

УДК 621.3

ТЕПЛОЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ БУДІВЕЛЬНИХ БЛОКІВ ІЗ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИМИ ПРОКЛАДКАМИ

О.О. КУЗНЕЦОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

Шляхом математичного моделювання отримано значення ефективних коефіцієнтів теплопровідності неоднорідних будівельних блоків в залежності від форми та розташування отворів, які заповнені теплоізоляційним матеріалом. На підставі аналізу отриманих результатів визначено конфігурацію будівельного блоку з найкращими теплозахисними властивостями

Сучасні тенденції в будівництві спрямовані на підвищення рівня теплового захисту будівель. Одним із шляхів у цьому напрямку є застосування зовнішніх огорожувальних конструкцій з високими теплозахисними властивостями. Зниженню втрат теплоти через такі конструкції сприяє застосування будівельних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності, наприклад, пустотілої цегли, каменів, будівельних блоків з отворами, що заповнені теплоізоляційним матеріалом тощо. Тому актуальним питанням є визначення ефективної теплопровідності нових будівельних матеріалів з неоднорідною структурою та прогнозування теплофізичних характеристик таких матеріалів в залежності від конфігурації отворів, їхньої кількості, коефіцієнтів теплопровідності теплоізоляційних вкладишів тощо.

Об'єкти та методи дослідження

На ринку щороку з'являються нові високотехнологічні будівельні матеріали з високими теплозахисними властивостями. Як правило, ці матеріали мають неоднорідну структуру і складаються з так званого остову (з бетону, кераміки тощо) та пор, що заповнені повітрям, або отворів, які можуть заповнюватися матеріалом з низьким коефіцієнтом теплопровідності. В спеціальній літературі [1 – 4] наведені значення ефективних коефіцієнтів теплопровідності для існуючих неоднорідних будівельних матеріалів. Для прогнозування теплозахисних властивостей нових неоднорідних матеріалів та оптимізації характеристик останніх доцільно застосовувати метод математичного моделювання.

Постановка завдання

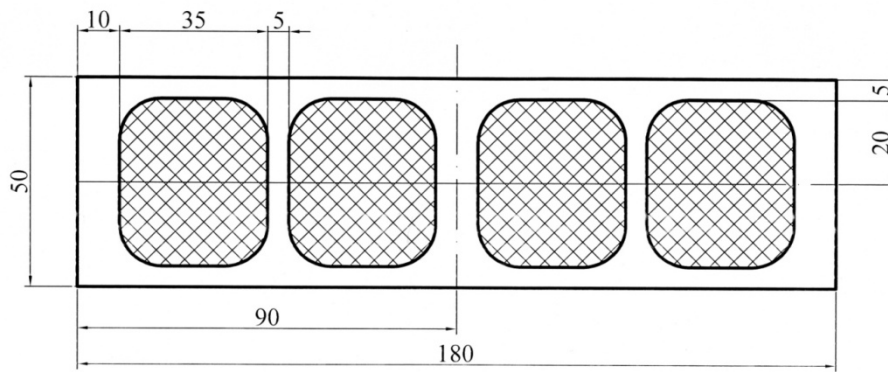
Мета даного дослідження – є визначення ефективного коефіцієнта теплопровідності бетонних будівельних блоків в залежності від форми та розташування отворів, що заповнені теплоізоляційним матеріалом. Для визначення розподілення температурного поля в будівельних блоках був застосований чисельний метод кінцевих елементів.

Результати та їх обговорення

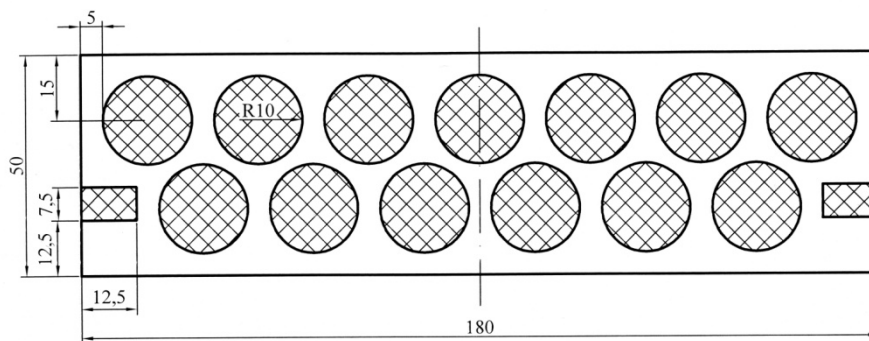
У даній роботі досліджено теплозахисні властивості крупногабаритних бетонних будівельних блоків із отворами, в яких розміщено теплоізоляційні вкладиші. Бетонні блоки використовуються в якості зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель.

Під час розрахунку вважалося, що розміри бетонних блоків в напрямку координати x та координати z (довжина та висота) значно перевищують розміри в напрямку координати y (товщина).

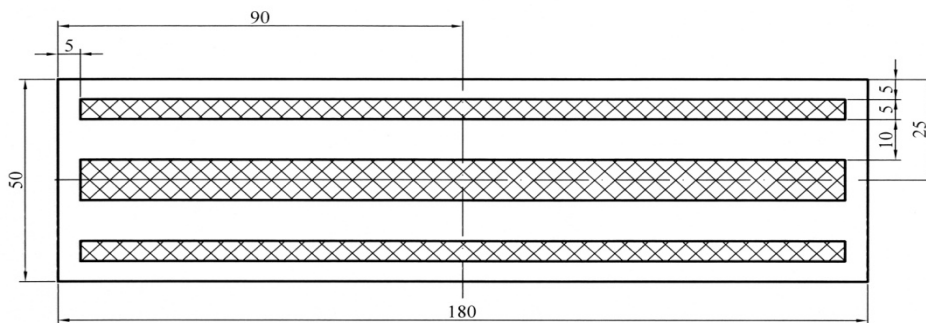
Горизонтальні перерізи блоків (площиною $z=\text{const}$), для яких виконувався теплотехнічний розрахунок, схематично наведені на рис. 1. Розміри наведено в сантиметрах. Штриховкою позначено вкладиші з теплоізоляційного матеріалу.



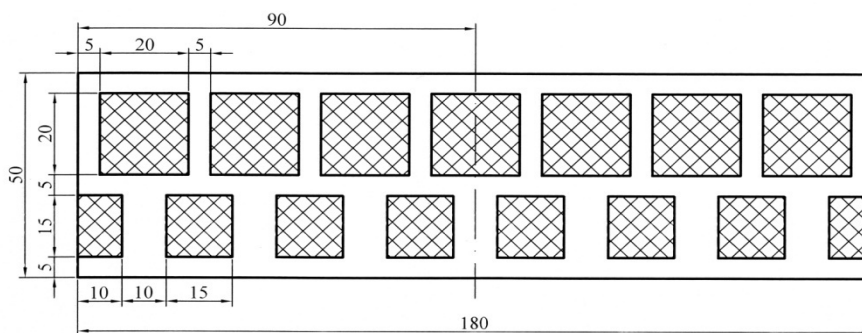
Конфігурація № 1



Конфігурація № 2



Конфігурація № 3



Конфігурація № 4

Рис. 1. Горизонтальні перерізи будівельних блоків

Зважаючи на те, що розміри кожного блоку в напрямках осей z і x значно перевищують розміри в напрямку осі y , можна з деяким наближенням вважати, що температурне поле є двомірним (не залежить від координати z). У місцях вертикальних стиків блоків тепловий потік q_x в напрямку координати x відсутній (через симетричні умови).

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 в напрямку осі x , для стаціонарних умов теплообміну тепловий потік, що підводиться до внутрішньої поверхні блоку, (він межує з внутрішнім повітрям у приміщенні), дорівнює тепловому потоку, що відводиться від зовнішньої поверхні блоку, (він межує з зовнішнім повітрям). Такий самий тепловий потік проходить крізь будівельний блок. Тому, 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 ефективний коефіцієнт теплопровідності будівельного блоку, а саме:

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

де 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 блоці з неоднорідною структурою необхідно було розв'язати таке 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. 2), яка є перерізом будівельного блоку площиною $z=\text{const}$ і являє собою прямокутник зі сторонами $a \times \delta$, в якому є певна кількість отворів (порожнин) довільної форми S_1, S_2, \dots, S_n , що заповнені теплоізоляційним матеріалом.

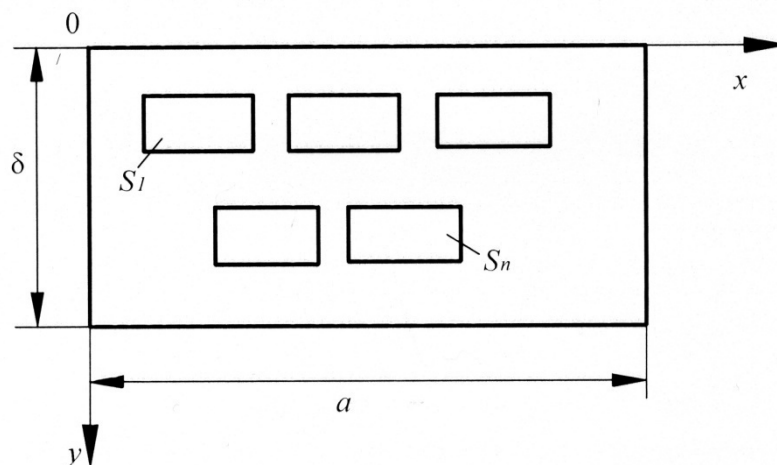


Рис. 2. Область, в якій розв'язується крайова задача (2) – (5)

Граничні умови для задачі, яку розглядаємо, такі:

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

$$-\lambda(x,\delta) \frac{\partial T(x,\delta)}{\partial y} \Big|_{y=\delta} = \alpha_1 (T(x,\delta) - T_{зов}); \quad (4)$$

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

де α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі, відповідно, між зовнішньою поверхнею блоку та зовнішнім повітрям і між внутрішнім повітрям у приміщенні та внутрішньою поверхнею блоку (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'язування крайової задачі (2)–(5) необхідно знати залежність $\lambda = f(x,y)$. Для остову будівельного блоку коефіцієнт теплопровідності дорівнює $\lambda = \lambda_{бет}$, де $\lambda_{бет}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, з якого складається остів будівельного блоку, тобто бетону. Для термовкладишів (теплоізоляційного матеріалу, яким заповнено отвори будівельного блоку) $\lambda = \lambda_{із}$.

Крайова задача (2) – (5) розв'язувалася за допомогою чисельного методу кінцевих елементів. Для розрахунку були прийняті такі значення відповідних параметрів: температура зовнішнього повітря $T_{зов} = 253$ К; температура внутрішнього повітря $T_{вн} = 293$ К; коефіцієнт теплопровідності остову будівельного блоку (бетону) $\lambda_{бет} = 1$ Вт/(м·К); коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу, яким заповнено отвори – $\lambda_{із} = 0,1$ Вт/(м·К); коефіцієнт тепловіддачі між зовнішньою поверхнею блоку та зовнішнім повітрям $\alpha_1 = 23,2$ Вт/(м²·К); коефіцієнт тепловіддачі між внутрішнім повітрям та внутрішньою поверхнею блоку – $\alpha_2 = 8,7$ Вт/(м²·К).

В результаті розрахунків отримано картину розподілення температурного поля будівельних блоків у площинах $z = \text{const}$. Графічні залежності розподілення температури на внутрішній поверхні блоків наведено на рис. 3 (з огляду на симетрію блоків відносно вертикальної площини $a/2 = \text{const}$, наведено розподілення температур лише для діапазону $0 \leq y \leq a/2$), а середні температури внутрішньої та зовнішньої поверхонь, мінімальної температури внутрішньої поверхні та еквівалентного коефіцієнта теплопровідності наведено в таблиці 1. Також для порівняння у таблиці наведено значення відповідних параметрів для суцільного бетонного блоку.

Як видно з табл.1, застосування бетонних блоків із порожнинами, що заповнені теплоізоляційним матеріалом, призводить до суттєвого зменшення ефективного коефіцієнта теплопровідності порівняно із застосуванням суцільного будівельного блоку. При цьому найбільше значення ефективного коефіцієнта теплопровідності отримано для конфігурації №2, а найменше – для конфігурації № 3. Але слід відзначити, що у блоці з конфігурацією № 3 існують найбільш виражені «містки холоду», які розташовані ліворуч та праворуч від щілиноподібних отворів, що заповнені теплоізоляцією. Тому для зменшення негативного впливу на теплозахисні властивості «містків холоду» було запропоновано застосувати конфігурацію № 5 (схема горизонтального перерізу для блоку цієї конфігурації наведено на рис. 4), при якій «містки холоду» перекриваються отворами із термовкладишами.

Розрахунки показують, що середня температура внутрішньої поверхні для блоку такої конфігурації становить 290,58 К, середня температура зовнішньої поверхні – 253,91 К, а ефективний коефіцієнт теплопровідності – $\lambda_{\text{еф}}=0,29$ Вт/(м·К), тобто, як і було попередньо прогнозовано, є найменшим серед усіх конфігурацій блоків, що розглядалися.

Таблиця 1. Параметри внутрішньої та зовнішньої поверхні будівельних блоків

Конфігурація будівельного блоку	Середня температура внутрішньої поверхні блоку, К	Середня температура зовнішньої поверхні блоку, К	Мінімальна температура внутрішньої поверхні, К	Ефективний коефіцієнт теплопровідності блоку $\lambda_{\text{еф}}$, Вт/(м·К)
суцільний бетонний блок	286	255,6	286	1,00
№ 1	290,02	254,02	288,98	0,36
№ 2	289,41	254,35	288,57	0,45
№ 3	290,28	254,02	288,32	0,33
№ 4	289,71	254,23	288,55	0,40

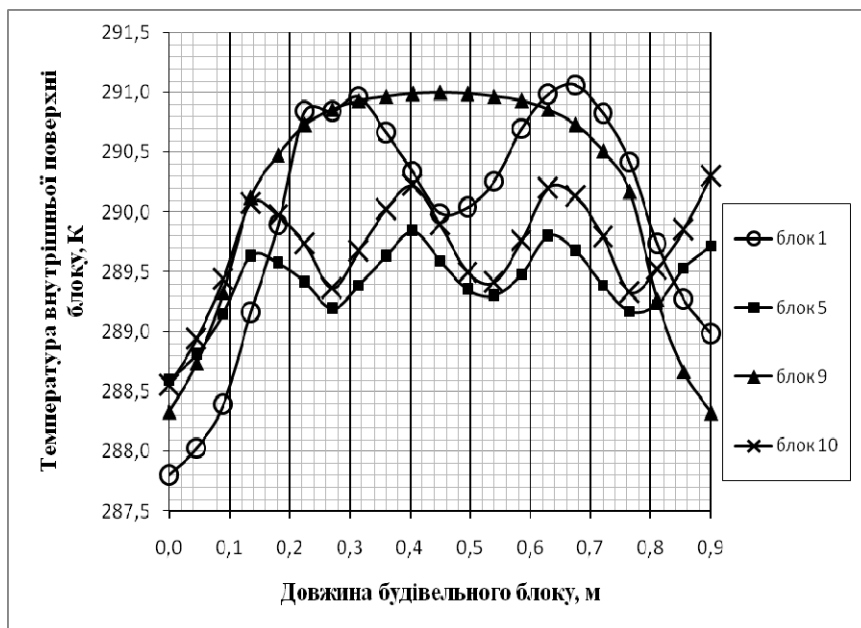


Рис. 3. Графічні залежності розподілення температури на внутрішній поверхні будівельних блоків

Температура внутрішньої поверхні зовнішньої стіни має бути вище за температуру точки роси для внутрішнього повітря, інакше на внутрішній поверхні стіни відбуватиметься конденсація водяної пари, що міститься у повітрі приміщення. Це явище неприпустиме, бо не відповідає санітарно-гігієнічним нормам. Також утворення конденсату призводить до зменшення терміну експлуатації будівель. Якщо температура в приміщенні становить 20 °С, а відносна вологість повітря – 60 %, тоді відповідна температура точки роси дорівнює 12 °С.

Розрахунки показують, що при досягненні зовнішньої температури -25°C на внутрішній поверхні суцільного бетонного блоку почне утворюватися конденсат. При цьому температура внутрішньої поверхні для будь-якого блоку з термовкладишами що розглядалися, буде перевищувати відповідну температуру точки роси для внутрішнього повітря.

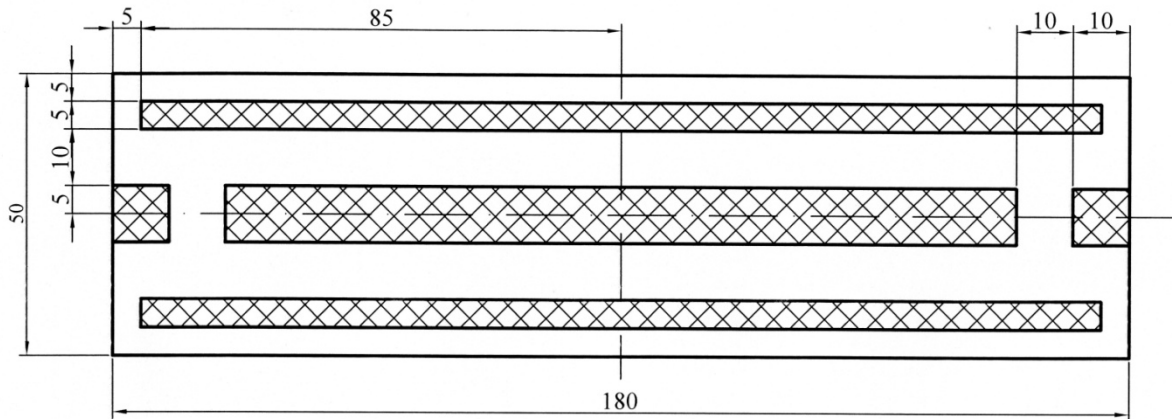


Рис. 4. Поперечний розріз будівельного блоку з конфігурацією № 5

Висновки

Аналізуючи результати чисельного експерименту, можна зробити такі висновки:

1. Застосування бетонних будівельних блоків із отворами, заповненими матеріалом із низьким коефіцієнтом теплопровідності, призводить до суттєвого покращення теплозахисних властивостей огороджувальних елементів будівель.
2. Ефективний коефіцієнт теплопровідності будівельного блоку залежить від конфігурації та розмірів отворів, заповнених теплоізоляційним матеріалом.
3. Найнижче значення ефективного коефіцієнта теплопровідності досягається для блоку з конфігурацією № 5, що свідчить про найкращі теплозахисні властивості цього блоку порівняно з блоками інших конфігурацій.

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. Справочник по теплозащите зданий/ В.П. Хоменко, Г.В. Фаренюк. – К.:– Будівельник.–1986. – 216 с.
5. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. – М.:–Издательство МЭИ.–2005. – 550 с.

Надійшла 15.02.2010