

Теплообмін за вільного руху повітря в обмеженому просторі

Д.Є. Сінат-Радченко, кандидат технічних наук, професор кафедри теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій.

Н.В. Іващенко, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій.

С.М. Василенко, доктор технічних наук, професор кафедри теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій.

Розглянуто вплив основних факторів на інтенсивність теплообміну через шар повітря в обмеженому просторі. Запропоновані формули, які не потребують використання будь-яких таблиць і суттєво спрощують визначення середньої густини теплового потоку.

Ключові слова: повітря, вільний рух, обмежений простір, еквівалентна теплопровідність, число Релея, коефіцієнт конвекції, густина теплового потоку

Рассмотрено влияние основных факторов на интенсивность теплообмена через слой воздуха в ограниченном пространстве. Предложены формулы, которые не требуют использования каких-либо таблиц и значительно упрощают определение средней плотности теплового потока.

Ключевые слова: воздух, свободная конвекция, ограниченное пространство, эквивалентная теплопроводность, число Релея, коэффициент конвекции, плотность теплового потока

The effect of the main factors on the rate of heat transfer through a layer of air in a confined space. The formulas that do not require the use of any tables and greatly simplify the determination of the mean heat flow density.

Keywords: air, free convection, the limited space, the equivalent thermal conductivity, Rayleigh number convection coefficient, heat flow density

Якщо відстань між стінками різної температури заповненого повітрям обмеженого простору невелика, має місце взаємне перешкоджання руху нагрітих струменів, що піднімаються, і охолоджених струменів, що опускаються.

Характер конвекції в обмеженому просторі залежить від форми замкнутого об'єму, від взаємного розташування поверхонь тепловіддачі і теплоприймання, від перепаду температур між цими поверхнями.

В обмеженому просторі нагрівання і охолодження відбуваються поруч, розділити їх неможливо і процес доводиться розглядати в цілому як процес передачі теплоти теплопровідністю, вводячи при цьому поняття еквівалентної теплопровідності $\lambda_{\text{ек}} = \lambda \cdot \epsilon_{\text{к}}$. Тут λ коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К); $\epsilon_{\text{к}}$ - коефіцієнт конвекції, який враховує вплив конвекції на передачу теплоти від гарячої стінки до холодної і залежить від числа Релея Ra.

Густину теплового потоку q , Вт/м² в цьому випадку можна визначити за формулою теплопровідності через плоску стінку $q = \lambda_{\text{ек}} (t_{\text{c1}} - t_{\text{c2}}) / \delta$, де t_{c1} та t_{c2} температури нагрітої і холодної повер-

хонь, °С; δ - товщина прошарку, м (визначальний лінійний розмір).

В розглядуваному інтервалі температур -50... 250 °С для сухого повітря із граничною відносною похибкою 0,4%

$$\lambda = (10^4 / T + 4,39)^{-1} \quad (1)$$

Дослідниками запропоновано ряд формул стосовно розрахунку окремих задач вільної конвекції в обмеженому просторі (для вертикальних, горизонтальних, циліндричних і сферичних прошарків) [1]. Згідно М.О. Міхєєву через наближеність цих формул для оцінки інтенсивності теплообміну всієї області конвекції при $Ra > 10^3$ можна використовувати залежність $\epsilon_{\text{к}} = 0,18 Ra^{0,25}$ [2]. Цією формулою користуються найчастіше.

При $Ra < 10^3$ передача теплоти від гарячої стінки до холодної відбувається лише теплопровідністю. Конвекція відсутня також в горизонтальних прошарках, якщо нагріта поверхня розташована зверху. Число (критерій) Релея

$$Ra = Fu_p \cdot (t_{\text{c1}} - t_{\text{c2}}) \delta^3 \quad (2)$$

де $Fu_p = f(g, T, \nu, \alpha)$ температурна функція теплофізичних параметрів сухого повітря, яка враховує вплив прискорення вільного падіння g , м²/с; се-

ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

редню абсолютну температуру повітря T , К; його кінематичну в'язкість ν , $\text{м}^2/\text{с}$ та температуропровідність a , $\text{м}^2/\text{с}$. За визначальну температуру береться середня температура повітря $t = (t_{c1} + t_{c2})/2$.

При $t = -50 \dots 250$ °С з $\delta F_{\text{п}} = 0,9\%$ температурна функція параметрів повітря

$$F_{\text{п}} = 10^6 \exp(0,25433 \cdot \ln^2 T - 7,5616 \cdot \ln T + 39,383) \quad (3)$$

Товщина прошарку, більше якої теплообмін обумовлений не лише теплопровідністю ($Ra = 10^3$)

$$\delta_{\text{max}} = 10 / (F_{\text{п}} \Delta t)^{1/3} \quad (4)$$

В практичних розрахунках найчастіше треба визначити середню густину теплового потоку q через прошарок з повітрям. Це можна швидко зробити за запропонованою нами дуже «простою» формулою:

$$q = (1,433 \cdot \lg T - 1,408)^{-1} \cdot (t_{c1} - t_{c2})^{1,25} \cdot \delta^{-0,25} \quad (5)$$

Перший співмножник цієї формули з граничною відносною похибкою в 0,4% враховує вплив температури ($t = -50 \dots 250$ °С) на теплофізичні параметри сухого повітря.

Для прикладу визначимо q крізь вертикальну щілину товщиною $\delta = 10$ мм, заповнену повітрям при $t_{c1} = 180$ °С та $t_{c2} = 60$ °С. Визначальна температура $t = (180 + 60)/2 = 120$ °С, а $T = 120 + 273,15 = 393,15$ К.

При цій T за формулою (3) температурна функція повітря $F_{\text{п}} = 26,73 \cdot 10^6$.

За формулою (2) число Релея $Ra = 26,73 \cdot 10^6 (180 - 60) \cdot 0,01^3 = 3208 > 10^3$. Коефіцієнт конвекції $\epsilon_k = 0,18(3208)^{0,25} = 1,355$.

Теплопровідність повітря за формулою (1) $\lambda = (10^4 / 393,15 + 4,39)^{-1} = 0,0335$ Вт/(м·К).

Еквівалентна теплопровідність повітря $\lambda_{\text{ек}} = 0,0335 \cdot 1,355 = 0,0454$ Вт/(м·К).

Густина теплового потоку крізь щілину $q = 0,0454(180 - 60)/0,01 = 544,8$ Вт/м².

Максимальна товщина прошарку, коли ще відсутній вплив конвекції за формулою (4)

$$\delta_{\text{max}} = 10 / (26,73 \cdot 10^6 \cdot 120)^{1/3} = 6,78 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6,78 \text{ мм.}$$

Середня густина теплового потоку за «простою» формулою (5)

$$q = (1,433 \cdot \lg 393,15 - 1,408)^{-1} \cdot (180 - 60)^{1,25} \cdot 0,01^{-0,25} = 0,4329 \cdot 397,15 \cdot 3,162 = 543,7 \text{ Вт/м}^2.$$

В роботі [3, с.215] за однакових вихідних даних $q = 541$ Вт/м². Гарний збіг результатів є і з іншими опублікованими в науково-технічній літературі прикладами.

Висновки

Запропоновані в статті формули охоплюють широкий інтервал температур повітря, є простими і досить точними, не потребують використання будь-яких таблиць. За «простою» формулою густину теплового потоку через прошарок повітря можна визначити протягом двох хвилин. ■

Список використаних джерел

1. Василенко С.М. Основи тепломасообміну: підручник/ С.М. Василенко, А.І. Українець, В.В. Олішевський. – К. : НУХТ, 2004. – 250 с.
2. Исаченко В.П. Теплопередача: учеб.для ВУЗов/ В.П.Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 416 с.
3. Алабовский А.Н. Техническая термодинамика и теплопередача/ А.Н. Алабовский, И.А. Недужий. – К. : Вышча шк., 1990. – 255 с.

ЦІКАВІ ФАКТИ

В ірландському болоті знайшли 2000-літній шмат масла



10-кілограмовий шмат масла віком 2000 років знайшов в ірландському болоті на кордоні трьох стародавніх баронств працівник Джек Конуей, під час різання дерену.

Коли чоловік понюхав брилу, то відзначив, що вона пахне, як сир.

Експерти кажуть, що ця знахідка у свій час могла бути підношенням богам або духам аби вони оберігали цю територію від нападів.

Енді Холпін, помічник доглядача відділу старожитностей ірландського музею, розповів, що раніше ці болота були недо-

ступними для людей і таїли у собі багато таємниць.

Після огляду знахідки науковці прийшли до висновку, що це масло можна їсти, проте все ж не ризикували це робити.

Повідомляється, що масло, яке знаходили у торфі, часто називають «болотним». Традиція ховати його у таких місцях започаткована 1800-2000 років тому. Перебуваючи у середовищі без доступу повітря, цей продукт міг зберігатися дуже багато часу, не втрачаючи запаху та смакових якостей.

Подібні знахідки іноді трапляються у Шотландії та Ірландії. Неодноразово масло виявляли у дерев'яних контейнерах або замотаним у шкіру тварин.

Джерело: DailyMail