

ВПЛИВ ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА НА ВОЛОГОВІСТЬ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Числовими методами досліджено вплив відносної вологості оточуючого середовища на вологовміст будівельних пористих матеріалів

Ключові слова: пористі матеріали; теплова ізоляція, вологовміст, відносна вологість

Abstract

The influence of the relative humidity of the environment on the moisture content of porous building materials was investigated using numerical methods

Keywords: porous materials; thermal insulation, moisture content, relative humidity

Вступ

Передача теплоти, повітря та вологи через пористі середовища досліджується в багатьох галузях техніки, таких як: видобуток нафти, транспортування текстильних матеріалів [1], сушіння деревини [2], інфільтрація забруднюючих речовин, сушіння гранульованих матеріалів [3], розробка і конструювання теплообмінників [4], перенесення маси через композитні мембрани [5] та розрахунки теплоізоляції [6].

Таким чином, у різних сферах промисловості необхідні детальні моделі перенесення теплоти, повітря та вологи, щоб підвищити точність розрахунку передачі теплоти та вологи між зовнішнім і внутрішнім середовищем для кращого прогнозування теплових навантажень, теплового комфорту в приміщенні та показників якості повітря.

Основна частина

У процесі експлуатації теплоізоляційні конструкції промислових споруд, обладнання та трубопроводів зволожуються пароподібною вологою за рахунок сорбції водяної пари з навколишнього вологого повітря через наявність пористої структури в теплоізоляційних матеріалах, а також крапельною вологою при атмосферному впливі або при контакті ізоляції теплових мереж при підземному прокладанні. При експлуатаційних температурах мереж нижче 0 °С зволоження теплової ізоляції конструкцій відбувається в результаті дифузії до неї водяної пари з навколишнього вологого повітря з подальшою його конденсацією та десублімацією в пористій структурі теплоізоляційного матеріалу.

Волога, яка попадає з навколишнього середовища в теплоізоляційні конструкції в процесі їх експлуатації, істотно змінює умови теплообміну. Процеси спільного тепло- і вологообміну, котрі виникають при цьому в тепловій ізоляції, включаючи фазові перетворення вологи в пористій структурі теплоізоляційного шару, призводять до значного збільшення втрат теплоти в порівнянні з розрахунковими, якщо вони визначені без врахування вологообміну.

Якщо пористий матеріал зволожений, частина пористого простору заповнюється вологою. Об'ємний вміст вологи зволоженого матеріалу складається з адсорбованої та капілярної вологи

$$w = w_a + w_k, \quad (1)$$

де w – загальний вміст вологи в пористому матеріалі;

w_a – об'ємний вміст адсорбованої вологи;

w_k – об'ємний вміст капілярної вологи.

В капілярно-пористій структурі матеріалів теплоізоляційних конструкцій промислових споруд завжди є волога, кількість якої визначається умовами експлуатації і станом навколишнього середовища.

У стані гігротермічної рівноваги з вологим повітрям температура матеріалу рівна температурі повітря, тиск пари у вологому повітрі, що міститься в капілярно-пористій структурі теплоізоляторів, дорівнює парціальному тиску пари в навколишньому повітрі, а вологовміст матеріалів має деяке постійне значення, яке прийнято називати рівноважним.

Абсолютна вологість водяної пари прямопропорційна тиску пари. Тому, за законом Бойля-Маріотта можна записати

$$\varphi = \frac{P_n}{P_n}, \quad (2)$$

де P_n – парціальний тиск водяної пари, Па;

P_n – тиск насиченої водяної пари, Па.

Величина парціального тиску водяної пари в насиченому вологою повітрі залежить від температури повітря і зі збільшенням температури зростає. Табличні значення залежності парціального тиску насиченої водяної пари від температури відомі і тут ми їх не приводимо. При регресії цих даних встановлено, що залежність зміни парціального тиску водяної пари від температури має нелінійний характер і досить точно, з коефіцієнтом кореляції $R^2=0,9996$, апроксимується поліномом третього ступеня

$$P_n = 0,0213 \cdot T^3 + 1,69 \cdot T^2 + 48,02 \cdot T + 611. \quad (3)$$

Розрахунковий графік залежності парціального тиску водяної пари від температури представлено на рис. 1.

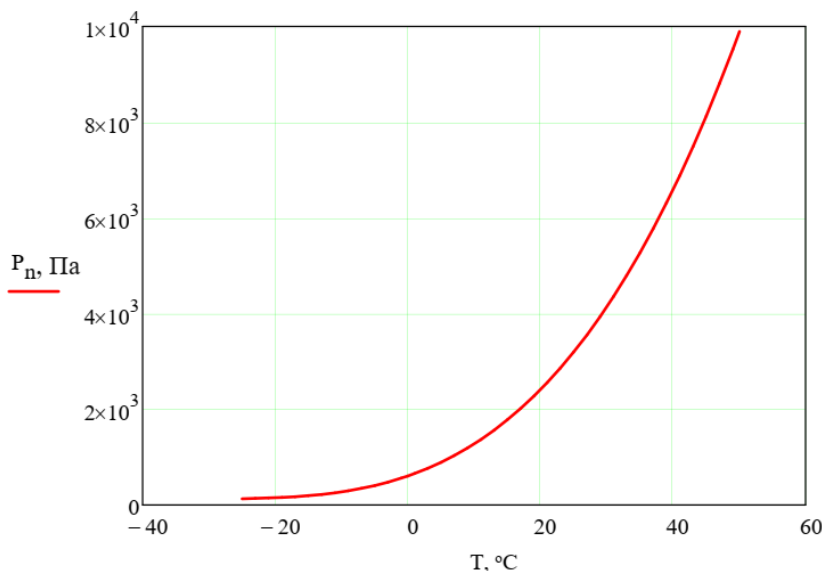


Рисунок 1 – Зміна парціального тиску водяної пари з температурою

Значення рівноважного вологовмісту в пористих матеріалах можна визначати так

$$\begin{cases} u(\varphi) = P_n \frac{\varphi}{100} C_m^{ад} \text{ для } 0 \leq \varphi \leq 80\%; \\ u(\varphi) = u(\varphi_{80}) + \left(P_n \frac{\varphi}{100} - 0,8P_n \right) \cdot C_m^к \text{ для } 80 \leq \varphi \leq 100\%. \end{cases} \quad (4)$$

де $C_m^{ад}$ – сорбційна масоємність в області адсорбційно-зв'язаної вологи, $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}} \right)$;

$C_m^к$ – сорбційна масоємність в області капілярно-зв'язаної вологи, $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}} \right)$.

Співвідношення (4) дозволяють визначати рівноважний вміст води теплоізоляційних матеріалів залежно від вологості навколишнього повітря за температури 20°C. Для визначення за цими даними

рівноважного вмісту води за будь-якої іншої температури в діапазоні $-60 < t < +60$ °C можна використовувати наближену формулу [7]

$$u(t) = u(t_0 C\varphi) \cdot [1 - 0,002(t - 20)] e^{2,8(1-\varphi)}. \quad (5)$$

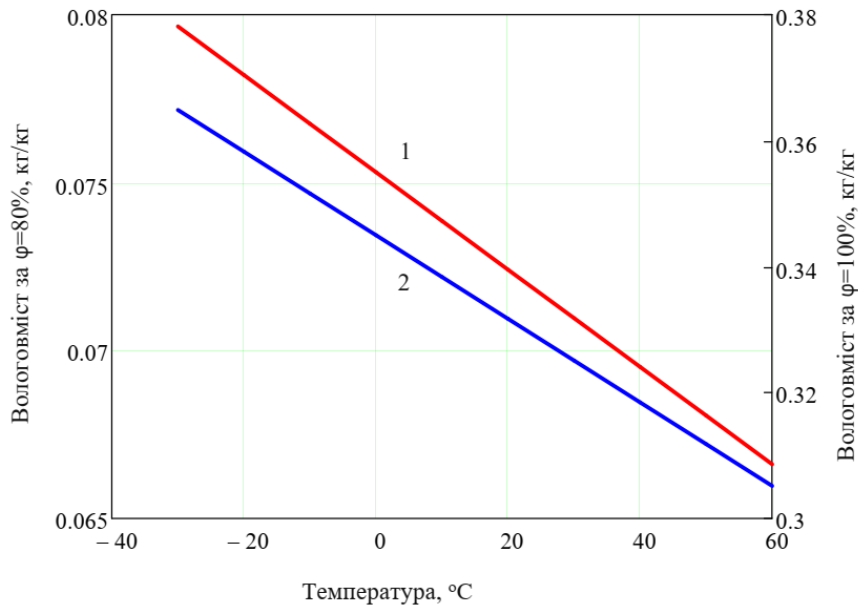


Рисунок 2 – Зміна вологовмісту волокнистого матеріалу (мінеральної вати) від температури для вологості оточуючого повітря:
1 - $\varphi = 80\%$; 2 - $\varphi = 100\%$

Висновки

Отримані рівняння дозволяють розрахунковим методом визначати вологовміст теплоізоляційних матеріалів, що знаходяться в умовах термодинамічної рівноваги з оточуючим вологим повітрям.

Як видно з графіка, вологовміст волокнистого пористого матеріалу при зміні відносної вологості оточуючого середовища від 80: до 100% змінюється на кілька порядків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. K. Boomsma et al. On the effective thermal conductivity of a three- dimensionally structured fluid-saturated metal foam. Int. J. Heat Mass Transfer (2001). Volume 44, Issue 4, February 2001, P.827-836.
2. Stephen O. Olutimayin et al. Measuring and modeling vapor boundary layer growth during transient diffusion heat and moisture transfer in cellulose insulation. Int. J. of Heat and Mass Transfer (2005). Volume 48, Issue 16, July 2005, P. 3319-3330.
3. N. Mendes et al. A method for predicting heat and moisture transfer through multilayered walls based on temperature and content gradients. Int. J. Heat Mass Transfer (2005). Volume 48, Issue 1, January 2005, P. 37-51.
4. C.R. Pedersen. Prediction of moisture transfer in building constructions. Building Environ. (1992). Volume 27, Issue 3, July 1992, P. 387-397.
5. N. Mendes et al. A new mathematical method to solve highly coupled equations of heat and mass transfer in porous media. Int. J. Heat Mass Transfer (2002). Volume 45, Issue 3, January 2002, P. 509-518.
6. G.D. McBain. Natural convection with unsaturated humid air in vertical cavities. Int. J. Heat Mass Transfer (1997). Volume 40, Issue 13, September 1997, P. 3005-3012.
7. 2005 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI). American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers, Incorporated, 2005. 1000 p.

Співак Олександр Юрійович – к-т. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: spivak000@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1988-1886

Педченко Назар Сергійович – магістрант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nazarpedchenko2003@gmail.com.

Матולה Ілля Русланович – студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: irmatola@gmail.com.

Oleksandr Spivak – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: spivak000@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1988-1886

Nazar Pedchenko – undergraduate of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazarpedchenko2003@gmail.com.

Ilya Matola – student of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irmatola@gmail.com.