

ДИНАМІКА ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ГАЗІВ В МАЛОРУХОМОМУ ШАРІ ЗЕРНА

Гапонюк І. І., д.т.н., проф., НУХТ, Київ, e-mail: zenidtar@gmail.com

Мета роботи: встановити кількісну характеристику перемінних значень густини й в'язкості робочих газів в малорухомому шарі зерна шахтної сушарки та їх вплив на міжфазовий вологообмін.

Результати досліджень. На рушійний потенціал міжфазового тепловологообміну суттєво впливає густина і в'язкість робочих газів.

За стаціонарних умов міфазової взаємодії нерухомих капілярно-пористих тіл рівняння дифузії вологи в середині тіла О.В.Ликов представив диференціальним рівнянням [1]:

$$\rho \cdot \frac{d\rho_{ko}}{d\tau} = \text{div} \left[\rho \cdot D \cdot \left(\nabla \rho_{ko} + \frac{K_T}{T} \cdot \nabla T + \frac{K_P}{P} \cdot \nabla p \right) \right] + I_{vk} \quad (1)$$

Однак очевидним є те, що для описання рівняння 1 для наближених до реальних умов міжфазового масообміну слід вводити правку на перемінний рушійний потенціал та густину вологи в порах зневоджуваного тіла. Що є взаємопов'язано.

За умов незалежності характерних коефіцієнтів масоперенесення від координат тіла, та ігнорування джерелом додаткової маси зневоджуваного матеріалу (I_{vk}), внаслідок хімічних чи фазових перетворень системи тіла, найбільш впливовими є потенціали вологовмісту, температури та парціальних тисків. Для незтискуємих рідин та зовнішнього впливу лише сил гравітації, переміщення вологи в матеріалі можна описати диференціальним рівнянням Нав'є-Стокса [1]:

$$\rho \cdot \frac{d\vec{v}}{d\tau} = -\nabla p + \eta \cdot \nabla^2 \vec{v} + \rho \cdot \vec{g} \quad (2)$$

Аналогічно попередньому рівнянню 1, в рівнянні 2 слід відмітити вплив перемінних параметрів градієнту тиску, густини і в'язкості.

За умов спрощення, несуттєвих змін густини та ігнорування силами в'язкості ($\eta = 0$), ми можемо отримати рівняння Ейлера для ідеальної рідини [2].

За умов міжфазового вологообміну, для оцінки інтенсивності потоку вологи в зневоджу вальному тілі, О.В.Ликов було запропонував використовувати коефіцієнт внутрішньої дифузії [1]:

$$\vec{j} = -(a_m \cdot \rho_0 \cdot \nabla U + a_m^T \cdot \rho_0 \cdot \nabla T + a_p \cdot \nabla p), \quad (3)$$

де a_m , a_m^T і a_p – коефіцієнти відповідно дифузії вологи, термодифузії та молекулярного перенесення, $\text{м}^2/\text{г}$; ρ_0 – густина абсолютного сухого матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Знову ж таки, як і в попередніх формулах, ми маємо фактор впливу густини. Якщо перемінними параметрами густини зневоджуваного тіла ми можемо нехтувати, то для робочих газів порядок перемінних значень, з огляду на їх значимість, нехтувати ними не можна.

За умов суттєвих змін параметрів густини і в'язкості цими перемінними вже не можна ігнорувати й метод інтегрування не є прийнятним з огляду на нерівномірність величини перемінних параметрів цих перемін в часі та товщині шару зневоджуваних тіл.

В свою чергу й інші складові рівнянь дифузії a_m , a_m^T і a_p є залежними від температури t_i , густини ρ_i і тиску H_i , а також шпаруватості шару зневоджуваних тіл й перемінних значень параметрів фазових середовищ (W_i , ∇U , ∇T , ∇p) також є перемінними величинами.

Для прикладу шпаруватість зернового середовища однієї і тієї самої культури, в залежності від стану його рухомості, може змінюватися в межах $\varepsilon = 0,25 \dots 1,0$ [3]. А в межах зміни температури $t = (0 \dots 100) \text{ } ^\circ\text{C}$ коефіцієнт в'язкості повітря $(13,28 \dots 40,3) \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$, густина $\rho = 1,293 \dots 0,095 \text{ кг}/\text{м}^3$ в межах зміни температури $t = (0 \dots 300) \text{ } ^\circ\text{C}$; в'язкість води – $v = (1,79 \dots 0,295) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, поверхневий натяг $\sigma = (756 \dots 588) \cdot 10^{-4} \text{ Н}/\text{м}$, число Прандтля $Pr = 13,67 \dots 1,75$. Швидкість пронизування зернового середовища повітрям при різних станах рухомості зернового середовища може змінюватися в межах $v = 0,1 \dots 6,0 \text{ м}/\text{с}$, а активна поверхня зернини – $0,01 \dots 1,0$ від загальної об'ємної площі зернини [2].

Те ж саме стосується незалежних змінних теплопровідності λ , теплоємності c , температуро-провідності a , масопровідності λ_m , масоємності c_m , тепловологопровідності a_m . За літературними даними коефіцієнти тепловіддачі змінюється в межах $\alpha = 10 \dots 110 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, при обдуванні вологого зерна повітрям коефіцієнт температуро-провідності має екстремальний характер в межах $20 \dots 30 \%$ вологості зерна [3].

Коефіцієнт дифузії вологи в залежності від вологовмісту і температури зерна також змінюється в межах $(0,3...0,467) \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ при взаємодії вологого зерна із робочим агентом. Коефіцієнт масообміну $\alpha_m = (1,0...2,99) \cdot 10^{-2} \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{М}$ [2].

Для з'ясування характеру перемін вказаних перемінних нами було в експериментальних дослідженнях нами було встановлено характер зміни величини в'язкості і густини робочих газів та встановлено можливість опису їх для нерухомого шару зневоджувальних тіл.

Зі змінням вологовмісту та температури газів їх густина змінюється за відомими залежностями. Однак при переміщенні робочих газів крізь шар пористих тіл його густина може змінюватися також під впливом аеродинамічного опору цього шару [2, 3]:

$$H_{ш} = \lambda_{ш} \frac{h}{d_e} \frac{\rho v^2}{2} \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right) \quad (4)$$

де $H_{ш}$ – опір шару зерна, Па; h – висота шару зерна, м; $\lambda_{ш}$ – сукупний коефіцієнт гідродинамічного опору по довжині течії; $\varepsilon = V_o / V_s$ – коефіцієнт шпаруватості; V_o, V_s – об'єми повітря (газу, пари, води) та загального об'єму суміші з твердими частками, м^3 ; d_e – еквівалентний діаметр часток, м; v – швидкість газу, що віднесена до загального перерізу шару зерна (умовна), м/с; ρ – густина газу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Нами виконано дослідження з встановлення густини робочих газів за умов пронизування шару зерна в шахтних прямотечієвих зерносушарках за реальних умов: фіктивній швидкості течії цих газів, режимів сушіння, товщини і стану рухомості шару зерна.

За умов переміщення газів в шахтних зерносушарках крізь шар нерухомого зерна товщиною 0,25 м із фіктивною швидкістю 0,4 м/с, аеродинамічний опір для дрібнодисперсних культур становить 1,4...1,6 кПа, а температури нагрівання газів може змінюватися від 10 до 160 °С. Тоді густина та об'єм повітря може змінюватися в межах 40% від початкових значень (табл.1).

Для розрахунку абсолютної, або динамічної в'язкості повітря користуються формулою Міллікена [2, 3]:

$$\mu = 1,745 \cdot 10^{-6} + 5,03 \cdot 10^{-9} \cdot t, \quad (5)$$

Таблиця 1 – Залежність густини газів від їх вологовмісту і температури

$v, \text{ м}^3$	$\pm v \%$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\pm \rho \%$	$T, \text{ }^\circ\text{К}$	$t, \text{ }^\circ\text{К}$	$p, \text{ Па}$	$d_p, \text{ Па}$
1,32	-58,6	0,76	37,0	273	160	101325	0
1,14	-36,6	0,88	26,8	273	100	101325	0
1,02	-22,0	0,98	18,0	273	60	101325	0
0,83	0,0	1,20	0,0	274	0	101325	0
0,83	0,5	1,21	-0,5	273	0	101325	500
0,83	1,0	1,21	-1,0	273	0	101325	1000
0,82	1,5	1,22	-1,5	273	0	101325	1500
0,82	1,9	1,22	-2,0	273	0	101325	2000
0,81	2,9	1,24	-3,0	273	0	101325	3000
1,11	-32,7	0,90	24,6	273	100	101325	3000

Слід відмітити відмінність залежності кінематичної в'язкості від температури та тиску у рідин від газів. Так, у рідин зі зростанням температури вона, на відмінність від газів, зменшується.

Висновки: 1. Для виробничих параметрів зневоднення зерна в шахтних прямотечієвих сушарках температура є більш впливовим фактором впливу на густина та питомий об'єм робочих газів.

2. На відмінність від рідин, динамічна в'язкість газів μ зростає, а кінематична ν ($\text{м}^2/\text{с}$) з зменшується до 11 % за параметрів тиску в шахтній зерносушарці та для параметрів довкілля "літо-зима" – до 30 %.

Літературні джерела

1. Лыков А.В. Тепломассообмен (Справочник). – М.: Энергия. 1972. – 560 с.
2. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: [Уч. пособие.]// – К.: Вища шк. – 1991. – 367 с.
3. Гапонюк І.І., До уточнення моделі внутрішньо капілярної дифузії вологи//– К.: Наукові праці НУХТ – Том 21, № 1– 2015. – С.142 – 151.