

УДК 614

Марусін Д.І.¹, Лушин С.П.²

¹студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

²канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЯК ІНСТРУМЕНТ СУЧАСНОГО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Нагальне питання сучасного світу – доцільне використання енергоносіїв та економія енергоресурсів. Один із найефективніших методів сучасного енергозбереження – це збереження генерованого тепла.

Поняття теплопровідності є фундаментом для будь-якого сучасного спеціаліста в області енергетичних систем. Розрахунок енергетичних установок, робочих процесів, теплового захисту повністю ґрунтується на теорії теплопровідності. Теорія широко підкріплена багатьма прикладами роботи реальних систем.

Теплопровідність – це один із простих видів теплообміну. Розглянемо випадок теплопровідності і теплопередачі через плоску стінку в одновимірному температурному полі. Загалом строго одновимірних систем не існує. Але дуже часто в практично важливих випадках, з доволі високою точністю систему можна вважати одновимірною.

Розглянемо однорідну та ізотропну стінку товщиною δ зі сталим коефіцієнтом теплопровідності λ . На зовнішніх поверхнях стінки підтримуються сталими температури t_{w1} і t_{w2} . При заданих умовах температура буде змінюватись тільки в напрямку, перпендикулярному площині стінки. Якщо вісь OX направити перпендикулярно до площини стінки, то температура в напрямку осей OY та OZ буде залишатися сталою:

$$\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

У зв'язку з цим, диференційне рівняння теплопровідності для даного випадку запишеться у вигляді:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0. \quad (2)$$

Граничні умови в даній задачі сформулюємо наступним чином:

$$\text{при } x=0; t=t_{w1}, \text{ при } x=\delta, t=t_{w2}. \quad (3)$$

Рівняння (2) та умови (3) дають повне математичне формулювання даної задачі. У результаті розв'язку поставленої задачі повинен бути знайдений розподіл температури у плоскій стінці, тобто $t=f(x)$, та отримана формула для визначення кількості тепла, що проходить за одиницю часу через стінку. Закон розподілу температур по товщині стінки знайдемо в результаті подвійного інтегрування рівняння (2). Перше інтегрування дає:

$$\frac{dt}{dx} = C_1. \quad (4)$$

Після другого інтегрування отримаємо:

$$t = C_1 x + C_2. \quad (5)$$

З рівняння (5) випливає, що при сталому коефіцієнті теплопровідності температура в стінці змінюється по лінійному закону. Сталі C_1 та C_2 в рівнянні (5) визначаються з граничних умов:

$$\text{при } x=0, t=t_{w1}, \text{ та } C_2=t_{w1}; \quad (6)$$

$$\text{при } x=\delta, t=t_{w2}, \text{ та } C_1 = -\frac{t_{w1}-t_{w2}}{\delta} x. \quad (7)$$

Підставляючи значення констант C_1 і C_2 в рівняння (5), отримуємо закон розподілу температури в даній плоскій стінці:

$$t = t_{w1} - \frac{t_{w1}-t_{w2}}{\delta} x. \quad (8)$$

Оскільки густина теплового потоку визначається як

$$q_w = -\lambda \left(\frac{dt}{dx} \right), \quad (9)$$

то з урахуванням (4) та виразу для C_1 отримаємо:

$$q_w = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}). \quad (10)$$

З рівняння (10) можна зробити висновок, що питомий тепловий потік, що проходить за одиницю часу, прямо пропорційний теплопровідності λ , різниці температур на зовнішніх поверхнях стінки ($t_{w1}-t_{w2}$) та обернено пропорційний товщині стінки δ [1].

Відношення λ/δ , Вт/(м²·К) називають тепловою провідністю стінки, а обернену величину δ/λ , (м²·К)/Вт, – термічним опором теплопровідності стінки [2]. Використовуючи поняття термічного опору, формулу розрахунку густини теплового потоку можна представити у вигляді:

$$q_w = \frac{(t_{w1}-t_{w2})}{R}, \quad (11)$$

де $R = \delta/\lambda$ – термічний опір [2].

Загальна кількість теплоти, що передається через стінку площею S за одиницю часу, визначається наступним чином:

$$q_w S = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) S. \quad (12)$$

Приклад 1. Дана модель може, наприклад, бути застосована для розрахунку потоку тепла через віконну раму, якщо температура в приміщенні і назовні суттєво не змінюється. З певними наближеннями в цьому випадку систему можна вважати стаціонарною одновимірною. Склопакет у вікні може бути заповнений:

1) повітрям з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda=0,025$ Вт/м·К (нормальні умови),

2) аргоном з $\lambda=0,0164$ Вт/м·К, та криптоном з $\lambda=0,0095$ Вт/м·К.

Використовуючи означення термічного опору і формулу (11), приходимо до висновку, що при однакових значеннях теплового потоку використання аргону дає змогу зменшити товщину склопакета більш ніж в 1,5 рази у порівнянні з повітрям, а використання криптону – більше ніж в 2,6 рази.

Тобто, розглянувши дану модель, ми маємо конкретне рішення із застосування енергоефективного склопакету залежно від використання повітря заповнення, яке дозволяє економити матеріал склопакету.

Приклад 2. Розрахуємо потрібну товщину пінопласту для утеплення будинку. Переваги цього матеріалу є очевидними, тому такий вибір цілком зрозумілий. Розглянемо алгоритм розрахунку на прикладі утеплення будинку з силікатної цегли (теплопровідність цегли - 0,4 Вт/(м·град), пінопласту – 0,039 Вт/(м·град), товщина стіни 0,25 м у Запорізькій області. Врахування кліматичних особливостей місцевості проводиться за допомогою спеціального коефіцієнта R , який називається термоопором. Він задається державними будівельними нормами. Для південних регіонів України $R=2,8$ (м²·К)/Вт.

Вираховуємо тепловий опір стіни: $R_{ст}=0,25/0,4=0,625$ (м²·К)/Вт. Віднімаємо отримане значення з нормативного показника та отримуємо необхідний термоопір пінопласту: $R_{п}=2,8-0,625=2,175$ (м²·К)/Вт. Знаходимо необхідну товщину утеплювача, для чого його термоопір множимо на коефіцієнт теплопровідності: $h=2,175 \cdot 0,039=0,085$ м.

Таким чином, для утеплення стіни в одну цеглу достатньо шару пінопласту завтовшки 8,5 см. Із особистого досвіду можна стверджувати, що утеплення житла однієї квартири пінопластом товщиною 5 см дозволяє підвищити температуру приміщення на 3-4 градуси.

Аналіз результатів показує, що розрахунки теплопровідності різних систем дозволяють зменшити втрати тепла і підвищити енергоефективність застосування сучасних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Погорелов, А.І. Тепломасообмін (основи теорії і розрахунку): навч. посібник для вузів / А.І. Погорелов. – Львів: «Новий світ-2000», 2004. – 144 с.
2. Мухачев, Г.А. Термодинамика и теплопередача: учеб. для авиац. вузов / Г.А. Мухачев, В.К. Щукин. – М.: Высш. шк., 1991. – 480 с.