

## УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ СОРБЦІЇ ВОЛОГИ ЕНЕРГЕТИЧНИМ СТАНОМ ФАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ

**Вступ.** Рушійний потенціал вологообміну перебуває в залежності від ряду факторів із яких для конвективного вологообміну капілярно-пористих тіл слід виділити енергетичний стан вологи фазових середовищ, густину газів, різницю парціальних тисків, питому активну поверхню, швидкість трансформації форм зв'язку вологи і швидкість течії газового середовища.

Найбільшого практичного застосування отримав спосіб управління енергетичним станом вологи фазових середовищ та внутрішньо капілярним тиском в порах твердого тіла. В умовах неперервності масообміну другим чинником управляти вологообміном є вкрай ускладнено. Тому найбільш значимим для зазначених умов міжфазової взаємодії залишається енергетичний стан вологи фазових середовищ.

**Актуальність.** На швидкість тепло- масообмінних процесів капілярно-пористих тіл (КПТ) суттєво впливає стан рухомості шару цих тіл. За умов зберігання КПТ в нерухомому стані та міжфазової взаємодії з газами перемінних параметрів  $t_0$ ,  $\varphi_0$ ,  $d_0$  мають місце різні за інтенсивністю в шарі КПТ процеси міжфазових та міжфазових взаємодій. За наслідком цього в шарі КПТ виникають градієнти температури і вологи, і з огляду на низьку тепло- і вологопровідність шару КПТ ( $\lambda$ ,  $\lambda_m$ ) різниця пошарових температури і вологовмісту зростають. А це в свою чергу спричиняє різну біохімічну активність життєдіяльності зернин і спричиняє самозігрівання зерна. Для управління процесами тепло-масообміну задля забезпечення шару зерна від самозігрівання слід встановити вплив перемінних параметрів довкілля на швидкість міжфазового тепло-вологообміну та пошарову неоднорідність температури  $\theta_i$  і вологи  $W_i$ .

**Матеріали та методи.** Прикладні дослідження, математичні, статистичні.

**Результати та обговорення.** Зменшити похибку досліджень та підвищення рівня подальшого прикладного застосування результатів стендових результатів роботи, наукові дослідження кінетики міжфазового вологообміну (сорбції-десорбції) виконували за прямими замірами перемінної маси КПТ, а дифузій в тілі зернини – за перемінним коефіцієнтом зовнішнього тертя у відповідності із розробленою й експериментально перевіреною нами методикою [2]. За швидкістю змінення маси шару КПТ, процесів міжфазового вологообміну, розрахунковим шляхом встановлювали інтенсивність вологообміну ( $\Delta W/\delta\tau$ , %/с), а вологість поверхневого шару тіла зернини (КПТ) встановлювали за вищезазначеною методикою.

Швидкість сорбції змінювали температурою фазових середовищ від 10 до 40 °С.

Лінійні розміри зернин визначали за формулами проф. І.Р.Дударєва, для зернин пшениці 1, і проф. М.В.Остапчука, для зернин кукурудзи 2:

$$V = 0,15 \cdot l \cdot [1,6 \cdot a^2 + b \cdot (b + a)] \quad (1)$$

$$V = 0,55 \cdot a \cdot b \cdot l \quad (2)$$

Об'єм тіла зернини періодично уточнювали за прямими замірами способом витіснення рідини зернинами мірного циліндру.

Враховуючи вплив активної поверхні на процеси тепло-вологообміну, нами було вихідну партію зерна розділено на три фракції – крупну, середню та дрібну. Маса 1000 зерен цих фракцій становила 372, 203 і 108 г/1000<sub>зернин</sub> відповідно. Об'єм 1000 зернин цих фракцій відповідно становив 310, 180 і 90 см<sup>3</sup>/1000<sub>зернин</sub>. Вихідна відносна вологість всіх фракцій становила 11,8%.

Кінетику змін об'єму тіла зернини різних розмірів для температури фазових середовищ 20, 30 і 40 °С представлено в табл. 1 – 3.

До зернин крупних розмірів відносили зерно сходом сита Ø12, середньої – проходом сита Ø12 і сходом Ø6, дрібної – проходом сита Ø6 і сходом Ø3,5.

Із наведених в табл.1 даних кінетики об'єму тіла зернин різних фракцій видно, що зі збільшенням розмірів тіла зернини швидкість сорбції вологи зростає до 20 %, що знаходить своє пояснення в різному співвідношенні анатомічних (хімічних) складових тіла. Зі збільшенням розмірів тіла зростає відносний вміст (%) гідрофільних складових.

**Табл.1– Кінетика об'єму тіла зернин кукурудзи за температури фазових середовищ 20°C**

Тривалість зволоження, хв	Крупна фракція				Середня фракція				Дрібна фракція			
	W, %	об'єм 10 зернин, см <sup>3</sup>	приріст ΔW, %	швидкість сорбції ΔW/Δt, %/хв	W, %	об'єм 10 зернин, см <sup>3</sup>	приріст ΔW, %	швидкість сорбції ΔW/Δt, %/хв	W, %	об'єм 10 зернин, см <sup>3</sup>	приріст ΔW, %	швидкість сорбції ΔW/Δt, %/хв
0	12	3,1	0	0	11,8	1,8	0	0	11,8	0,9	0	0
20	17,7	3,3	5,9	0,3	22,1	2,0	10,3	0,5	22,9	1,0	11,1	0,6
40	21,7	3,4	9,9	0,5	24,6	2,0	12,8	0,6	32,2	1,2	20,4	1,0
60	23,6	3,5	11,8	0,6	27,6	2,1	15,8	0,8	36,8	1,2	25,0	1,3
100	26,6	3,5	14,8	0,4	30,5	2,1	18,7	0,5	39,6	1,2	27,8	0,7
120	30,1	3,7	18,3	0,5	34,5	2,2	22,7	0,6	44,2	1,4	32,4	0,8

Таж сама закономірність зв'язку інтенсивності водообміну характерна для зернин різних фракцій і для інших температур (енергій фазових середовищ) 30°C (табл.2) і 40°C (табл.3).

**Табл.2 – Кінетика об'єму тіла зернин кукурудзи за температури фазових середовищ 30°C**

Тривалість зволоження, хв	Крупна фракція				Середня фракція				Дрібна фракція			
	W, %	об'єм 10 зернин, см <sup>3</sup>	приріст ΔW, %	швидкість зволоження ΔW/Δt, %/хв	W, %	об'єм 10 зернин, см <sup>3</sup>	приріст ΔW, %	швидкість зволоження ΔW/Δt, %/хв	W, %	об'єм 10 зернин, см <sup>3</sup>	приріст ΔW, %	швидкість зволоження ΔW/Δt, %/хв
0	12	3,4	0	0	12	1,9	0	0	11,8	1	0	0
20	21,3	3,7	9,5	47,6	20,9	2	9	46	25,6	1,1	13,8	69
40	23,2	3,7	11,4	28,5	23,8	2,1	12	30	31,1	1,1	19,3	48
60	26,5	3,8	14,7	24,5	27,2	2,2	15	26	39,3	1,2	27,5	46
100	28,9	3,8	17,1	17,1	33,4	2,2	22	22	43,0	1,3	31,2	31
120	33,8	3,9	22,0	15,7	38,2	2,4	26	19	53,1	1,4	41,3	29

Аналізуючи динаміку інтенсивності міжфазового вологообміну для різних енергетичних станів фазових середовищ, можна відмітити, що з підвищенням температури на кожні 10 °С інтенсивність зростає на 20 – 25 %.

Табл.3 – Кінетика об'єму тіла зернин кукурудзи за температури фазових середовищ 40°С

Тривалість зволоження, хв	Крупна фракція, (Сх. Ø12)				Середня фракція, (Сх. Ø6)				Дрібна фракція, (Сх. Ø3,5)			
	W, %	об'єм 10 зернин, см³	приріст ΔW, %	швидкість зволоження ΔW/Δτ, %/хв	W, %	об'єм 10 зернин, см³	приріст ΔW, %	швидкість зволоження ΔW/Δτ, %/хв	W, %	об'єм 10 зернин, см³	приріст ΔW, %	швидкість зволоження ΔW/Δτ, %/хв
0	11,8	3,3	0	0	12	1,8	0	0	11,8	0,9	0	0
20	20,2	3,4	0,1	0,5	22,4	2	0,2	1,0	26,3	1,1	0,2	1,0
40	22,7	3,5	0,2	0,5	24,4	2	0,2	0,5	30,9	1,1	0,2	0,5
60	25,7	3,7	0,4	0,7	27,3	2,1	0,3	0,5	39,1	1,2	0,3	0,5
100	31,1	3,8	0,5	0,5	34,5	2,3	0,5	0,5	45,4	1,4	0,5	0,5
120	34,7	4	0,7	0,5	40,8	2,4	0,6	0,4	53,6	1,5	0,6	0,4

Для зерна кукурудзи крупних розмірів тіла зернин, підставивши коефіцієнти пропорційності, отримаємо напівемпіричні залежності кінетики вологості від тривалості взаємодії та температур довкілля 40 °С (3), 30 °С (4) і 20 °С (5):

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

$$W = 3,9 \cdot \tau + 10,6 \quad (4)$$

$$W = 3,4 \cdot \tau + 9,9 \quad (5)$$

Для зерна кукурудзи середніх розмірів тіла зернин, аналогічні напівемпіричні залежності кінетики вологості для температур довкілля 40 °С (6), 30 °С (7) і 20 °С (8):

$$W = 5,3 \cdot \tau + 8,5 \quad (6)$$

$$W = 4,9 \cdot \tau + 8,6 \quad (7)$$

$$W = 4,0 \cdot \tau + 11,0 \quad (8)$$

Виконавши відповідні обрахунки кінетичних залежностей для зернин невеликих розмірів кукурудзи, отримаємо відповідні напівемпіричні рівняння 9, 10 і 11 для температури фазових середовищ 40 °С (5), 30 °С (6) і 20 °С відповідно:

$$W = 7,8 \cdot \tau + 7,1 \quad (9)$$

$$W = 7,6 \cdot \tau + 7,3 \quad (10)$$

$$W = 6,2 \cdot \tau + 9,6 \quad (11)$$

Як видно із наведених даних, із зростанням температури фазових середовищ на кожні 10 °С інтенсивність сорбції води 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.

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 питоме 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 міжфазової взаємодії нерухомого шару КПТ різних розмірів тіл із найкрупніша фракція сорбує вологу повільніше від дрібніших за розміром зернин від 45 до 95 %.

2. З підвищенням енергетичного стану фазових середовищ інтенсивність міжфазової взаємодії для досліджуваних умов зростала на 20 % на кожні 10 °С підвищення температури.

3. 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.Gaponyuk. 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.