

КОНВЕКТИВНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОВІДДАЧІ НА ЗОВНІШНІЙ ПОВЕРХНІ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЛІ

Басок Б.І., Гончарук С.М., Давиденко Б.В., Новіцька М.П., Резакова Т.А.

Інститут технічної теплофізики НАН України
м. Київ, Україна

АННОТАЦІЯ: Представлено результати чисельного моделювання теплообміну будівлі з навколишнім середовищем. Одержано залежність середнього по поверхні будівлі коефіцієнта тепловіддачі від швидкості потоку, що набігає.

АННОТАЦИЯ: Представлены результаты численного моделирования теплообмена здания с окружающей средой. Получена зависимость среднего по поверхности здания коэффициента теплоотдачи от скорости набегающего потока.

ABSTRACT: The results of numerical modeling of heat transfer of the building to the environment are presented. The mean on the surface of the heat transfer coefficient of the building of the free stream velocity is obtained.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Будівля, коефіцієнт тепловіддачі, чисельне моделювання.

Визначення значень коефіцієнта тепловіддачі з зовнішніх поверхонь огороджувальних конструкцій будівлі є складним завданням, оскільки він є функцією в широкому діапазоні параметрів. Ці параметри включають геометрію самого будинку, вплив споруд, що його оточують, швидкість, напрямок та інтенсивність турбулентності вітрового потоку, шорсткість поверхні, вологовміст повітря та інше. В даний час активно, різними методами, ведуться дослідження в цій області. Аналіз наявних в літературі залежностей коефіцієнтів тепловіддачі від швидкості вітру наведено в обзорі [1]. В ньому приведено наявні залежності при різній геометрії будинків, товщині пограничного шару, що визначені експериментально при натурних вимірюваннях або в аеродинамічній трубі. В цьому обзорі також наведено декілька робіт, що базуються на чисельному моделюванні. Основним недоліком експериментальних методів дослідження є вартість робіт і їх трудомісткість. Проблемою при моделюванні є той факт, що числа Рейнольдса становлять $10^5 \dots 10^7$, а із збільшенням цього числа зменшується товщина в'язкого підшару і буферного шару поблизу поверхні. Моделювання конвективного теплообміну зазвичай вимагає точного моделювання пограничного шару. Перевірка адекватності розрахунків на прикладі моделювання кубічної будівлі, та зіставлення їх з даними тесту в аеродинамічній трубі [2] показали, що таким методом досягається точність в 10 %. В [2] також доведено, що геометрія будівлі має істотний вплив на значення залежності коефіцієнтів тепловіддачі від швидкості вітру, тому для кожної окремої будівлі бажано проводити експериментальні

вимірювання або моделювання. Враховуючи попередній досвід, в даній роботі зроблена спроба CFD аналізу будівлі з односхилим дахом.

В Інституті технічної теплофізики будується експериментальний стенд – енергоефективний будинок пасивного типу. Цей будинок з односкатним дахом, висотою $H = 12,8$ м в максимальній точці і $5,6$ м у мінімальній, довжина і ширина будинку 10 і $7,6$ відповідно і є об'єктом дослідження. Згідно [3], висота розрахункової області повинна складати не менше $5H$ щоб виключити вплив висоти самої будівлі. Тому висота, ширина і відстань перед будинком в розрахунковій області становили 80 м. Відстань за будівлею, згідно з рекомендацією цього ж посібника – 130 м.

На вході в розрахункову область швидкість потоку, що набігає, розраховувалась в залежності від висоти, згідно закону [4]

$$U(z) = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{0.4}, \text{ де } z_0 = 5 \text{ м; } U_0 = 2,6 \text{ м/с, швидкість вітру на висоті } z_0.$$

Величина кінетичної енергії і енергії дисипації на вході в розрахункову область приймалися постійними і рівними $0,2$. Розрахунок проводився для різних значень швидкості на висоті z_0 : 1 ; $2,6$; 5 ; 10 ; 15 . Вітер спрямований перпендикулярно північній стороні будівлі. Температура основної течії - $5,6$ °С, що відповідає середньомісячній температурі найхолоднішого місяця року - січня в м. Києві.

На стінах будівлі і поверхні землі враховувалася умова прилипання. Величина шорсткості всіх поверхонь приймалася рівною нулю. На поверхні землі прийняті адіабатичні умови, а температура поверхні будівлі постійна і дорівнює 2 °С. На верхній межі області використовуються умови, при яких поздовжня складова швидкості відповідає швидкості, розрахованої за степеневим законом на висоті $z = 6H$. На виході з розрахункової області тиск дорівнює нулю. Точка відліку тиску розташовувалася на вході в розрахункову область верхньому куті. Розглядався вимушений конвективний теплообмін будівлі з навколишнім середовищем, ефекти природної конвекції повітря через різниці густин не розглядалися в рамках даної роботи.

До поверхні будинку проводилося згущення сітки. Товщина першої комірки сітки становила $0,010$ м. Використовувалася сітка з $1,2$ млн. клітинок.

Система рівнянь, що включала рівняння нерозривності, осереднені рівняння Нав'є-Стоксу для трьох координат, та рівняння турбулентного переносу імпульсу і енергії вирішувалась чисельно. Для замикання системи рівнянь турбулентного переносу використовувалась $k - \varepsilon$ модель турбулентності. Граничні умови мали наступний вигляд:

$$\begin{aligned} z = 0; 0 \leq x \leq B; 0 \leq y \leq 6H: & \quad u = 0; w = 0; v = v(z); T = T_\infty; k = k_\infty; \varepsilon = \varepsilon_\infty; \\ z = L; 0 \leq x \leq B; 0 \leq y \leq 6H: & \quad u = 0; w = 0; \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0; \frac{\partial k}{\partial y} = 0; \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 0; \\ x = 0; 0 \leq z \leq L; 0 \leq y \leq 6H: & \quad u = 0; w = 0; \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \frac{\partial k}{\partial x} = 0; \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0; \\ x = B; 0 \leq z \leq L; 0 \leq y \leq 6H: & \quad u = 0; w = 0; \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \frac{\partial k}{\partial x} = 0; \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0; \\ y = 0; 0 \leq z \leq L; 0 \leq x \leq B: & \quad u = 0; v = 0; w = 0; \frac{\partial T}{\partial z} = 0; k = 0; \\ y = 6H; 0 \leq z \leq L; 0 \leq x \leq B: & \quad u = 0; w = 0; \frac{\partial v}{\partial z} = 0; \frac{\partial T}{\partial z} = 0; \frac{\partial k}{\partial z} = 0; \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0; \\ \text{поверхні споруди:} & \quad u = 0; v = 0; w = 0; T = T_w; k = 0; \end{aligned}$$

Пристінкові функції визначалися згідно [5]. Такий вибір обумовлено в [6] де наведено порівняння трьох видів пристінкових функцій і функції такого виду показують найбільш реалістичні результати. Стандартні і рівноважні пристінкові функції показують дещо завищені результати коефіцієнтів тепловіддачі. Рішення

системи рівнянь турбулентного переносу знаходили методом кінцевих різниць. Використовувався алгоритм SIMPLER [7].

Із рішення отриманої системи різницевих рівнянь визначалися поля швидкості, тиску та температури в повітряному потоці, який омиває споруду, що розглядається. На підставі отриманих результатів розраховувались значення коефіцієнтів тепловіддачі на поверхнях будинку. Розрахунок проводився для різних значень швидкості на висоті z_0 : 1; 2,6; 5; 10; 15. Цим швидкостям відповідають числа Рейнольдса, що базуються на висоті будинку від $8 \cdot 10^5$ до $13 \cdot 10^6$.

Безрозмірні профілі швидкості уздовж центральної лінії представлені на рис. 1. Аналізуючи цей рисунок можна сказати, що поля швидкості за будинком подібні, за умови що середня швидкість вище 5 м/с. При швидкості вище 5 м/с поле стає незалежним від числа Re. Таке число Рейнольдса в літературі має назву критичного. У зв'язку з цим особливу увагу слід приділити картині течії при низьких швидкостях.

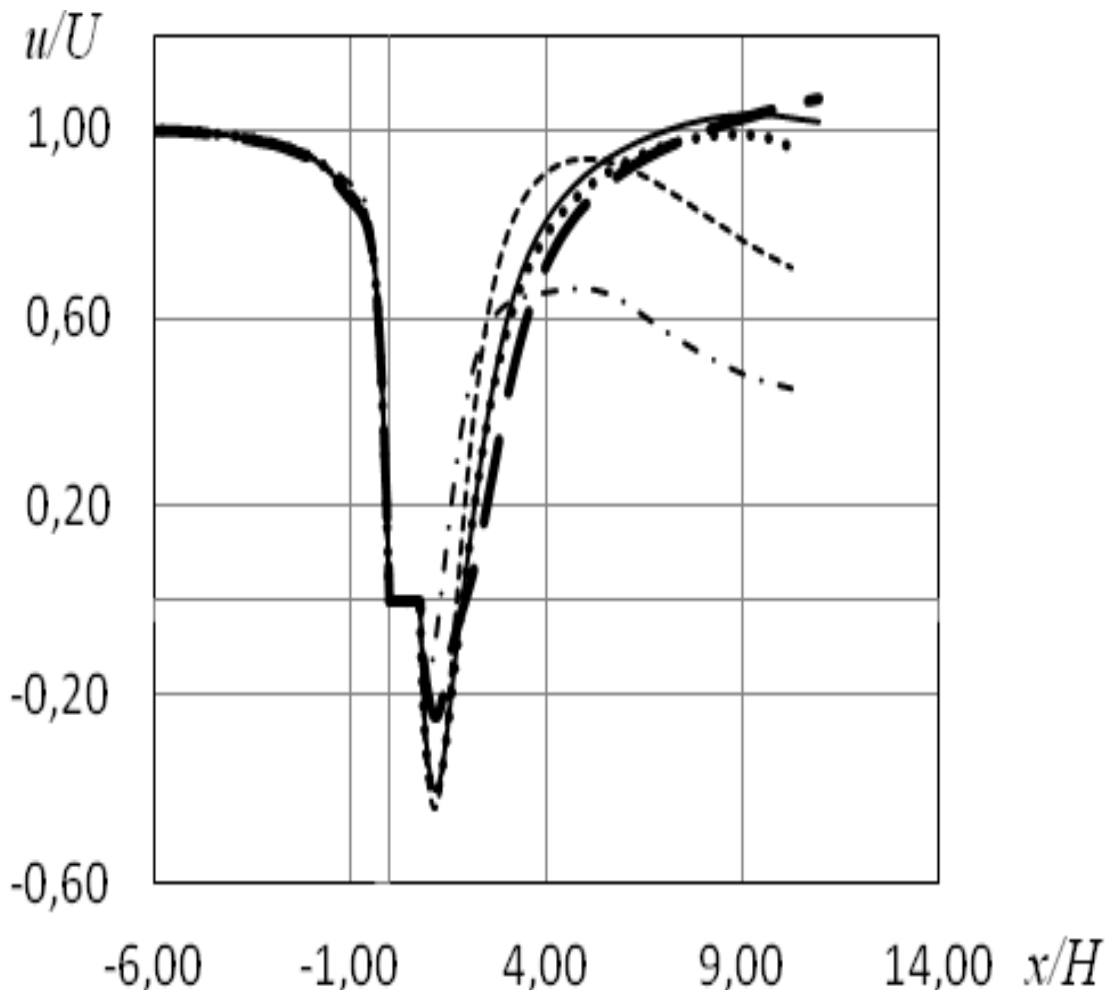


Рис. 1. Залежність безрозмірної швидкості від безрозмірної координати, для різних значень середньої швидкості потоку, що набігає:
 · · · · · 1 м/с; - - - - - 2,6 м/с; ······ 5 м/с; ——— 10 м/с; - - - - - 15 м/с.

Основна перевага використання числового теплофізичного моделювання у тому, що отримані дані про місцеві коефіцієнти тепловіддачі по всій поверхні огорожувальних конструкцій. Отримані поля місцевих коефіцієнтів тепловіддачі з навітряної сторони для різних середніх швидкостей набігання потоку представлені на рис. 2.

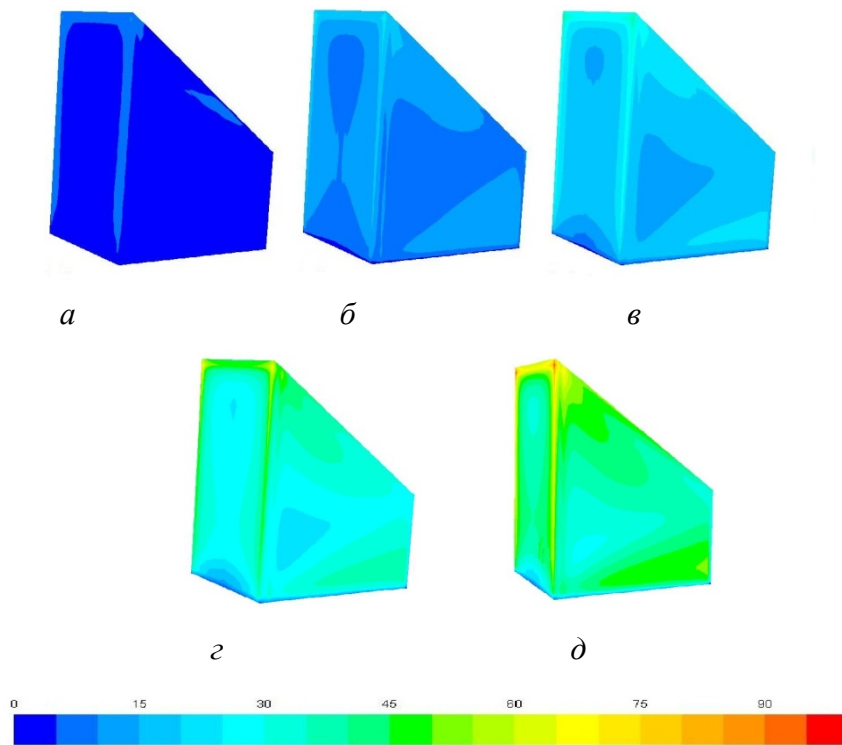


Рис. 2. Коефіцієнти тепловіддачі на поверхні будівлі:
a – $U = 1$ м/с; *б* – 2,6 м/с; *в* – 5 м/с; *г* – 10 м/с; *д* – 15 м/с

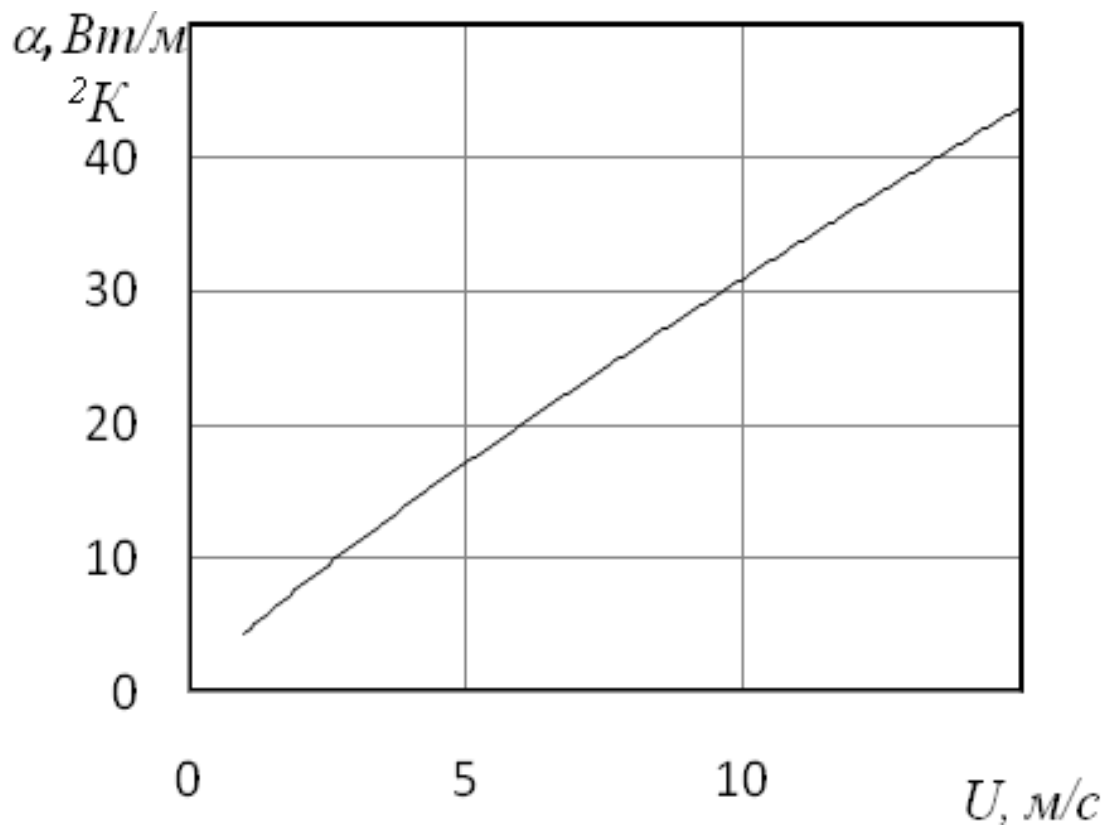


Рис. 3. Залежність від масштабу швидкості середнього коефіцієнта тепловіддачі на поверхні споруди

Місцеві коефіцієнти тепловіддачі α відрізняються від середнього по поверхні $\alpha_{\text{ср}}$ на 50%. З навітряної сторони середні коефіцієнти тепловіддачі розташовуються в центральній частині стіни, на висоті близько 0,5 Н. Максимальні значення коефіцієнтів тепловіддачі спостерігаються на кромці між навітряною стіною будівлі і бічною її стінкою, що на нашу думку обумовлено збільшенням швидкості внаслідок особливостей розподілу потоку при обтіканні перешкоди. На верхній кромці будівлі швидкість течії дещо менше, внаслідок вихроутворення, що відбувається за будинком. Дані про коефіцієнти тепловіддачі отримані для різних середніх швидкостей потоку можна узагальнити у вигляді залежності. На рис. 3 представлена залежність коефіцієнта тепловіддачі від швидкості потоку, що набігає.

Отримані дані були апроксимовані степеневою залежністю виду:

$$\alpha = 4,32U^{0.855}.$$

ВИСНОВКИ

1. Розподіл локальних коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні огорожувальних конструкцій нерівномірний.
2. Місцеві коефіцієнти тепловіддачі α відрізняються від середнього по поверхні $\alpha_{\text{ср}}$ на 50%.
3. Максимальні значення коефіцієнтів тепловіддачі спостерігаються на кромці між навітряною стіною будівлі і бічною її стінкою
4. Залежність середніх по поверхні коефіцієнтів тепловіддачі від швидкості – степенева і для будівлі з односхилим дахом має вигляд $\alpha = 4,32U^{0.855}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Новицкая М.П. Коэффициент конвективного теплообмена на поверхности здания. Анализ исследований / Новицкая М.П. // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т.35, №1. – С. 55-61.
2. Ruck B. Wind-tunnel measurements of flow field characteristics around a heated model building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 1993; 50: 139-152.
3. Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment, COST Action 732 / [J.Franke, A. Hellsten, H. Schlünzen, B. Carissimo] // Quality assurance and improvement of microscale meteorological models, Hamburg, 2007.
4. С.В. Гувернюк. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий / С.В. Гувернюк, В.Г. Гагарин // АВОК. – 2006. – № 8. – с.18-25.
5. M. Wolfshtein. The velocity and temperature distribution in one-dimensional flow with turbulence augmentation and pressure gradient / M. Wolfshtein // *Int. J. Heat Mass Tran.* 12 (3) (1969) 301-318.
6. T. Defraeye. CFD analysis of convective heat transfer at the surfaces of a cube immersed in a turbulent boundary layer / T. Defraeye, B. Blocken, J. Carmeliet // *Int. J. Heat Mass Tran.* 53 (1-3) (2010) 297-308.
7. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / Патанкар С. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2013 р.