

УДК 514.18

Лещенко В. П.,

*д.т.н., професор Плоский В. О., к.т.н., доцент Панько О. М.,
Київський національний університет будівництва і архітектури*

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ РОЗРОБКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СТІНОВИХ БЛОЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація: розкриваються базові принципи проектування енергоефективних стінових блоків. Виконано аналіз ключових властивостей, якими має бути наділено енергоефективні стінові блоки. Наведено алгоритм визначення значень коефіцієнтів теплопровідності для різних матеріалів, з яких має бути виконано компоненти конструкції блоку. Запропоновано спосіб перевірки теплотехнічних властивостей стінових блоків, що проектуються. Розглянуто приклад аналізу властивостей вже розробленого енергоефективного керамічного багатопустотного стінового блоку.

Ключові слова: енергоефективні стінові блоки, опір теплопередачі.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день питання енергозбереження в будівництві і житлово-комунальному господарстві охоплюють широкий спектр перспективних та важливих напрямків наукових і практичних досліджень, що проводяться спеціалістами будівельної галузі усіх прогресивних країн світу. Особливої уваги потребують питання вітчизняного енергоресурсозбереження, що в останні роки загострилися на фоні складної політичної та економічно-нестабільної ситуації в Україні. Та на жаль, наша держава досі вкрай залежна від імпортованих енергоресурсів.

Одним із можливих шляхів виходу зі сформованої ситуації є постійне перейняття найкращих практик міжнародного досвіду щодо впровадження і використання новітніх будівельних технологій, матеріалів, конструкцій, виробів та обладнання, а також законодавча підтримка проектів зі збереження енергетичних ресурсів, що споживаються в різних секторах промислового, сільськогосподарського та будівельного виробництва.

Важливим кроком у напрямку сталого енергетичного розвитку є постійне поліпшення будівельної нормативної бази та її приведення у відповідність до Європейських та світових стандартів. Слід зазначити, що особливо відчутно такі поліпшення почали здійснюватися протягом останніх п'ятнадцяти років.

На сьогоднішній день будівельна галузь добре забезпечена необхідною нормативно-правовою документацією [1 – 14], спрямованою на підвищення енергоефективності об'єктів архітектури й до їх здачі в експлуатацію з енергетичним паспортом будівлі. При цьому, будівлі мають відповідати класу

енергоефективності не нижче С. Така вимога змушує проектувальників постійно вирішувати нові задачі, спрямовані на зниження обсягів споживання енергетичних ресурсів будівлями та спорудами.

Однією з таких задач є підвищення теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій будівель. Ця задача суттєво відрізняється за підходом до вирішення в залежності від того, чи мова йде про нове будівництво, чи про термомодернізацію уже зведених будівель. Якщо в останньому випадку проектувальники переважно вдаються до влаштування додаткового шару зовнішнього теплоізоляційного матеріалу (утворюючи багатшарову конструкцію), то при новому будівництві виникає можливість застосовувати одношарові конструкції з такими матеріалами зовнішніх стін, які при відносно незначній товщині задовільняють нормативним показниками, зокрема нормативному опору теплопередачі, і не вимагають влаштування системи фасадного утеплення.

Для одношарових зовнішніх стін найчастіше застосовуються пористі або багатопустотні конструкції підвищеного ступеню індустріальності, такі як керамічні, газобетонні, пінобетонні та інші блочні вироби, матеріалам яких характерні низькі значення коефіцієнтів теплопровідності. Пошук оптимальних параметрів таких блочних виробів є досить складним і актуальним завданням, вирішенням якого займаються інженери провідних компаній-виробників будівельних матеріалів та конструкцій.

Формулювання цілей та завдання публікації. Розглянемо основні принципи проектування енергоефективних блоків для одношарових стінових огорожувальних конструкцій. Визначимо ключові вимоги до них та найбільш перспективні напрямки дослідження даного питання.

Огляд основних відомостей. Як уже зазначалося, на сьогоднішній день в Україні найбільшого ужитку набули стінові блочні вироби з ніздрюватих бетонів, таких як газобетон та пінобетон.

Газобетони виробляється шляхом введення до будівельної суміші газоутворювачих домішок (зазвичай дрібнодисперсного металевого алюмінію зі сильнолужним цементним або вапняним розчином). Ці домішки спричиняють виділення газоподібного водню, який спінює цементний розчин, утворюючи в тілі бетону сферичні, замкнуті пори діаметром 1...3 мм.

Пінобетони виробляється шляхом замішування бетонної суміші зі стійкою піною за рахунок чого у тілі виробу в результаті твердіння розчину утворюються замкнуті пори (бульбашки) по всьому об'єму.

Ніздрюваті бетони можуть також бути виготовлені шляхом додавання в якості заповнювача матеріалів, що мають пористу структури. До складу ніздрюватого бетону можуть вводитися заповнювач у вигляді шлакової пемзи,

перліту, вермикуліту, керамзиту, а також інших розповсюджених спучених матеріалів, що не сильно знижують міцнісні характеристики даного бетону.

Ще одними менш розповсюдженими, але досить ефективними блочними виробами, є керамічні багатопустотні блоки. Деякі з них виробляються не лише з формуванням штучних крупних пустот, а й з додаванням спеціальних дрібних заповнювачів (таких, як деревина наприклад), що в процесі термічної обробки випалюються, утворюючи багаточисельні мікропустоти, заповнені повітрям. Також існують комбіновані блочні вироби підвищеного рівня енергоефективності, що передбачають застосування не лише кераміки, а й теплоізоляційних (наприклад, волокнистих) матеріалів в тілі блоків, розміщених безпосередньо у пустотах.

Окрім того, в окремих регіонах використовуються блочні вироби з місцевого природного пористого матеріалу. Для прикладу, в Україні з природних матеріалів найбільшого ужитку набув вапняк-ракушняк (зокрема в південних регіонах).

Усі ці вироби характеризуються високим ступенем пористості. Повітря, яке міститься у порах, має значно нижчий коефіцієнт теплопровідності, ніж матеріал, що його утримує. Відтак, чим вища пористість матеріалу, з якого виготовлено блок, і чим ці пори більш закриті, тим вищий загальний опір теплопередачі результуючого виробу. Для наочності розглянемо фізичні параметри вище згаданих матеріалів (див. таблицю 1 нижче).

Таблиця 1

Фізичні параметри пористих будівельних матеріалів

Назва матеріалу	Характеристика матеріалу		
	Щільність, [кг/м ³]	Теплопровідність, [Вт/(м·°C)]	Міцність на стиск, [МПа]
Пінобетон	≥ 400	≥ 0.12	≥ 3.4
Газобетон*	≥ 300	≥ 0.08	≥ 2.5
Керамзитобетон	≥ 500	≥ 0.18	≥ 3.6
Керамічні блоки**	≥ 740	≥ 0.103	≥ 10
Керамічні комбіновані блоки з внутрішнім ізоляційним матеріалом ***	≥ 690	≥ 0,08	≥ 7.35
Вапняк-ракушняк	≥ 2100	≥ 0.3	≥ 2.5
* Параметри взяті аналогічними до представлених на сайті компанії AEROC для газобетону марки D 300.			
** Параметри керамічних блоків взяті аналогічними до представлених на сайті компанії Wienerberger для блоків марки Porotherm 44 K.			
*** Параметри комбінованих блоків з внутрішнім ізоляційним матеріалом взяті аналогічними до представлених на сайті компанії Wienerberger для блоків марки Porotherm 44 T Profi.			

Основна частина. Дослідження пористих будівельних матеріалів показують, що їх теплопровідність знаходиться у близькій до лінійної залежності від щільності. Тобто зі збільшенням щільності матеріалу зростають

й його теплопровідні властивості і знижуються теплоізоляційні. Це пояснюється тим, що чим щільніший матеріал, тим його пористість нижча.

Однак при цьому варто пам'ятати ще й про те, що блочні вироби огорожувальних конструкцій мають виконувати не лише ізоляційну, а й конструктивну роль. Аналізуючи властивості ніздрюватих бетонів (див. таблицю 1), легко помітити, що чим щільніший матеріал, тим його міцність на стиск вища. Це правило зберігається для переважної більшості будівельних матеріалів. Відтак, при проектуванні будівель та споруд архітекторам та конструкторам необхідно шукати баланс між несучою здатністю зовнішніх стін та їх теплоізоляційними властивостями, підбираючи матеріали і вироби для огорожувальних конструкцій. При цьому може виникнути необхідність не лише відмовитися від місцевих матеріалів, а й повністю змінити конструктивну схему будівлі, особливо, якщо зовнішні стіни внаслідок низької міцності їх матеріалів не здатні виконувати роль несучих огорожувальних конструкцій і можуть бути в кращому випадку самонесучими. Частково ця проблема вирішується шляхом застосування конструктивної схеми з несучим каркасом, хоча влаштування залізобетонного монолітного або металевого каркасу великою мірою збільшує складність та вартість будівельно-монтажних робіт.

Стає очевидним, що більш універсальними є ті будівельні вироби, які можуть бути застосовані в якості несучих елементів зовнішніх огорожувальних конструкцій, зберігаючи високі теплотехнічні властивості. До таких виробів можна віднести сучасні керамічні блоки (для прикладу див. таблицю 1). Єдиною перешкодою широкому розповсюдженню зазначених виробів на вітчизняному ринку будівельного виробництва є їх висока ціна, зумовлена складністю виготовлення та часто необхідністю транспортування на значні відстані від місць виробництва.

Одними із найбільш вдалих прикладів керамічних блочних виробів з високими показниками опору теплопередачі можуть слугувати керамічні блоки Porothersm австрійської компанії Wienerberger.

Спробуємо сформулювати основні правила проектування керамічних стінових блоків для зовнішніх огорожувальних конструкцій, використовуючи в якості об'єкту дослідження конкретний приклад уже розробленого виробу. Для цього детально розглянемо процес проходження теплової енергії крізь товщу рядових керамічних блоків марки Porothersm 44 P+W (див. рис. 1). Розміри блоків складають 440×248×238 мм. Опір теплопередачі матеріалу в поздовжньому напрямку (паралельно грані довжиною 440 мм) становить $R = 3.33 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$, при умові, що блоки влаштовуються на теплоізоляційному полімерному розчині. Міцність блоку на стиск: 10 МПа.

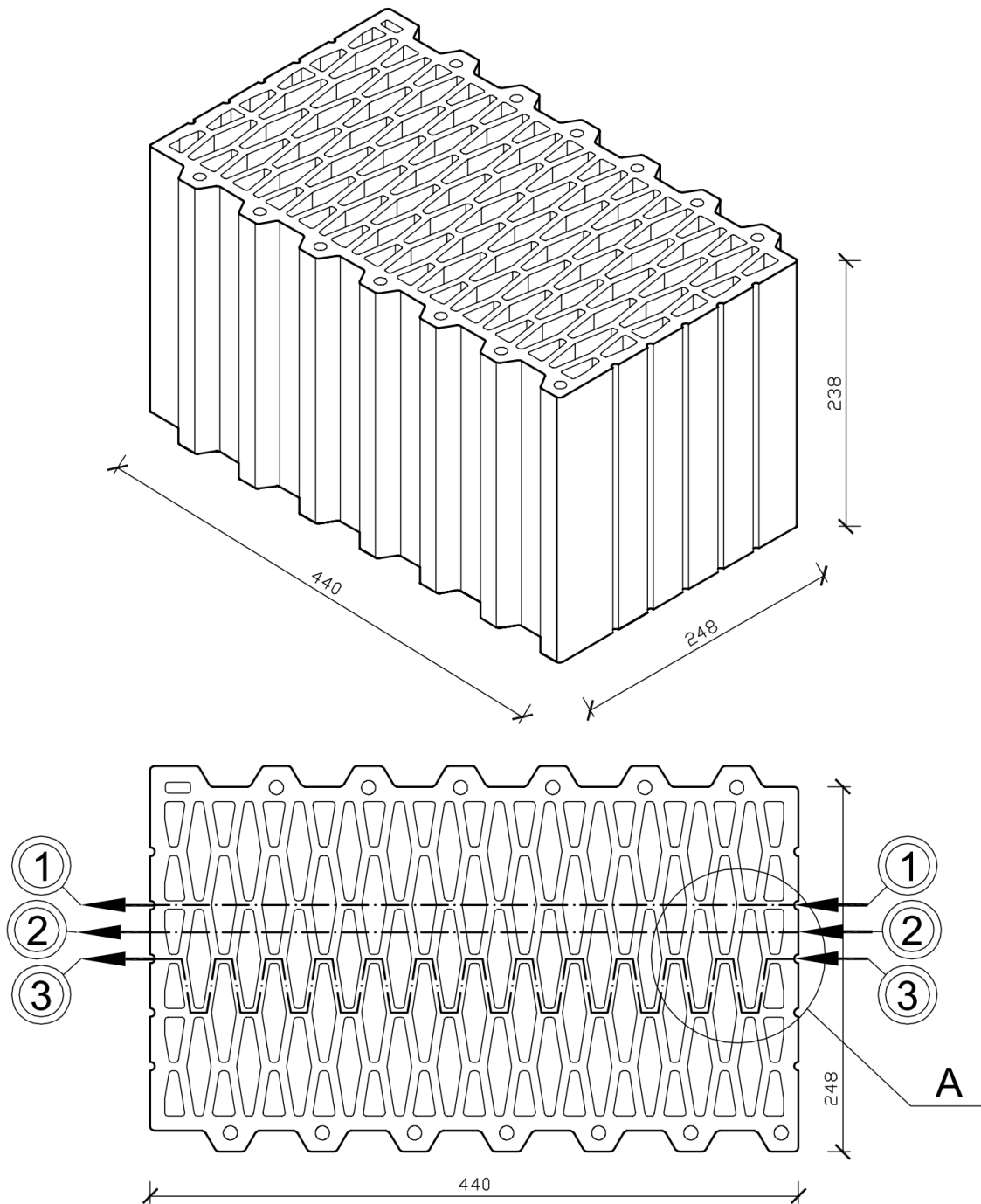


Рис. 1. Поширення теплової енергії крізь товщу енергоефективних керамічних блоків. 1, 2 та 3 – позначення трьох варіантів елементарних траєкторій передачі теплової енергії з середини приміщення у зовнішній простір

Проаналізуємо три найбільш типові для даного прикладу траєкторії проходження деякої довільної кількості теплової енергії q від внутрішньої поверхні до зовнішньої (з права на ліво на рисунку 1). Позначатимемо дану кількість енергії відповідно як q_1 , q_2 та q_3 для відповідних траєкторій. Запишемо формули для визначення опору теплопередачі, що чинитиме блок у зазначених

трьох випадках. Для цього умовно виокремимо елементарний фрагмент А конструкції стінового блоку (див. вузол А на рисунку 1 та відповідний рисунок 2).

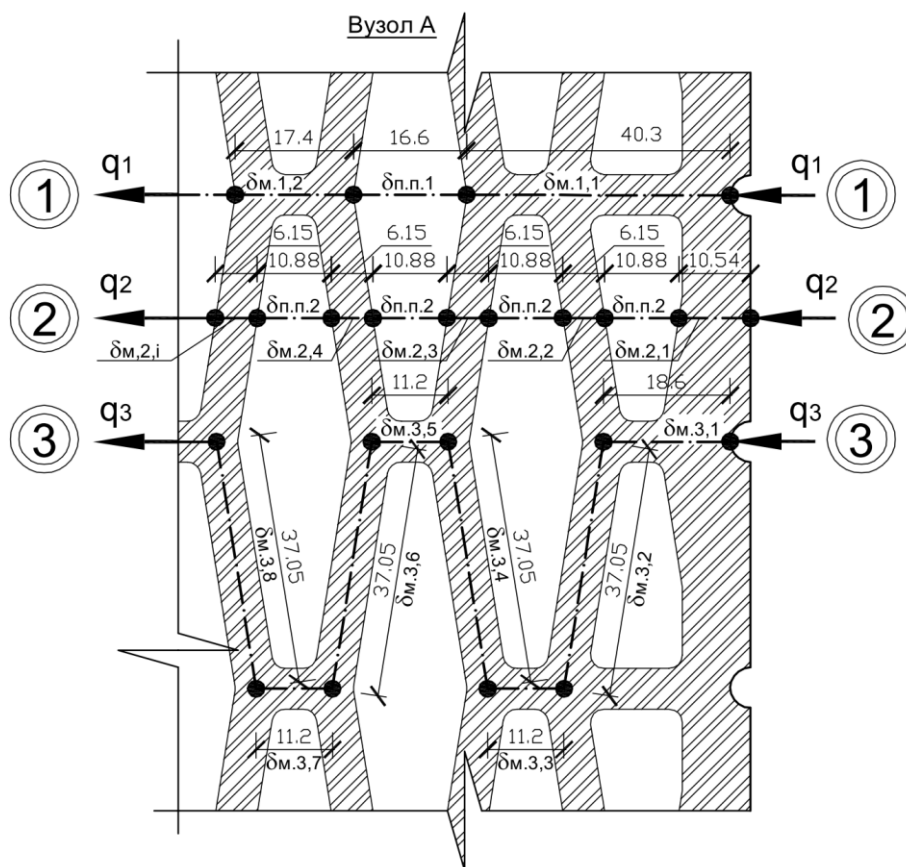


Рис. 2. Елементарний фрагмент конструкції стінового керамічного блоку

Загальна формула для визначення опору теплопередачі конструкції виконаної з одного виду будівельного матеріалу (R_i), що містить повітряні пустоти, по довільному i -му перерізі (траєкторії) матиме наступний вигляд:

$$R_i = R_B + \sum_{j=1}^m R_{M.i,j} + \sum_{k=1}^n R_{П.П.i,k} + R_3 =$$

$$= 1/\alpha_B + \sum_{j=1}^m (\delta_{M.i,j} / \lambda_M) + \sum_{k=1}^n (\delta_{П.П.i,k} / \lambda_{П.П.}) + 1/\alpha_3, \quad (1)$$

де: R_B та R_3 – опори теплопередачі внутрішньої та зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $R_{M.i,j}$ та $R_{П.П.i,k}$ – відповідно опори теплопередачі j -го прошарку матеріалу та k -го повітряного прошарку огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; α_B та α_3 – коефіцієнти тепловіддачі цих поверхонь, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\delta_{M.i,j}$ та $\delta_{П.П.i,k}$ – це відповідно товщини j -го шару матеріалу та k -го шару повітряного прошарку конструкції в i -му перерізі, м;

λ_M та $\lambda_{П.П.}$ – це коефіцієнти теплопровідності матеріалу конструкції та її повітряних прошарків (або утеплювача у пустотах при його наявності) у розрахункових умовах експлуатації, що вимірюються в Вт/(м·К); m та n – кількість шарів матеріалу та повітряних прошарків (або утеплювача в пустотах у разі його наявності) конструкції блоку.

В даному випадку вважатимемо радіаційну та конвективну складові процесу внутрішньої передачі теплової енергії такими, що не спричиняють впливу на поширення енергії по окремих із досліджуваних траєкторій.

Траєкторії №1 та №2 є типовими для структури даного керамічного блоку. Зокрема опір теплопередачі огорожувальної конструкції практично не змінюватиметься при зміщенні траєкторії №2 вище або нижче, паралельно показаному положенню, в межах від точки входження елементарних обсягів теплової енергії q_1 та q_3 . Опір теплопередачі блоку вздовж траєкторії № 1 можна визначити за формулою:

$$R_1 = R_B + \sum_{j=1}^{12} R_{M.1,j} + \sum_{k=1}^{11} R_{П.П.1,k} + R_3 =$$

$$= 1/\alpha_B + \sum_{j=1}^{12} (\delta_{M.1,j} / \lambda_M) + \sum_{k=1}^{11} (\delta_{П.П.1,k} / \lambda_{П.П.}) + 1/\alpha_3, \quad (2)$$

а, враховуючи, що всі крім першого та останнього матеріального прошарку рівні за величиною, й усі повітряні прошарки також рівні за величиною, тобто:

$$\delta_{M.1,1} = \delta_{M.1,12}, \quad (3)$$

$$\delta_{M.1,2} = \delta_{M.1,3} = \delta_{M.1,4} = \dots = \delta_{M.1,11}, \quad (4)$$

$$\delta_{П.П.1} = \delta_{П.П.1,1} = \delta_{П.П.1,2} = \delta_{П.П.1,3} = \dots = \delta_{П.П.1,11}, \quad (5)$$

формулу (2) можна спростити наступним чином:

$$R_1 = 1/\alpha_B + (2 \cdot \delta_{M.1,1} + 10 \cdot \delta_{M.1,2}) / \lambda_M + 11 \cdot \delta_{П.П.1} / \lambda_{П.П.} + 1/\alpha_3. \quad (6)$$

Опір теплопередачі блоку вздовж траєкторії № 2 можна визначити за формулою:

$$R_2 = R_B + \sum_{j=1}^{26} R_{M.2,j} + \sum_{k=1}^{25} R_{П.П.2,k} + R_3 =$$

$$= 1/\alpha_B + \sum_{j=1}^{26} (\delta_{M.2,j} / \lambda_M) + \sum_{k=1}^{25} (\delta_{П.П.2,k} / \lambda_{П.П.}) + 1/\alpha_3, \quad (7)$$

а, беручи до уваги, що, як і у попередньому випадку, всі крім першого та останнього матеріального прошарку рівні за величиною, й усі повітряні прошарки рівні за величиною, тобто:

$$\delta_{M.2,1} = \delta_{M.2,26}, \quad (8)$$

$$\delta_{M.2,2} = \delta_{M.2,3} = \delta_{M.2,4} = \dots = \delta_{M.2,25}, \quad (9)$$

$$\delta_{П.П.2} = \delta_{П.П.2,1} = \delta_{П.П.2,2} = \delta_{П.П.2,3} = \dots = \delta_{П.П.2,25}, \quad (10)$$

формулу (7) можна спростити наступним чином:

$$R_2 = 1/\alpha_B + (2 \cdot \delta_{M.2,1} + 24 \cdot \delta_{M.2,2})/\lambda_M + 25 \cdot \delta_{П.П.2}/\lambda_{П.П.} + 1/\alpha_3. \quad (11)$$

Траєкторія №3 представляє окремий інтерес, оскільки вона включає усі ділянки, які може пройти тепловий потік по мінімальній відстані шляхом кондуктивної передачі енергії (трансмісійно). Опір теплопередачі блоку вздовж траєкторії № 3 за відсутності у її складі повітряних пустот можна визначити за формулою:

$$R_3 = R_B + \sum_{j=1}^{49} R_{M.3,j} + R_3 = 1/\alpha_B + \sum_{j=1}^{49} (\delta_{M.3,j}/\lambda_M) + 1/\alpha_3, \quad (12)$$

й знову враховуючи, що всі крім першого та останнього матеріального прошарку повторно рівні за величиною (через один), тобто:

$$\delta_{M.3,1} = \delta_{M.3,49}, \quad (13)$$

$$\delta_{M.3,2} = \delta_{M.3,4} = \delta_{M.3,6} = \dots = \delta_{M.3,j} = \delta_{M.3,j+2} = \dots = \delta_{M.3,48}, \quad (14)$$

$$\delta_{M.3,3} = \delta_{M.3,5} = \delta_{M.3,7} = \dots = \delta_{M.3,j+1} = \delta_{M.3,j+3} = \dots = \delta_{M.3,47}, \quad (15)$$

формулу (12) можна спростити наступним чином:

$$R_3 = 1/\alpha_B + (2 \cdot \delta_{M.3,1} + 24 \cdot \delta_{M.3,2} + 23 \cdot \delta_{M.3,3})/\lambda_M + 1/\alpha_3. \quad (16)$$

Проаналізуємо більш ретельно рівняння (6), (11) та (16).

Перш за усе відмітимо, що у цих формулах замість класичного позначення опору теплопередачі (або термічного опору) $R_{П.П.i,k}$ використано його запис у формі відношення довжин до теплопровідностей: $\delta_{П.П.i,k} / \lambda_{П.П.}$. Це пов'язано з тим, що ДБН В.2.6-31:2006 (Теплова ізоляція будівель, таблиця И.1) [7] наводяться значення термічних опорів замкнутих повітряних прошарків для їх товщин з мінімальним кроком показників в 10 мм. У ДБН В.2.6-31:2016 [8] цих даних взагалі не наводиться. Відтак, для уникнення використання неточних

інтерполяційних методик при детальному аналізі структури виробу, більш доцільним буде саме такий запис термічного опору. Відповідні значення опору можна буде визначити, відштовхуючись від наступних міркувань.

Загальний термічний опір блоку R в усіх перерізах (перпендикулярних площині стіни траєкторіях передачі теплової енергії) має бути приблизно однаковим та складати величину, одержану виробником шляхом лабораторних випробувань. Відтак, для блоку Porotherm 44 P+W, рівності (6) та (11) мають виконуватися при підстановці у них реальних товщин прошарків та величин теплопровідності з одночасною підстановкою R в якості R_1 та R_2 . Так як величини λ_M та $\lambda_{П.П.}$ є невідомими та присутніми в обох рівняннях, визначимо їх із відповідної системи, попередньо виконавши наступні підстановки для полегшення обчислень:

$$k_M = 1/\lambda_M, \quad (17)$$

$$k_{П.П.} = 1/\lambda_{П.П.}. \quad (18)$$

Отже, одержимо наступну систему:

$$\begin{cases} R = 1/\alpha_B + (2 \cdot \delta_{M.1,1} + 10 \cdot \delta_{M.1,2}) \cdot [1/\lambda_M] + (11 \cdot \delta_{П.П.1}) \cdot [1/\lambda_{П.П.}] + 1/\alpha_3; \\ R = 1/\alpha_B + (2 \cdot \delta_{M.2,1} + 24 \cdot \delta_{M.2,2}) \cdot [1/\lambda_M] + (25 \cdot \delta_{П.П.2}) \cdot [1/\lambda_{П.П.}] + 1/\alpha_3. \end{cases}$$

Або, враховуючи підстановки (17) та (18):

$$\begin{cases} (2 \cdot \delta_{M.1,1} + 10 \cdot \delta_{M.1,2}) \cdot k_M + (11 \cdot \delta_{П.П.1}) \cdot k_{П.П.} = R - 1/\alpha_B - 1/\alpha_3; \\ (2 \cdot \delta_{M.2,1} + 24 \cdot \delta_{M.2,2}) \cdot k_M + (25 \cdot \delta_{П.П.2}) \cdot k_{П.П.} = R - 1/\alpha_B - 1/\alpha_3. \end{cases} \quad (19)$$

Підставимо до цієї системи фактичні довжин прошарків згідно рисунку 2 та заявлене виробником значення опору теплопередачі блоку; приймаємо коефіцієнти тепловіддачі поверхонь блоку наступними: $\alpha_B = 8.7$ Вт/(м²·К) та $\alpha_3 = 23$ Вт/(м²·К) (з додатку Е, ДБН В.2.6-31:20026). Отримаємо:

$$\begin{cases} 0.255 \cdot k_M + 0.176 \cdot k_{П.П.} = 3.172; \\ 0.169 \cdot k_M + 0.272 \cdot k_{П.П.} = 3.172. \end{cases}$$

Розв'язавши дану систему, одержимо: $k_M = 7.696$ (м·К)/Вт та $k_{П.П.} = 6.888$ (м·К)/Вт. Скориставшись формулами (17) та (18), отримаємо шукані величини: $\lambda_M = 0.13$ Вт/(м·К) та $\lambda_{П.П.} = 0.145$ Вт/(м·К).

Також підрахуємо термічні опори $R_{П.П.1}$ та $R_{П.П.2}$ повітряних прошарків із товщинами $\delta_{П.П.1}$ та $\delta_{П.П.2}$, що регулярно потрапляють у траєкторії №1 та №2 відповідно. Вони становитимуть: $R_{П.П.1} = 0.11$ м²·К/Вт та $R_{П.П.2} = 0.075$ м²·К/Вт. Ці числа нижчі за нормативні, що не критично. Слід додати, що нормативні

значення опорів теплопередачі повітряних прошарків змінюються незначною мірою в межах $0.13 \dots 0.15 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ для товщин в діапазоні $0.01 \dots 0.3 \text{ м}$.

Даний розрахунок вказує на те, що фактичний опір теплопередачі досліджуваного блоку може бути навіть вищим, ніж заявлено виробником, оскільки нормативні опори теплопередачі запроектованих пустот вищі.

Повертаючись до аналізу опорів теплопередачі, що чинить блочна конструкція вздовж різних траєкторій, проаналізуємо останню з них, опір якої визначається за формулою (16). Очевидно, що даний опір повинен бути не меншим да опори траєкторій №1 та №2. Перевіримо це, підставляючи до зазначеної формули одержані розрахунковим методом коефіцієнти теплопровідності та фактичні довжини внутрішніх ребер блоку. Одержимо: $R_2 = 9.27 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що майже втричі перевищує встановлений опір конструкції $R = 3.33 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$!

Більше того, для перевірки очевидних найбільш слабких місць керамічного блоку, варто провести додатковий розрахунок опору теплопередачі по найдовшій його грані (довжиною $L = 0.44 \text{ м}$ в нашому випадку), оскільки теоретично саме це місце може представляти собою прямий місток холоду, так як дана грань навіпростець й без розривів повітряними прошарками сполучає приміщення й зовнішнє середовище, забезпечуючи прямий трансмісійний перенос теплової енергії. Формула для визначення даного опору (позначимо його R_4) матиме наступну спрощену форму:

$$R_4 = R_B + R_{M.4} + R_3 = 1/\alpha_B + L/\lambda_M + 1/\alpha_3. \quad (20)$$

Підставляючи усі числові параметри, одержимо: $R_4 = 3.545 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що вище, ніж мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції для І-ї температурної зони України ($R_{q \min} = 3.3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$), згідно таблиці 3, ДБН В.2.6-31:2016.

Виконані аналітичні розрахунки дають можливість узагальнити підхід до теплофізичної складової проектування енергоефективних стінових блоків зі складною багатопустотною структурою. У алгоритмічній формі процес забезпечення нормативних або заданих теплотехнічних параметрів блочної конструкції можна описати у наступному вигляді:

1. Визначитися з очікуваним опором теплопередачі огорожувальної конструкції, виконаної зі стінових блоків, що розробляються.

2. Визначитися із геометричними параметрами зовнішніх граней стінових блоків, що розробляються.

3. Сформувати (або згенерувати) внутрішню топологічну структуру решітки матеріальних перегородок та пустот блоку.

4. Визначитися з товщинами внутрішніх перегородок та пустот.

5. Визначитися з місцями розташування найбільш типових траєкторій поширення теплової енергії крізь товщу досліджуваного блоку. Кількість перерізів має відповідати кількості видів матеріалів (включаючи повітря та різні види застосованого утеплювача), для того, щоб у подальшому можна було б скласти і розв'язати відповідну кількість рівнянь теплопередачі. Місця розташування перерізів слід обирати, спираючись на топологію внутрішньої решітки перегородок блоку.

6. Виконати розрахунок необхідних коефіцієнтів теплопровідності матеріалів та пустот блочної конструкції. При цьому, як уже зазначалося допускається, що пустоти можуть бути повністю або частково заповнені утеплювачем одного або кількох видів. Матеріал конструкції також може змінюватися в різних зонах блоку. В узагальненій формі система для визначення шуканих показників теплопровідності може бути записана наступним чином:

$$\left\{ \begin{aligned} & \left(\sum_{k=1}^{m_{1,1}} \delta_{M.1,k} \right) \cdot k_{M.1} + \left(\sum_{k=1}^{m_{1,2}} \delta_{M.2,k} \right) \cdot k_{M.2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^{m_{1,p}} \delta_{M.p,k} \right) \cdot k_{M.p} + \\ & + \left(\sum_{k=1}^{n_1} \delta_{П.П.1,k} \right) \cdot k_{П.П.} = R - 1/\alpha_B - 1/\alpha_3 ; \\ & \left(\sum_{k=1}^{m_{2,1}} \delta_{M.1,k} \right) \cdot k_{M.1} + \left(\sum_{k=1}^{m_{2,2}} \delta_{M.2,k} \right) \cdot k_{M.2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^{m_{2,p}} \delta_{M.p,k} \right) \cdot k_{M.p} + \\ & + \left(\sum_{k=1}^{n_2} \delta_{П.П.2,k} \right) \cdot k_{П.П.} = R - 1/\alpha_B - 1/\alpha_3 ; \\ & \vdots \\ & \left(\sum_{k=1}^{m_{p,1}} \delta_{M.p,k} \right) \cdot k_{M.1} + \left(\sum_{k=1}^{m_{p,2}} \delta_{M.p,k} \right) \cdot k_{M.2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^{m_{p,p}} \delta_{M.p,k} \right) \cdot k_{M.p} + \\ & + \left(\sum_{k=1}^{n_p} \delta_{П.П.p,k} \right) \cdot k_{П.П.} = R - 1/\alpha_B - 1/\alpha_3 ; \\ & \left(\sum_{k=1}^{m_{p+1,1}} \delta_{M.1,k} \right) \cdot k_{M.1} + \left(\sum_{k=1}^{m_{p+1,2}} \delta_{M.2,k} \right) \cdot k_{M.2} + \dots + \left(\sum_{k=1}^{m_{p+1,p}} \delta_{M.p,k} \right) \cdot k_{M.p} + \\ & + \left(\sum_{k=1}^{n_{p+1}} \delta_{П.П.p+1,k} \right) \cdot k_{П.П.} = R - 1/\alpha_B - 1/\alpha_3 . \end{aligned} \right. \quad (21)$$

Тут: m_{ij} – кількість прошарків j -го типу матеріалу (використаного при проектуванні блоку), що попадає в переріз вздовж i -ї траєкторії проходження теплового потоку; n_i – кількість повітряних прошарків, що потрапили в переріз

вздовж i -ї траєкторії проходження теплового потоку; p – кількість видів матеріалів, використаних при проектуванні блоку; $(p+1)$ – загальна кількість рівнянь, що відповідає кількості показників теплопровідності усіх видів використаних матеріалів та повітряного прошарку; k – позначення величин, обернених до значень теплопровідності, $(\text{м}\cdot\text{К})/\text{Вт}$:

$$k = 1/\lambda. \quad (22)$$

7. Спираючись на одержані коефіцієнти теплопровідності, підібрати сировину (склад) для несучої складової (ребер та граней) енергоефективного блоку, що проектується. При цьому можливе виконання додаткових досліджень фізико-хімічного складу сировини у випадку, якщо одержаний склад раніше не застосовувався.

8. Шляхом здійснення моделювання температурного поля в площині перерізу конструкції або іншим методом, визначити найбільш короткі й/або найбільш ймовірні траєкторії передачі теплової енергії від приміщення до зовнішнього середовища шляхом трансмісійного переносу по ребрах та гранях несучого матеріалу блочної конструкції.

9. Виконати розрахунок термічних опорів знайдених траєкторій за формулою (12) та впевнитися, що дані опори не менші за встановлений опір теплопередачі конструкції.

10. Виконати розрахунок блоку на предмет міцності на стиск та стійкості внутрішніх граней із застосуванням сучасних методів чисельного моделювання. Міцнісні характеристики блоку мають бути встановлені відповідно до очікуваних експлуатаційних навантажень, в залежності від області їх подальшого застосування (мається на увазі котеджне, малоповерхове, висотне або інші види будівництва, а також вид стінових огорожувальних конструкцій, для якого планується застосовувати даний будівельний виріб).

Одним із найбільш вдалих матеріалів для енергоефективних боків є пориста кераміка. Вона дозволяє не лише включати в тіло блоку повітряні або заповнені утеплювачем пустоти, а й у значній мірі зберегти досить високу несучу здатність стінової конструкції. Сама ж пориста кераміка володіє відносно високими теплоізоляційними властивостями. В той же час, вироби з ніздрюватих бетонів також представляють значний інтерес для подальших досліджень, оскільки вимагають застосування більш дешевої та доступної майже усюди сировини для їх виготовлення.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропонований алгоритм у тезовій формі відображає правила збереження основних властивостей теплотехнічних та механічних властивостей енергоефективних багатопустотних стінових блоків при їх розробці. Запропонований принцип

пошуку показників теплопровідності може дати змогу забезпечити рівномірні показники опору теплопередачі по всій площині стінової конструкції.

Одним із найбільш цікавих та складних напрямків дослідження даного питання є пошук найбільш ефективних та зручних для комп'ютерної реалізації алгоритмів визначення ймовірних траєкторій проходження теплового потоку крізь товщу конструкції. При цьому актуальним залишається й питання розробки методів визначення таких конфігурацій внутрішньої структури перегородок блоків, які дозволять мінімізувати витрати несучих матеріалів, забезпечивши збереження загальних ізоляційних властивостей виробу при заданих зовнішніх геометричних параметрах.

Вирішення усіх цих питань потребує використання сучасних аналітичних методів інженерних розрахунків, застосування варіативних методів чисельного моделювання та інструментальної бази відомих методів теорії оптимізації функцій багатьох змінних.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ EN 15232:2014. Енергоефективність будівель. Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями. (EN 15232:2012, IDT). – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. - 75 с.
2. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014. Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. - К.: Мінрегіонбуд України, 2014. - 69 с.
3. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015. Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки та енергетичної сертифікації будівель. - К.: Мінрегіонбуд України, 2015.
4. ДСТУ ISO 50001: 2014. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. - К.: Мінрегіонбуд України, 2014 - 20 с.
5. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. - К.: Мінрегіонбуд України, 2015. - 40 с.
6. Директива 2010/31/ЄС Про енергоефективність будівель (EPBD). Офіційний вісник Європейського Союзу. 2010, L 153/13.
7. ДБН В.2.6-31:2006 Теплова ізоляція будівель. - К.: Мінбуду України, 2006. - 73 с.
8. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. - К.: Мінрегіонбуд України, 2016, 30 с.
9. Директива 2010/30/ЄС Про вказування за допомогою маркування та стандартної інформації про товар обсягів споживання енергії та інших ресурсів енергоспоживчими продуктами. Офіційний вісник Європейського Союзу. 2010, L 153/1.

10. Директива 2006/32/ЄС Про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичні послуги (з 25.10.2012 EED 2012/27/ЄС Про енергоефективність). Офіційний вісник Європейського Союзу. 2006. (2006 L0032 — UA — 11.12.2008 — 001.001 — 1).

11. Угода про асоціацію між Україною та ЄС. Стаття 56 Зближення технічного регулювання, стандартів та оцінки відповідності. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011

12. Закон України «Про внесення змін до Бюджетного кодексу України щодо запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації». URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/327-19>.

13. Закон України «Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації». URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/327-19>.

14. Закон України «Про енергоефективність будівель». URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>.

15. *Скочко В. І.* Пошук містків холоду у вузлах будівельної конструкції на основі спеціальних інтерполяційних функцій / *В. І. Скочко* // Енергозбереження в будівництві та архітектурі, вип. 4. – К.: КНУБА, 2014. – С. 259-264.

Аннотация

В работе раскрываются базовые принципы проектирования энергоэффективных стеновых блоков. Выполнен анализ ключевых свойств, которыми должны обладать энергоэффективные стеновые блоки. Приведен алгоритм определения значений коэффициентов теплопроводности для различных материалов, из которых должны быть выполнены компоненты конструкции блока. Предложен способ проверки теплотехнических свойств проектируемых стеновых блоков. Рассмотрен пример анализа свойств уже реализованного эффективного керамического пустотного стенового блока.

Ключевые слова: энергоэффективные стеновые блоки, сопротивление теплопередаче.

Annotation

The paper reveals the basic principles of designing energy-efficient wall blocks. It is covered an analysis of the key properties that energy-efficient wall blocks should have. An algorithm for determining the values of the thermal conductivity coefficients for various materials from which the components of the block construction should be made is given. A method for testing the thermal properties of the projected wall blocks is proposed. An example of an analysis of the properties of an already effective ceramic multigast (multihole) wall block has been considered.

Key words: energy-efficient wall blocks, heat transfer resistance.