

УДК 664.72:544.034

Гапонюк І.І., д.т.н.

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

ДИФУЗИЯ ВОЛОГИ І ТЕПЛОТИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Вступ. Більшість технологічних процесів післязбиральної обробки і зберігання зерна пов'язані із дифузією вологи в тілі зернини та на границях фазових середовищ. Знаючи закономірності переміщення вологи в тілі зернини (шару зерна) і теплоти, фазового та міжфазового вологообміну можна керувати вологістю тіла зернини (шару зерна) та тривалістю процесу вологообміну, а отже і організувати технологію заданого управління вологістю і температурою зерна.

Актуальність. Процеси дифузії вологи в зерні окремих культур добре досліджені науковцями для стаціонарних умов. Встановлено коефіцієнти пропорційності в емпіричних рівняннях дифузії, тобто коефіцієнти дифузії вологи в капілярах капілярно-пористих колоїдних тілах. Досліджено вплив факторів перемінної вологи, температури та розмірів тіла зернини на коефіцієнт внутрішньокапілярної дифузії. Проте ці досліджені закономірності мають обмежене практичне застосування оскільки їх важко пов'язати із реальними умовами вологообміну для шару зерна товщиною 0,1...0,4 м, перемінного значень вологовмісту і температури фазових середовищ в шарі зерна.

В даній роботі викладено результати аналітичних досліджень дифузії вологи в капілярно-пористих колоїдних тілах різного хімічного складу, температури, вологості й розмірів тіла. Результати роботи можуть бути використані для прикладного застосування.

Матеріали та методи. Дифузія вологи, капілярно-пористі колоїдні тіла, математичні, статистичні, аналітичні.

Результати та обговорення. Найбільш докладніше представлені результати дослідження особливостей значень коефіцієнта внутрішньокапілярної дифузії від хімічного складу (культури) та вологості тіла зернини в роботах Рафаловича і Єгорова. В узагальненому вигляді ці результати досліджень зручно представив А.С. Гінзбург [1] в табл. 1

Таблиця 1 – Теплофізична характеристика зернового шару
(за Рафаловичем і Єгоровим)

Культура	Вологість на суху речовину, %	Об'ємна маса ρ , кг/м ³	Питома теплоємність c , ккал/(кг·град)	Коефіцієнт температуропровідності $\alpha \cdot 10^4$ м ² /год	Коефіцієнт теплопровідності λ , ккал/(м·год·град)
Пшениця м'яка	11,1	750	0,42	3,69	0,116
Пшениця	10	--"	0,35	3,0	0,080
	15	--"	0,40	3,25	0,090
	20	--"	0,45	3,50	0,100
	25	--"	0,50	--	0,110
Пшениця	0,7	770	--	3,34	--
	11,5	780	--	3,08	--
	16,8	765	--	2,95	--
	25,5	743	--	2,88	--
Кукурудза	0,9	755	--	3,67	--
	10,9	743	--	3,38	--
	25,2	725	--	3,13	--
	32,8	710	--	3,20	--
Кукурудза гібрид	13,8	775	0,353	14,0	0,382
	20,8	740	0,483	12,2	0,444
	29,2	755	0,490	11,1	0,490

Для зерна пшениці різного вологовмісту та температури Казаков Є.Д. наводить дані, представлені в табл.2:

Таблиця 2 – Значення коефіцієнту внутрішньої дифузії вологи для зерна пшениці ($\alpha_m \cdot 10^{10}$, м²/с)

Вологовміст u , кг/кг	Температура, °К (°С)		
	293 (20)	313 (40)	328 (55)
0,44	1,72	6,03	14,5
0,42	1,70	5,86	14,0
0,40	1,70	5,70	13,4
0,38	1,67	5,53	12,8
0,36	1,67	5,36	12,2
0,34	2,87	9,0	20,2
0,33	3,81	11,80	26,4
0,31	3,31	8,0	4,9
0,29	2,50	4,89	7,9

Нікітіна Л.М. для зерна пшениці різного вологовмісту отримала відмінні дані коефіцієнта дифузії вологи від вище наведених даних Казакова Є.Д. (табл.3)

Таблиця 3 – Значення коефіцієнту внутрішньої дифузії вологи для зерна пшениці

Вологовміст u , кг/кг	$\alpha_m \cdot 10^9$, м ² /с
0,131	3,77
0,15	2,5
0,20	0,33
0,25	0,11
0,27	0,10

Значно відмінні від викладених в таблиця 2 і 3 коефіцієнти внутрішньокапілярної дифузії вологи отримали Шубін А.С, Ленський А.А. та Меленевська Н.М. при використанні радіоактивного гідрогену для зерна жита, ячменю та вівса викладених в табл.4:

Таблиця 4 – Значення коефіцієнту внутрішньої дифузії вологи для зерна жита, ячменю та вівса

Вологовміст u , кг/кг	$\alpha_m \cdot 10^9$, м ² /с
0,793	1,84
0,673	0,72
0,638	0,572
0,473	0,0326
0,400	0,0268
0,292	0,0160
0,160	0,0143
0,113	0,0495

Більш розгорнуті дослідження з встановлення коефіцієнта внутрішньої дифузії α_m для плодів різних зернових культур за даними Нікітіної та Кучмель представлені в табл.5. Ці результати перекликаються із наведеними в таблицях 2 і 3.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнту внутрішньої дифузії вологи для плодів зернових культур (за Нікітіної та Кучмель)

Культура	\bar{u} , кг/кг	Θ , °С	$\alpha_m \cdot 10^8$, м ² /с	Культура	\bar{u} , кг/кг	Θ , °С	$\alpha_m \cdot 10^8$, м ² /с
Пшениця	0,13	20	0,377	Овес	0,13	30	2,5
	0,15		0,250		0,15		1,5
	0,20		0,033		0,20		0,167

Продовження Таблиці 5

	0,25		0,011		0,25		0,083
	0,27		0,010		0,27		0,042
Гречка	0,13	20	0,372	Жито	0,13	30	0,125
		45	0,467		0,15		0,089
	0,15	20	0,250		0,20		0,046
		45	0,381		0,25		0,031
		60	0,447		0,27		0,025
	0,20	20	0,064		Кукурудза		0,13
		45	0,222			45	0,344
		60	0,272	0,15		30	0,128
	0,25	20	0,028			45	0,247
		45	0,131	0,20		30	0,047
		60	0,172			45	0,114
	20	0,025	60			0,139	
	0,27	45	0,111	0,29		30	0,031
		60	0,142			60	0,100
Ячмінь	0,13	30	0,556	Ячмінь	0,20	30	0,083
	0,15		0,333		0,22		0,056

Наведені результати досліджень коефіцієнта внутрішньокапілярної дифузії в таблицях 2-5 підпорядковані другому закону термодинаміки щодо зв'язку швидкості перебігу волого обмінних процесів із температурою середовищ і в узагальненому вигляді представленого відомою формулою (1):

$$\alpha_m = \alpha_0 \cdot \left(\frac{\theta + T}{T} \right)^n \quad (1)$$

Де ступінь n за даними різних авторів набуває значень від 6 – 8, за Гінзбургом А.С., до 16 – 18, за даними Страхової Т.В.

За нашими дослідженнями коефіцієнту внутрішньокапілярної дифузії вологи при конвективному масообміну нерухомого шару зерна пшениці методом перемінних значень коефіцієнта зовнішнього тертя було підтверджено дані Страхової Т.В. За нашими даними при розрахункових формулах сипкості значення степені n слід приймати $n=14-16$.

Якщо щодо зв'язку коефіцієнту внутрішньокапілярної дифузії вологи α_m експериментальні дані більшості науковців накладаються, то щодо впливу вологості ми спостерігаємо деякі розбіжності. Так за експериментальними даними викладеними в табл. 2, 3 і 5 ми спостерігаємо зворотну залежність α_m від вологості зерна.

Висновки

1. Коефіцієнт внутрішньокапілярної дифузії вологи α_m в степеневій залежності перебуває від температури тіла зерна і в зворотній – вологовмісту.

2. Із зменшенням розмірів тіла зернини та збільшенням вмісту гідрофільних складових – коефіцієнт α_m зростає.

Література.

1. Гросул Л.Г. Механіко-технологічні основи процесів та агрегатного устаткування для виробництва круп// Автореф. дис. доктора техн. наук – Одеса, ОДАХТ, 2002, – 37с.

2. 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.