

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ ВІД ДВОХПАНЕЛЬНОГО РАДІАТОРА

Басок Б.І., Давиденко Б.В., Гончарук С.М., Новіков В.Г.

Інститут технічної теплофізики НАН України
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: За результатами чисельного моделювання теплопереносу від двохпанельного радіатора одержано залежності від його температури променевих та конвективних складових теплового потоку, що надходять у приміщення.

АННОТАЦИЯ: По результатам численного моделирования теплопереноса от двухпанельного радиатора получены зависимости от его температуры лучистых и конвективных составляющих теплового потока, поступающих в помещение

ABSTRACT: By the results of numerical modeling of heat transfer from the two-panel radiator the dependences on the temperature of the radiant and convective heat fluxes into the room are obtained

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Двохпанельний радіатор, коефіцієнт тепловіддачі, чисельне моделювання.

В даний час для водяного опалення приміщень широко використовуються двохпанельні радіатори. Для з'ясування основних теплотехнічних характеристик даних опалювальних пристроїв проведено чисельне моделювання радіаційно-конвективної тепловіддачі від двохпанельного радіатора, що має довжину 1,0 м; висоту 0,5 м і товщину 0,105 м. Для спрощення задачі приймається, що обидві панелі товщиною 0,01 м - плоскі і мають однакову, постійну по висоті і ширині температуру.

Чисельне моделювання виконується в розрахунковій області, яка включає двохпанельний радіатор, що розглядається, а також область повітряного простору приміщення, в якому він розташований. Згідно прийнятої розрахункової моделі передбачається, що радіатор знаходиться на відстані 0,05 м від зовнішньої стіни приміщення і на висоті 0,25 м від підлоги. Вважається, що радіаційний теплообмін здійснюється між зовнішньою поверхнею ближньої до стіни панелі і внутрішньою поверхнею зовнішньої стіни. Радіаційний теплообмін має також місце між зовнішньою поверхнею панелі радіатора, що звернена убік приміщення, та поверхнями стін, підлоги і стелі. Конвективна тепловіддача до повітря відбувається від усіх чотирьох поверхонь двохпанельного радіатора.

Для розв'язання даної задачі задаються значення температури радіатора T_p , температура зовнішнього повітря T_∞ і температура повітря в приміщенні T_a . Значення температури внутрішніх поверхонь приміщення (крім внутрішньої поверхні зовнішньої стіни) вважається однаковими і рівними температурі повітря в приміщенні.

Конвективна тепловіддача від радіатора розраховується, виходячи з розв'язання системи рівнянь руху повітря та теплопереносу, що має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} &= 0; \\ u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu_a}{\rho_a} \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right); \\ u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu_a}{\rho_a} \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_a); \\ u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} &= \frac{\lambda_a}{C_p \rho_a} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \end{aligned}$$

де x - поздовжня координата, що має напрямок від зовнішньої стіни убік приміщення;

y - вертикальна координата;

u_x, u_y - проекції вектора швидкості на осі прямокутної системи координат;

g - прискорення сили тяжіння;

p - тиск;

T - температура;

ρ_a - густина повітря;

μ_a - динамічний коефіцієнт в'язкості;

λ_a - коефіцієнт теплопровідності повітря;

C_p - теплоємність повітря;

β - температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря.

Умова теплообміну на внутрішній поверхні зовнішньої стіни представляється у вигляді

$$\lambda_a \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=x_{ст}} + c_0 \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_{ст}} - 1} F_p \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ст}}{100} \right)^4 \right] = K(T_{ст} - T_\infty),$$

де $T_{ст}$ - температура внутрішньої поверхні зовнішньої стіни;

$\varepsilon_{ст}, \varepsilon_p$ - ступені чорноти поверхонь радіатора і стіни;

F_p - площа зовнішньої поверхні однієї панелі радіатора;

K - коефіцієнт теплопередачі через стінку до зовнішнього повітря, що розраховується за формулою

$$K = \frac{1}{\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{зов}}},$$

де $\alpha_{зов}$ - коефіцієнт тепловіддачі до зовнішнього повітря;

$\lambda_{ст}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стіни;

$\delta_{ст}$ - товщина стіни.

Система рівнянь руху та теплопереносу розв'язується методом скінчених різниць з застосуванням матричної прогонки [1]. Поля температури і швидкості повітря поблизу радіатора, отримані за результатами чисельного розв'язання для умов $t_a = 20$ °С; $t_p = 65$ °С; $t_\infty = -10$ °С; $K=0,649$ Вт/(м²К); $\varepsilon_{ст}=0,9$; $\varepsilon_p=0,8$, представлені на рис. 1.

Розрахунки характеристик радіаційно-конвективної тепловіддачі від двохпанельного радіатора при тих же значеннях T_∞ і T_a виконані для різних значень T_p . За результатами розв'язання задачі визначалися в залежності від температури радіатора величини променевих та конвективних складових теплового потоку від радіатора.

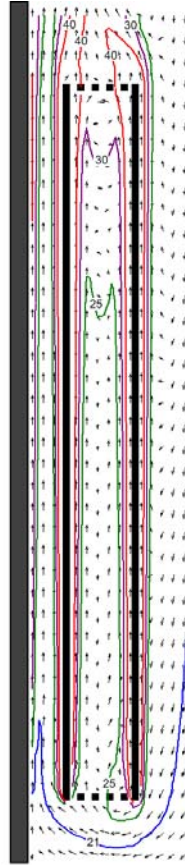


Рис. 1. Поля температури і швидкості повітря біля радіатора для випадку
 $t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $t_p = 65\text{ }^\circ\text{C}$; $t_\infty = -10\text{ }^\circ\text{C}$

Серед них: $Q_{п,зов}$ - променевий тепловий потік від радіатора до поверхні зовнішньої стіни; $Q_{п,внут}$ - променевий тепловий потік від радіатора до всіх інших внутрішніх поверхонь приміщення; $Q_{к,зов}$ - конвективний тепловий потік від зовнішньої поверхні панелі, розташованої біля стіни; $Q_{к,внут}$ - конвективний тепловий потік від зовнішньої стінки панелі, що звернена усередину приміщення; $Q_{к,кан}$ - конвективний тепловий потік, що відводиться з внутрішніх поверхонь панелей до повітря, що протікає в каналі між панелями; $Q_{сум}$ - сумарний променевий і конвективний потік від радіатора.

Результати розрахунків променевих та конвективних складових теплового потоку, а також сумарного теплового потоку від радіатора, наведені в табл. 1 та на рис. 2.

Таблиця 1

Характеристики теплонадходження від радіатора

$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	$Q_{п,зов}, \text{ Вт}$	$Q_{п,внут}, \text{ Вт}$	$Q_{к,зов}, \text{ Вт}$	$Q_{к,внут}, \text{ Вт}$	$Q_{к,кан}, \text{ Вт}$	$Q_{сум}, \text{ Вт}$
45	34,53	58,61	49,25	52,27	90,88	285,54
55	49,50	86,27	75,13	79,93	140,13	430,96
65	66,05	116,59	102,86	109,60	193,36	588,46
75	84,18	149,72	132,20	141,10	250,05	757,25
85	103,87	185,83	162,78	173,82	309,25	935,55

Як видно з табл. 1, загальний променевий тепловий потік

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{п,зов}} + Q_{\text{п,внут}}$$

складає 30%...32 % від сумарного теплового потоку $Q_{\text{сум}}$.

Значення локальних коефіцієнтів конвективної тепловіддачі з зовнішньої поверхні панелі радіатора, яка звернена убік приміщення, можуть бути знайдені з виразу

$$\alpha_{\text{к}}(y) = -\lambda_{\text{а}} \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=x_{\text{п}}} \frac{1}{T_{\text{п}}(y) - T_{\text{а}}}$$

і узагальнені у вигляді рівняння подібності

$$\text{Nu}_y = 0,49 \text{Ra}_y^{0,224}, \quad (1)$$

де $\text{Nu}_y = \frac{\alpha y}{\lambda_{\text{а}}}$; $\text{Ra}_y = \frac{g\beta(T_{\text{п}} - T_{\text{а}})y^3}{\nu_{\text{в}}\alpha_{\text{в}}}$;

y - вертикальна координата, яка відраховується від нижнього зрізу панелі радіатора.

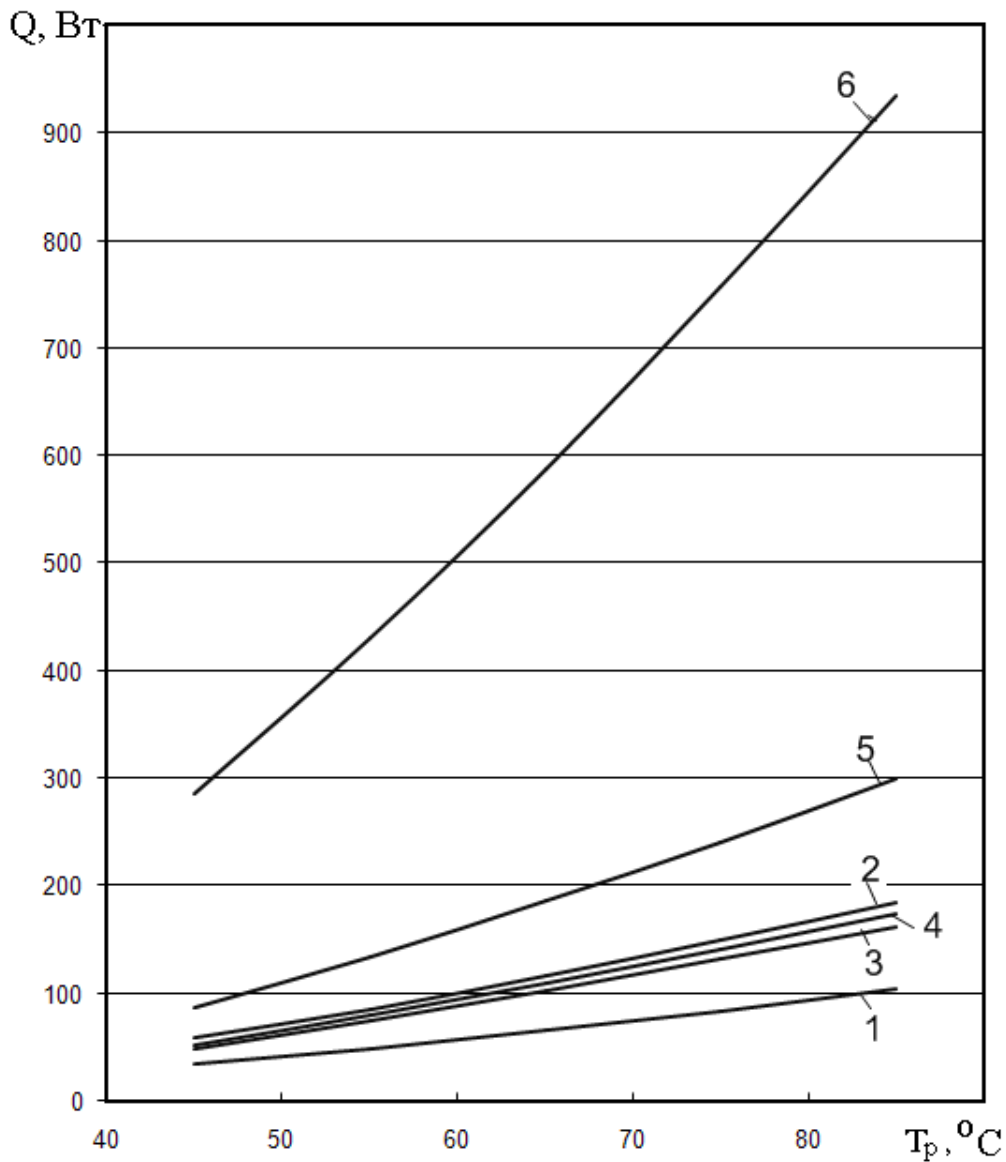


Рис. 2. Залежність від температури радіатора складових теплового потоку: 1 - $Q_{\text{л,нар}}$; 2 - $Q_{\text{л,внут}}$; 3 - $Q_{\text{к,нар}}$; 4 - $Q_{\text{к,внут}}$; 5 - $Q_{\text{к,кан}}$; 6 - $Q_{\text{сум}}$

На рис. 3 наведено порівняння отриманої залежності з відомим рівнянням подібності [2]

$$Nu_y = 0,473Ra_y^{0,25}. \quad (2)$$

Як видно з цього рисунку, наведені залежності добре узгоджуються між собою.

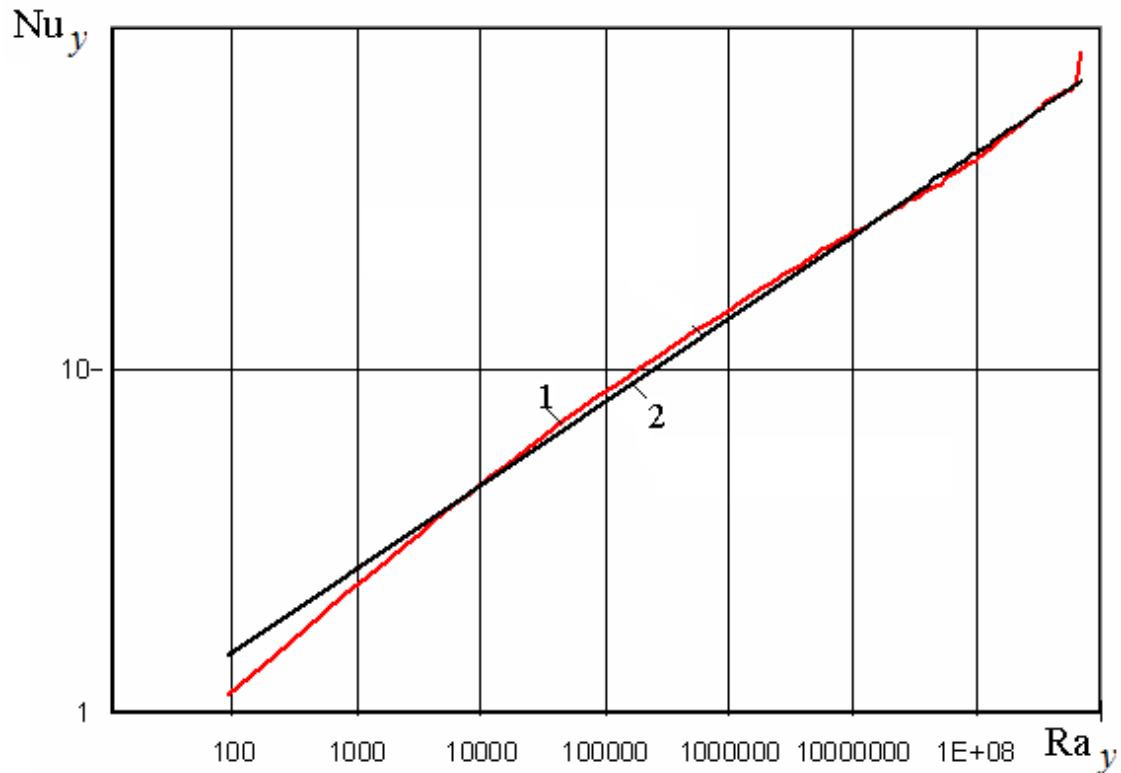


Рис. 3. Залежність локальних значень числа Нуссельта від числа Релея для природної конвекції на вертикальній поверхні: 1 – за формулою (1); 2 - за формулою (2).

ВИСНОВКИ

1. В досліджуваному інтервалі зміни температури поверхні двохпанельного радіатора (45...85° С) сумарний тепловий потік з його поверхонь складає ~ 300...935 Вт.

2. Променевий тепловий потік з поверхонь двохпанельного радіатора складає ~ 30% від сумарного теплового потоку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Давыденко Б.В. Метод матричной прогонки для решения сеточных уравнений гидродинамики / Б.В. Давыденко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 5₅(35). – С.7 – 11.
2. Исаченко В. П. Теплопередача. / В. П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел - М.: Энергия, 1975. – 488 с.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2013 р.