

УДК 621.3

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПУСТОТІЛИХ БУДІВЕЛЬНИХ БЛОКІВ

О.О. КУЗНЕЦОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

Наведено результати чисельного експерименту з визначення ефективного коефіцієнта теплопровідності пустотілих будівельних блоків в залежності від розмірів та кількості порожнин, заповнених повітрям. Отримані результати свідчать, що ефективний коефіцієнт теплопровідності в значній мірі залежить від розмірів отворів у будівельних блоках

Нові тенденції в будівництві пов'язані зі зниженням енерговитрат під час експлуатації будівель. Зниженню втрат теплоти завдяки конструкції сприяє застосування будівельних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності, наприклад, пустотілої цегли, каменів тощо. Тому актуальним питанням є визначення ефективної теплопровідності нових будівельних матеріалів з неоднорідною структурою (порами, повітряними прошарками).

Об'єкти та методи дослідження

Підвищенню енергоефективності будівель сприяє застосування пустотілих будівельних блоків (цеглин, каменів) в огорожувальних конструкціях (зовнішніх стінах). У спеціальній літературі [1, 2, 3] наведені значення ефективних коефіцієнтів теплопровідності для існуючих неоднорідних будівельних матеріалів. Але сучасні більш жорсткі вимоги щодо економії енергоресурсів вимагають впровадження нових будівельних матеріалів з підвищеними теплозахисними властивостями. Для визначення теплозахисних властивостей неоднорідних будівельних матеріалів доцільно застосовувати метод математичного моделювання, бо він у стислий термін дозволяє визначити конструктивні параметри виробу та прогнозувати щодо очікувані теплотехнічні якості.

Постановка завдання

Метою даної роботи є визначення ефективного коефіцієнта теплопровідності пустотілих будівельних блоків у залежності від матеріалу остову блока та розмірів і кількості порожнин, заповнених повітрям. Для розв'язання цієї задачі був застосований чисельний метод контрольних об'ємів [4]. Систему отриманих рівнянь в кінцевих різницях розв'язували за допомогою комп'ютерного математичного пакету MathCad.

Результати та їх обговорення

Пустотілі блоки являють собою неоднорідну конструкцію, що складається, наприклад, з керамічного остову й порожнин (отворів), які заповнені повітрям. Порожнини виконуються або у вигляді щілин, які орієнтовані перпендикулярно або паралельно вектору теплового потоку, або у вигляді паралелепіпедів, циліндрів тощо (рис. 1).

Кількість порожнин може бути різною. Порожнини можуть розташовуватися рядами, у шаховому порядку та у довільній комбінації.

Очевидно, що ефективна (осереднена) теплопровідність будівельного блоку, що визначає його теплоізоляційні властивості, залежить від форми та розміру порожнин, їхньої кількості, розташування тощо.

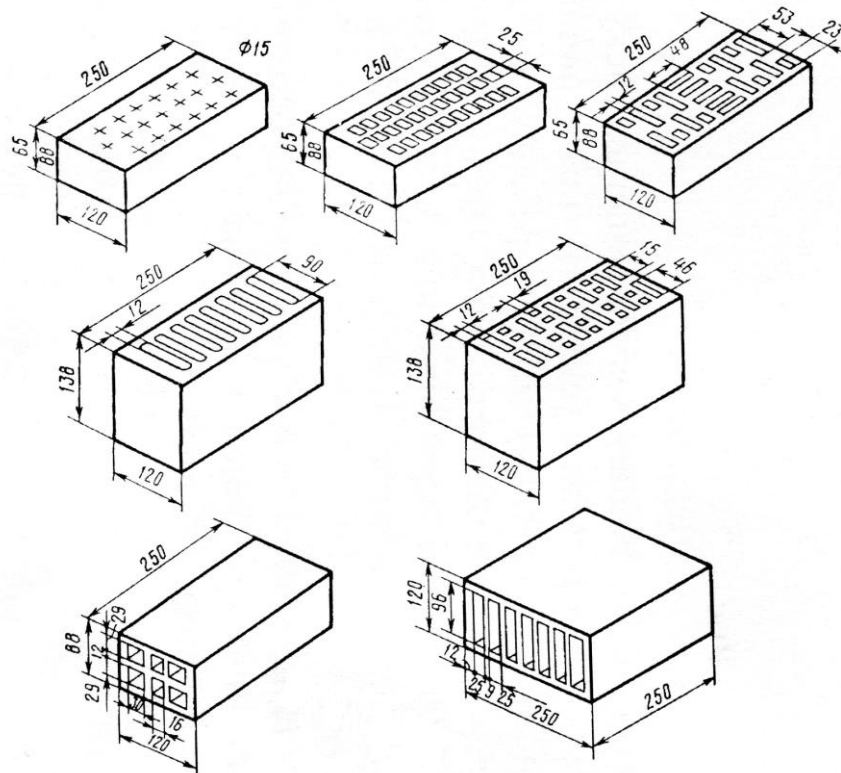


Рис. 1. Розташування та форма порожнин у цеглі та будівельних каменях

Визначення коефіцієнта ефективної теплопровідності пустотілого будівельного блоку слід виконувати, виходячи з положення, коли кожний блок розміщується в стіновій кладці. Схематично модель стінової кладки наведена на рис. 2.

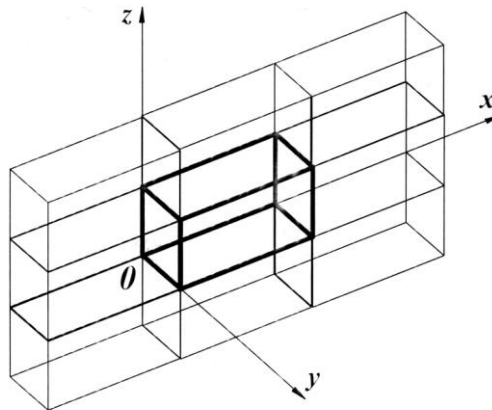


Рис. 2. Розміщення будівельного блоку в стіновій кладці

Якщо розміри такої кладки в напрямках осей z і x значно перевищують розміри будівельного блоку, тоді можна з деяким наближенням вважати, що для кожного блоку в кладці справедливі наступні припущення:

- 1) температура не залежить від координати z ;
- 2) тепловий потік q_x в напрямку координати x через границі будівельного блоку відсутній.

З огляду на те, що тепловий потік в напрямку осі z є відсутнім (температура не залежить від координати z), а також відсутній тепловий потік через границі будівельних блоків у напрямку осі x , для

стаціонарних умов теплообміну тепловий потік, що підводиться до внутрішньої поверхні блоку в кладці (що межує із внутрішнім повітрям у приміщенні), дорівнює тепловому потоку, що відводиться від зовнішньої поверхні блоку у кладці (що межує із зовнішнім повітрям). Такий самий тепловий потік проходить крізь будівельний блок. Відтак, знаючи розподілення температур на поверхнях блоку (на внутрішній та зовнішній), можна визначити середнє значення густини теплового потоку q , що передається тепловіддачею, за відомою формулою Ньютона-Ріхмана [5], а потім визначити еквівалентний коефіцієнт теплопровідності будівельного блоку:

$$\lambda_{ef\delta} = \frac{q \cdot \delta_{\delta}}{(t_{c2} - t_{c1})}, \quad (1)$$

де δ_{δ} – товщина будівельного блоку; t_{c1} , t_{c2} – середні температури зовнішньої та внутрішньої поверхонь будівельного блоку.

З урахуванням наведених вище припущень для визначення розподілу температур у будівельному пустотілому блоці необхідно розв'язати нелінійне стаціонарне рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x, y) \frac{\partial t(x, y)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(x, y) \frac{\partial t(x, y)}{\partial y} \right) = 0, \quad (2)$$

де $t(x, y)$ – температура в точці з координатами x , y ; $\lambda=f(x, y)$ – коефіцієнт теплопровідності, який є функцією координат (тіло – неоднорідне).

Рівняння (2) слід розв'язувати в області (рис. 3), яка є перерізом будівельного блоку площиною $z=const$ та являє собою прямокутник зі сторонами axb , в якому є певна кількість отворів (порожнин) довільної форми S_1, S_2, \dots, S_n .

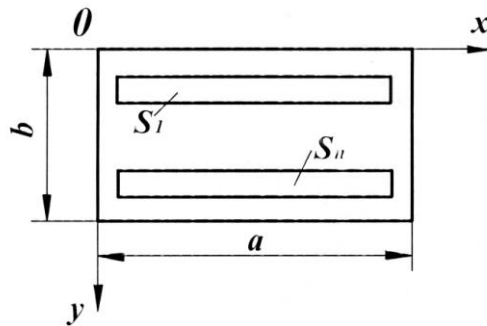


Рис. 3. Ділянка, в якій розв'язується крайове завдання (2) – (5)

Граничні умови для розглядуваної задачі такі:

$$-\lambda(x, 0) \frac{\partial t(x, 0)}{\partial y} \Big|_{y=0} = \alpha_2 (t_{\text{вн}} - t(x, 0)); \quad (3)$$

$$-\lambda(x, b) \frac{\partial t(x, b)}{\partial y} \Big|_{y=b} = \alpha_1 (t(x, b) - t_{\text{зов}}); \quad (4)$$

$$\frac{\partial t(0, y)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial t(a, y)}{\partial x} \Big|_{x=a} = 0, \quad (5)$$

де α_1 , α_2 – коефіцієнти тепловіддачі, відповідно, між зовнішньою поверхнею кладки та зовнішнім повітрям і між внутрішнім повітрям у приміщенні та внутрішньою поверхнею кладки (вважаємо, що

$\alpha_1 = \text{const}$ і $\alpha_2 = \text{const}$); $t_{зов}$, $t_{вн}$ – температури, відповідно, зовнішнього повітря та внутрішнього повітря у приміщенні.

Для розв'язання крайової задачі (2)-(5) необхідно знати залежність $\lambda = f(x, y)$. Для остову будівельного блоку коефіцієнт теплопровідності дорівнює $\lambda = \lambda_{\text{мат}}$, де $\lambda_{\text{мат}}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, з якого складається остів будівельного блоку.

Через повітряні прошарки будівельного блоку теплота передається не тільки шляхом теплопровідності, але також конвекцією та випромінюванням. Для спрощення розрахунків складний процес передачі теплоти через газові або рідинні прошарки між твердими стінками прийнято розглядати як елементарний процес передачі теплоти шляхом теплопровідності [6], вводячи деякий ефективний коефіцієнт теплопровідності газового прошарку $\lambda_{\text{еф.пр}}$. У цьому випадку кількість теплоти, що передається за одиницю часу між плоскими твердими стінками площею 1 м^2 та температурами поверхонь t_1 та t_2 , становить%

$$q = \frac{\lambda_{\text{еф.пр}}}{\delta} (t_1 - t_2), \quad (6)$$

де δ – товщина газового (повітряного) прошарку.

Для плоских газових (повітряних) прошарків ефективний коефіцієнт теплопровідності визначається за такою формулою:

$$\lambda_{\text{еф.пр}} = \varepsilon_{\kappa} \lambda_{\text{пов}} + \alpha_{\text{вип}} \delta, \quad (7)$$

де $\varepsilon_{\kappa} = \lambda_{\text{ек}} / \lambda_{\text{пов}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив конвекції на перенос теплоти через газовий (повітряний) прошарок; $\lambda_{\text{ек}}$ – еквівалентний коефіцієнт теплопровідності, що враховує перенос теплоти через прошарок як теплопровідністю, так і конвекцією; $\lambda_{\text{пов}}$ – коефіцієнт теплопровідності газу, що заповнює прошарок (у нашому випадку – повітря); $\alpha_{\text{вип}}$ – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням.

Значення ε_{κ} є функцією критеріїв Грасгофа Gr і Прандтля Pr для відповідного газу у прошарку. Якщо $Gr \cdot Pr < 1000$, тоді $\varepsilon_{\kappa} = 1$ (тобто передача теплоти конвекцією через газовий прошарок відсутня). Якщо $Gr \cdot Pr > 1000$, тоді значення ε_{κ} можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{\kappa} = 0,18 (Gr \cdot Pr)^{0,25}. \quad (8)$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням для двох плоских поверхонь визначається з такої залежності:

$$\alpha_{\text{вип}} = \varepsilon c_0 \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] / (t_1 - t_2), \quad (9)$$

де ε – наведений ступінь чорноти для системи; c_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; T_1 , T_2 – температури твердих стінок, К.

Для двох плоских твердих стінок, що мають ступені чорноти ε_1 і ε_2 , наведений ступінь чорноти визначається за такою формулою:

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}. \quad (10)$$

Крайова задача (2) – (5) розв'язувалася за допомогою чисельного методу кінцевих різниць: для розрахунку були прийняті такі значення відповідних параметрів: температура зовнішнього повітря $t_{зов} = 0$

$^{\circ}\text{C}$; температура внутрішнього повітря $t_{\text{вн}}=20^{\circ}\text{C}$; коефіцієнт теплопровідності остову будівельного блоку $\lambda_{\text{мат}}=0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; коефіцієнт теплопровідності повітря $\lambda_{\text{пов}}=0,025 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; коефіцієнт тепловіддачі між зовнішньою поверхнею кладки з будівельних блоків та зовнішнім повітрям $\alpha_1=20 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; коефіцієнт тепловіддачі між внутрішнім повітрям та внутрішньою поверхнею кладки з будівельних блоків – $\alpha_2=5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Розглядалися будівельні блоки з такими розмірами: $a=250 \text{ мм}$; $b=120 \text{ мм}$. Розрахунок проводився для двох варіантів (*A* і *B*) щілиноподібної конфігурації порожнин (рис. 4).

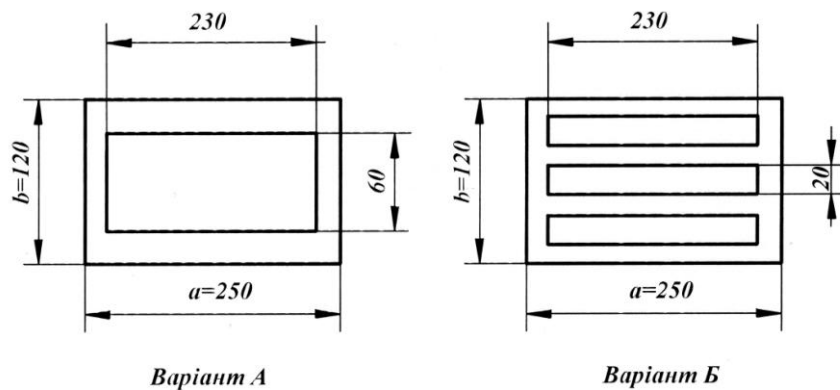


Рис. 4. Два варіанти розміщення порожнин у будівельних блоках

В результаті розрахунків були отримані такі результати. Для варіанта виконання блоку з однією порожниною з товщиною повітряного прошарку 60 мм (варіант *A*) ефективний коефіцієнт теплопровідності становить $0,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а для блоку з трьома порожнинами з товщиною повітряного прошарку в кожній порожнині 20 мм (варіант *B*) ефективний коефіцієнт теплопровідності становить $0,25 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Тобто в обох випадках коефіцієнт теплопровідності є меншим за коефіцієнт теплопровідності остову блоку ($\lambda_{\text{мат}}=0,7 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$).

Але у варіанті *A* ефективний коефіцієнт теплопровідності майже у два рази більше, ніж у варіанті *B*. Це вказує на посилення переносу теплоти конвекцією при збільшенні товщини щілини.

Як зазначено вище, розрахунок було виконано для щілиноподібних порожнин.

Звісно, що порожнини в будівельних блоках можуть бути різноманітної форми та розташовуватися в різноманітному порядку (рядами, шаховому тощо). І тому доцільним є визначення коефіцієнта ефективної теплопровідності будівельного блоку не тільки в залежності від розмірів порожнин, але також від їхньої форми, порядку розташування.

Цій темі будуть присвячені наступні дослідження.

Висновки

Аналізуючи результати чисельного експерименту, можна зробити такі висновки:

1. Ефективний коефіцієнт теплопровідності пустотілого будівельного блоку залежить від конфігурації та розмірів порожнин, заповнених повітрям.

2. Із збільшенням розмірів порожнин щілиноподібної конфігурації посилюється конвективний теплообмін, що призводить до зниження ефективного коефіцієнта теплопровідності будівельного блоку. Тому доцільніше виконувати порожнини меншого розміру, але більшої кількості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия. – М.: Высш. школа, 2008. – 440с.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих конструкций. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
4. Патанкар С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 312 с.
5. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550 с.
6. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1979. – 344 с.

Надійшла 09.12.2009