними параметрами температури, вологості й тиску довкілля. Для практичного застосування є важливим знати:

- а) швидкість сорбції води зерном за температур довкілля;
- б) особливості сорбції води тілом зернини різних розмірів.

В даній роботі викладено результати досліджень особливостей сорбції води зерном кукурудзи різних розмірів за різних значень температури довкілля.

Матеріали та методи. Прикладні дослідження, математичні, статистичні.

Результати та обговорення. Зазначені дослідження кінетики сорбції виконані за трьох різних значень температури довкілля - 20 °С, 30 °С і 40 °С із зерном трьох фракцій на кафедрі технології зберігання і переробки зерна. Зерно кукурудзи урожаю 2015 року очищали й поділяли на фракції за розміром на лабораторному ситовому сепараторі. Крупну фракцію (КФ) отримували сходом з сита Ø12, середню (СФ) – проходом Ø12 і сходом Ø6 і дрібну (ДФ) – проходом сита Ø6 мм. Вихідні дані для зерна різних фракцій представлено в табл.1.

Таблиця 1 – Вихідні дані зернин кукурудзи різних розмірів

Показники	Од.виміру	Зерно крупної фракції	Середньої фракції	Дрібної фракції
Вологість W_0 ,	%	11,8	11,8	11,8
Маса 1000 зерен,	г	372	203	108
Об'єм 1000 зернин,	см ³	310	180	90
Густина ρ ,	кг/м ³	1200	1190	1205

Кінематичні показники сорбції води зерном отримували прямими вимірами: початкову вологість в сушильній шафі СЕШ-3, а поточні показники перемінної вологості – по різниці мас із віднесенням на відносну масу. Інші показники – розрахунковим способом.

На рис.1 представлено кінетику сорбції води зерном кукурудзи крупної фракції при температурі довкілля 20 °С, 30 °С і 40 °С. На рис.2 представлено ту ж саму кінетику для зернин середньої фракції за тих же температур довкілля і на рис. 3 представлено ту ж кінетику для зерна кукурудзи дрібної фракції за тих же параметрів довкілля.

Як видно із представлених залежностей зміни вологості зернин кукурудзи різних розмірів від температури довкілля, вологість перебуває в лінійній залежності від тривалості фазової (міжфазової) взаємодії, температури середовищ та в зворотній – від розмірів тіла

Кінетика сорбції вологи зерном кукурудзи

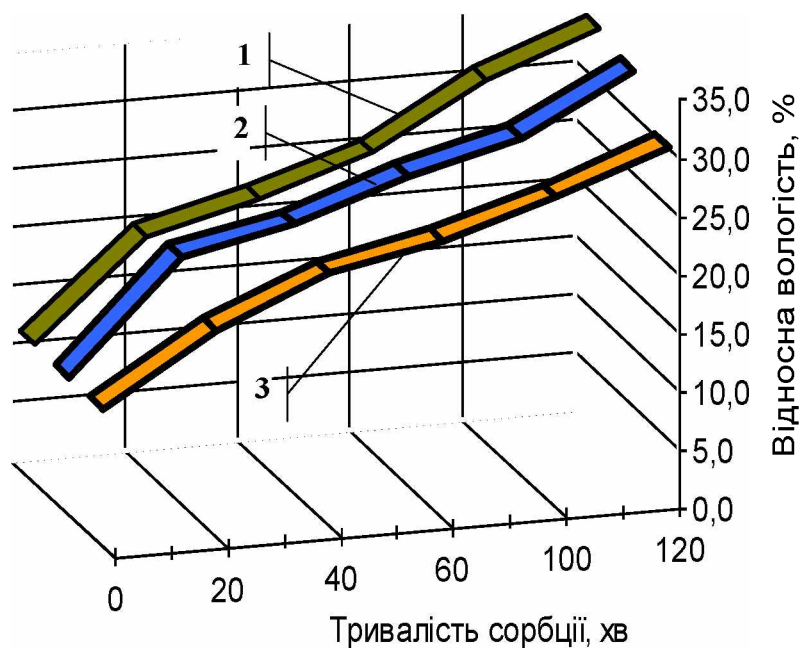


Рисунок 1 – Кінетика сорбції вологи зерном кукурудзи крупної фракції: 1 – при температурі 20 °С, 2 – при температурі 30 °С і 3 - при температурі 40 °С.

Кінетика сорбції вологи зерном кукурудзи середньої фракції

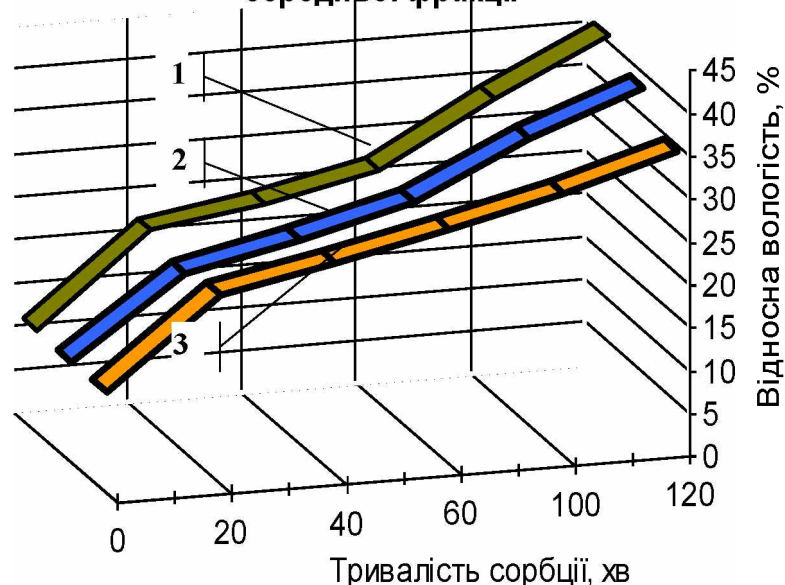


Рисунок 2 – Кінетика сорбції вологи зерном кукурудзи середньої фракції: 1 – при температурі 20 °С, 2 – при температурі 30 °С і 3 - при температурі 40 °С.

температури фазових середовищ на кожні 10°C інтенсивність сорбції вологи зерном зростає на 2,5...3,5 %/год. Більші значення інтенсивності сорбції вологи тілом зернини відповідають зернинам менших розмірів, менші значення – більшим (рис.1...3). Це знаходить своє пояснення в площі активної поверхні тіла.

зернин. В узагальненому вигляді кінетику вологості зернин можна описати рівнянням (1):

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = a \cdot \theta + \frac{b}{d} + c; \quad (1)$$

Для зерна кукурудзи крупних розмірів тіла зернин, підставивши коефіцієнти пропорційності, отримуємо напівемпіричні залежності кінетики вологості від тривалості взаємодії та температур довкілля 40 °С (2), 30 °С (3) і 20 °С (4):

$$W = 4,3 \cdot \tau + 9,4 \quad (2)$$

$$W = 3,9 \cdot \tau + 10,6 \quad (3)$$

$$W = 3,4 \cdot \tau + 9,9 \quad (4)$$

Для зерна кукурудзи середніх розмірів тіла зернин, аналогічні напівемпіричні залежності кінетики вологості для температур довкілля 40 °С (5), 30 °С (6) і 20 °С (7):

$$W = 5,3 \cdot \tau + 8,5 \quad (5)$$

$$W = 4,9 \cdot \tau + 8,6 \quad (6)$$

$$W = 4,0 \cdot \tau + 11,0 \quad (7)$$

Виконавши відповідні обчислення кінетичних залежностей для зернин невеликих розмірів кукурудзи, отримуємо відповідні напівемпіричні рівняння 8, 9 і 10 для температури фазових середовищ 40 °С (5), 30 °С (6) і 20 °С відповідно:

$$W = 7,8 \cdot \tau + 7,1 \quad (8)$$

$$W = 7,6 \cdot \tau + 7,3 \quad (9)$$

$$W = 6,2 \cdot \tau + 9,6 \quad (10)$$

Як видно із наведених даних, із зростанням

Дослідами та емпіричними залежностей встановлено залежність інтенсивності сорбційних процесів від розмірів тіла зернини для перемінних значень температури фазових середовищ. Для трьох фракцій зернин кукурудзи встановлено більші значення інтенсивності сорбції вологи середньої фракції від крупної на 3 % вологи за год, а дрібної – більші значення на 9 % вологи за год, порівняно із середньою фракцією, та 12 % вологи за годину – порівняно із крупною фракцією.

Тобто в діапазоні перемінних температур фазових середовищ 20...40 °С більш значимим фактором впливу на інтенсивність сорбційних процесів вологи є фактор розмірів тіла зернини. Це можна пояснити розміром границі взаємодії фазових середовищ. Із зменшенням розмірів тіла зернини відповідно зростає питома площа поверхні тіла (F/V):

$$F = \pi \cdot R \left[R + \sqrt{l^2 + R^2} \right] \quad (11)$$

$$\text{де } R = (a - b) / \pi + b / 2 \quad (12)$$

$$V = k \cdot a \cdot b \cdot l \quad (13)$$

Із зменшенням лінійних розмірів тіла зернини (a , b , l), відношення (F/V) прямо пропорційно зростає, а отже зростає питома надходження (сорбція) вологи.

За отриманих експериментальних досліджень для зерна кукурудзи, зі зменшенням лінійних розмірів тіла зернини більш як вдвічі ($K\Phi$ і $D\Phi$), - більш як вдвічі зростає питома надходження вологи, а отже відповідно і швидше змінюється вологість дрібнішого тіла.

Очевидно, що така тенденція залежності вологи зернини від розмірів його тіла може бути прийнятною і для плодів інших зернових культур.

Висновки

1. За умов взаємодії сухого зерна кукурудзи із максимально вологим середовищем крупна фракція зернин сорбує вологу повільніше від дрібніших за розміром зернин від 45 до 95 %. Так інтенсивність сорбції крупної фракції змінюється від 0,3 % до 0,6 % вологи за хвилину для перемінних температур від 20 до 40 °С, середньої фракції від 0,5 до 0,7 і дрібної фракції – від 0,6 до 0,8 % вологи за хвилину.

2. Отримано напівемпіричні рівняння дифузії вологи зернинами кукурудзи різних розмірів для різних значень температури фазових середовищ.

3. Встановлено, що із досліджуваних факторів впливу на сорбційні процеси найсуттєвішим є питома площа поверхні тіла зернини (F/V) та дещо меншого впливу – температура фазових середовищ.

4. З високою вірогідністю можна стверджувати, що отримана залежність змінення вологи зерна для тіла різних розмірів може бути використана і для кінетики сорбції плодів інших зернових культур.

Література

1. Гапонюк І.І. Сипкість зерна і сепарація // The Ukrainian Farmer.–липень 2013–С.80–81;
2. I.Garonyuk. ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF THE MOIST GRAIN SEPARATION // The second north end east European congress on food. – may 2013 – NUFT, Kyiv, Ukraine – P. 206;
3. Гросул Л.Г. Механіко-технологічні основи процесів та агрегатного устаткування для виробництва круп// Автореф. дис. доктора техн. наук – Одеса, ОДАХТ, 2002, – 37с.
4. Тищенко Л.М. Интенсификация сепарирования зерна// – Харьков: – Основа. – 2004. – 222 с.
5. Гапонюк І.І. Управління пошаровим в об'ємі капілярно-пористого тіла градієнтом вологи// Вісник ХНТУСГ ім. Василенка, Вип.166 "Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв", Харків – 2015, - С.208 – 213.