

МЕТОДИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПРИВЕДЕНОГО ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ СТІНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВЕНТИЛЬОВАНИМ ПОВІТРЯНИМ ПРОШАРКОМ

*Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних
конструкцій» (ДП НДІБК), Україна*

Постановка проблеми. В останній час в Україні отримали широке застосування конструкції фасадної теплоізоляції з вентиляльованим повітряним прошарком та індустриальним опорядженням. Стінові конструкції, виконані за даним принципом, мають істотні переваги з точки зору будівельної теплофізики, водночас потребують детального аналізу теплових характеристик кінцевого конструктивного рішення при виборі параметрів теплоізоляційного шару. Під параметрами теплоізоляційного шару розуміються показники густини, повітропроникності та розрахункової теплопровідності утеплювача. Відповідно, дані параметри враховуються при проведенні розрахунку приведенного опору теплопередачі стінової конструкції, на підставі якого визначається кінцеве значення товщини теплоізоляційного шару.

В нормативному документі [1] для характеристики теплоізоляційних властивостей огорожувальної конструкції використовуються наступні поняття:

- опір теплопередачі термічно однорідної огорожувальної конструкції, R_{Σ} , $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$;
- приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, $R_{\Sigma \text{пр}}$, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$.

Враховуючи, що стінові конструкції з вентиляльованим повітряним прошарком мають у своєму складі теплопровідні включення, то вони відносяться до термічно неоднорідних огорожувальних і для них необхідно проводити визначення $R_{\Sigma \text{пр}}$. Це положення також чітко визначено у нормативному документі [2].

Мета роботи. Проведення аналізу основних існуючих методичних принципів щодо розрахунку приведенного опору теплопередачі та розроблення уточненої методики розрахунку приведенного опору теплопередачі стінових конструкцій з вентиляльованим повітряним прошарком.

Аналіз існуючих методик розрахунку. Методика визначення приведенного опору теплопередачі встановлюється згідно додатку И [1]. Нормами встановлено два методичні підходи для розрахунків.

Перший метод розрахунку оснований на визначенні опору теплопередачі характерних однорідних фрагментів (зон) огорожувальної конструкції з подальшим визначенням середньозваженого по площині приведенного опору теплопередачі. Алгоритм розрахунку за вказаним методом визначений в [1] на основі формул (И.2), (И.3). Водночас слід зазначити, що математичний вираз за формулою (И.2) містить помилку і

розрахунки за вказаною формулою є невірними. Приведемо зазначений вираз:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{j=1}^J \frac{R_j F_j}{F_{\Sigma}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}}, \quad (1)$$

де $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К); R_j – термічний опір j -ої термічно однорідної зони конструкції, (м²·К)/Вт; F_j – площа j -ої термічно однорідної зони конструкції, м²; F_{Σ} – загальна площа конструкції, м².

Формула (1) була включена до норм на основі раніше діючих нормативів з будівельної теплотехніки [3], однак зазнала помилкової видозміни. Згідно формул (4)-(6) СНиП [3] опір теплопередачі неоднорідної огорожувальної конструкції повинен визначатися за кінцевою формулою:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{j=1}^J \frac{F_{\Sigma}}{F_j} \frac{1}{R_j} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}}. \quad (2)$$

Порівнюючи наведені формули (1) та (2), зрозуміло, що вони не є ідентичними, і при здійсненні розрахунків за ними будуть отримані різні результати.

Водночас, формула (2) також не повністю відображує фізичний зміст поняття приведеного опору теплопередачі. Так, приведеним опором теплопередачі огорожувальної конструкції називається фізична величина, що чисельно дорівнює відношенню перепаду температур повітря по різні сторони огорожувальної конструкції до усередненої за площиною густині теплового потоку через даний фрагмент конструкції при стаціонарних умовах теплопередачі. Дане визначення відповідає формулі:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}{\left(\int_F q dF \right) \cdot F_{\Sigma}^{-1}}, \quad (3)$$

або після перетворень:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}{\left(\int_F q dF \right) \cdot F_{\Sigma}^{-1}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}{\left(\sum_i q_i F_i \right) \cdot F_{\Sigma}^{-1}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_i \left(\frac{q_i}{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}} \cdot F_i \right)} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_i \frac{F_i}{R_{\Sigma i}}}, \quad (4)$$

де $t_{\text{в}}$, $t_{\text{з}}$ – температура відповідно внутрішнього та зовнішнього повітря по різні сторони огорожувальної конструкції, °С (К); q_i – густина теплового потоку через i -ту частину (зону) конструкції, Вт/м²; $R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі i -ої частини конструкції, (м²·К)/Вт; F_i – площа i -ої частини конструкції, м².

Саме останній вираз можна знайти в нормативних документах [4, 5] для визначення приведенного опору теплопередачі.

Навіть, не беручи до уваги сам факт неправильності розрахункової формули в [1], здійснення розрахунків за формулою (4) є досить проблематичним, особливо для конструкцій зовнішніх стін з вентиляльованим повітряним прошарком. Це обумовлено тим, що на практиці не можливо адекватно розділити фрагмент такої конструкції на частини за рахунок наявності великої кількості різного роду теплопровідних включень. Розрахунок приведенного опору за вказаним методом можливий тільки при прийнятті цілого ряду різного роду припущень, що знижують точність розрахунку. Враховуючи, що для таких конструкцій, як зовнішні стіни з вентиляльованим повітряним прошарком таких припущень необхідно зробити значну кількість, то можливість використання зазначеного методу для їх розрахунку викликає сумніви.

Другий метод розрахунку оснований на визначенні приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції з наявними лінійними теплопровідними включеннями. Алгоритм розрахунку за вказаним методом визначений в [1] на основі формул (И.4)-(И.7). Основна розрахункова формула представлена у вигляді:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^m k_j L_j}, \quad (5)$$

де k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі, j -го теплопровідного включення, Вт/(м·К); L_j – лінійний розмір (проекція), j -го теплопровідного включення, м; $R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі i -ої термічно однорідної зони конструкції, (м²·К)/Вт; F_i – площа i -ої термічно однорідної зони конструкції, м².

Наведена формула може бути застосована для визначення приведенного опору теплопередачі стінових огорожувальних конструкцій, що містять у своєму складі тільки лінійні теплопровідні включення. Прикладами вказаних елементів можуть бути віконні відкоси, вузли примикань міжповерхових та балконних перекриттів до конструкцій зовнішніх стін, колони, тощо. В конструкціях зовнішніх стін з вентиляльованим повітряним прошарком наявна велика кількість різноманітних точкових елементів-теплопровідних включень, наприклад: дюбелі для кріплення плит теплоізоляції, несучі кронштейни, гнучкі з'єднувальні елементи, тощо, що не можуть бути враховані при розрахунках за формулою (5). Таким чином, обидва методичні принципи, що наведені в [1], не дають змогу провести адекватні розрахунки приведенного опору теплопередачі конструкцій зовнішніх стін з вентиляльованим повітряним прошарком.

Основна частина.

Уточнений метод розрахунку приведенного опору теплопередачі.

Даний метод заснований на положеннях європейських нормативних документів та знайшов своє застосування в практиці проектування РФ [6].

Метод базується на представленні огорожувальної конструкції у вигляді сукупності елементів, що її складають. Кожен елемент здійснює деякий вплив на тепловий потік через огорожувальну конструкцію, сукупність яких дорівнює величині повного потоку через огорожувальну конструкцію.

Відповідно, тепловий потік, що обумовлюється кожним елементом огорожувальної конструкції, характеризується величиною питомого теплового потоку, що помножується на відповідний геометричний коефіцієнт, який залежить від типу елемента.

Елементи огорожувальної конструкції можуть бути: плоскими, лінійними та точковими. *Плоскі* елементи – це однорідні частини огорожувальної конструкції, *лінійні* елементи – це лінійні теплопровідні включення, один з лінійних розмірів яких набагато перевищує інший, *точкові* елементи – це точкові теплопровідні включення, розміри яких набагато менші огорожувальної конструкції. Геометричні показники проєкцій вказаних елементів на огорожувальну конструкцію будуть відповідно вимірятись m^2 , m та од. (шт.) відповідно.

Дані положення можуть бути виражені у формульному вигляді:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{t_b - t_3}{\left(\int_F q dF \right) \cdot F_{\Sigma}^{-1}} = \frac{t_b - t_3}{\left(\sum_{m=1}^M Q_m \right) \cdot F_{\Sigma}^{-1}} = \frac{F_{\Sigma}}{\left(\sum_{m=1}^M \frac{Q_m}{t_b - t_3} \right)} = \quad (6)$$

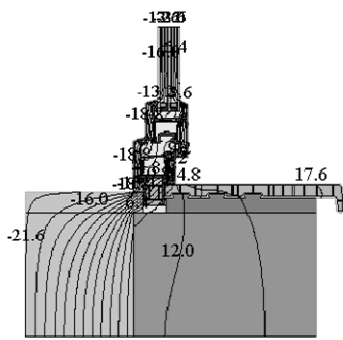
$$= \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{Q_i \cdot F_i}{(t_b - t_3) F_i} + \sum_{j=1}^J \frac{Q_j \cdot L_j}{(t_b - t_3) L_j} + \sum_{k=1}^K \frac{Q_k \cdot N_k}{(t_b - t_3) N_k}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k},$$

де $R_{\Sigma i}$, F_i , k_j , L_j – те саме, що у формулі (5), ψ_k – точковий коефіцієнт теплопередачі, k -го теплопровідного включення, Вт/К; N_k – загальна кількість k -их теплопровідних включень, шт.

Розрахунок опору теплопередачі, лінійного та точкового коефіцієнтів теплопередачі необхідно здійснювати на підставі результатів двовірних та тривірних температурних полів. Геометричні показники слід визначати за проектними даними. Методика розрахунків двовірних та тривірних полів приведена в [1,6,7,8].

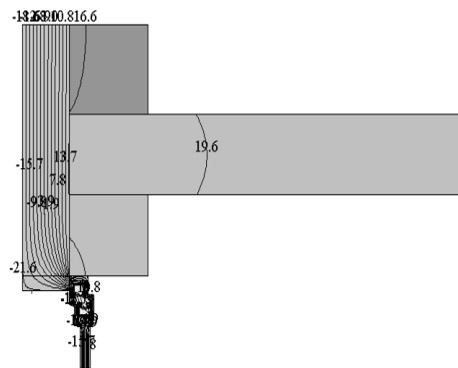
Приклад розрахунку приведенного опору теплопередачі стінової конструкції з вентиляльованим повітряним прошарком.

Розрахункова модель. Оскільки основною метою статті є відображення методики та прикладу розрахунку приведенного опору теплопередачі зовнішньої огорожувальної конструкції з вентиляльованим повітряним прошарком, то не будемо зупинятись на принципах вибору моделі які відображені у літературі [7, 9]. Для розрахунку вибрано типовий фрагмент конструкції фасадної теплоізоляції висотою в один поверх, що



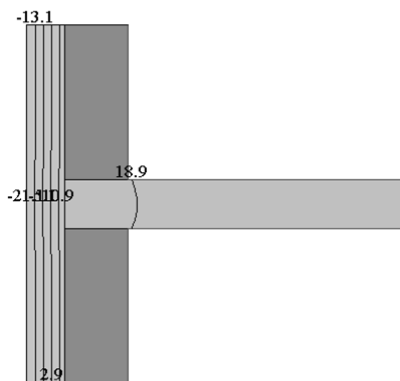
Тип елемента фасада:	лінійний
Лінійний коефіцієнт теплопередачі	$k_2 = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
лінійний розмір теплопровідного включення	$L_2 = 2,2 \text{ м}$

Рис.3 – Температурне поле вузла у зоні віконного прорізу (підвіконня)



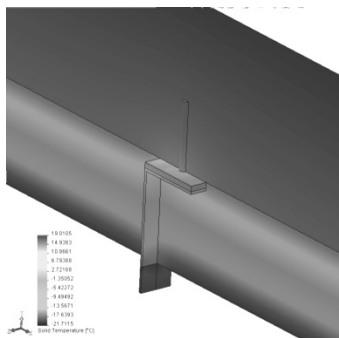
Тип елемента фасада:	лінійний
Лінійний коефіцієнт теплопередачі	$k_3 = 0,162 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
лінійний розмір теплопровідного включення	$L_3 = 2,2 \text{ м}$

Рис.4 – Температурне поле вузла у зоні віконного прорізу (панель перекриття та ригель)



Тип елемента фасада:	лінійний
Лінійний коефіцієнт теплопередачі	$k_4 = 0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
лінійний розмір теплопровідного включення	$L_4 = 5,96 \text{ м}$

Рис.5 – Температурне поле вузла у зоні панелі перекриття



Тип елемента фасада:	точковий
Точковий коефіцієнт теплопередачі	$\Psi_1 = 0,015 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
Загальна кількість теплопровідних включень	$N_1 = 32 \text{ шт.}$

Рис.6 – Температурне поле вузла у зоні кронштейна

Аналогічно точковому елементу кронштейну знайдені характеристики для точкових елементів дюбелів. Точковий коефіцієнт

теплопередачі $\Psi_2 = 0,003 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Загальна кількість теплопровідних включень (пластикових дюбелів з розрахунку 8шт. на 1 м^2) $N_2 = 126$ шт.

Таким чином, приведений опір теплопередачі конструкції за формулою (6) становить:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{15,7}{\frac{14,48}{3,8} + (0,059 \cdot 1,815 + 0,04 \cdot 2,2 + 0,162 \cdot 2,2 + 0,058 \cdot 5,96) + (0,015 \cdot 32 + 0,003 \cdot 126)} = 2,88 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Відповідно, коефіцієнт теплотехнічної однорідності розглянутого фрагмента фасада:

$$r = \frac{R_{\Sigma \text{ пр}}}{R_{\Sigma \text{ пр}}} = \frac{2,88}{3,8} = 0,76.$$

Наведений приклад розрахунку показує алгоритм визначення теплових показників неоднорідних включень та їх орієнтовні числові значення.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Запропонована методика розрахунку дозволяє враховувати внесок в загальну величину теплозахисту зовнішньої огорожувальної конструкції кожного елемента без винятку. Розрахунки за даною методикою дозволять накопити достатню базу даних щодо питомих теплових потоків через лінійні та точкові теплопровідні включення, на базі якої створити в подальшому прості інженерні методики розрахунку приведенного опору теплопередачі сучасних стінових конструкцій з вентиляльованим повітряним прошарком. Також, запропонована методика є загальною і може бути використана для розрахунків будь-яких огорожувальних конструкцій.

Наведені методичні положення для конструкцій зовнішніх стін з вентиляльованим повітряним прошарком потребують деяких уточнень, що враховуватимуть ще й тепловтрати за рахунок інфільтрації повітря в товщі теплоізоляційного шару, які характерні для даного типу конструкцій [10].

Після остаточної розробки методики розрахунків вона може бути основою для включення у відповідні нормативні документи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинний з 01.04.2007].- К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустриальними елементами з вентиляльованим повітряним прошарком. Загальні технічні умови: ДСТУ Б В.2.6-35:2008. – [Чинний з 01.06.2009 р.] – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 29 с. – (Національний стандарт України).

3. СНиП II-3-79 Строительная теплотехника. – М., 1979. – 32с.
4. Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій: ДСТУ Б В.2.6-101:2010. – [Чинний з 01.10.2010 р.] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 53 с. – (Національний стандарт України).
5. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. – М., 2004. – 138с.
6. Гагарин В.Г. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. / В.Г. Гагарин, В.К. Козлов // Строительные материалы – 2010. – С.4-12.
7. Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 1. Загальні методи: ДСТУ ISO 10211-1:2005. – [Чинний з 01.03.2008 р.] – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 38 с. – (Національний стандарт України).
8. Фаренюк Г.Г. Визначення лінійного коефіцієнту теплопередачі термічно неоднорідних огорожувальних конструкцій / Г.Г Фаренюк, Є.С. Колесник // Будівельні конструкції. – 2008. – вип.68. – С.138-147.
9. Кривошеин А.Д. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций / А.Д. Кривошеин, С.В. Федоров // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – №8(18). – С. 21-27.
10. Фаренюк Г.Г. Вплив інфільтрації повітря на теплові характеристики системи утеплення огорожувальних конструкцій з вентиляльованим повітряним прошарком. / Фаренюк Г.Г., Венжего Г.С., Колесник Є.С. //Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010 – №2 – С.153-158.

Анотація: У статті представлений аналіз існуючих методів розрахунку приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій та запропонована уточнююча методика для розрахунку конструкцій зовнішніх стін з вентиляльованим повітряним прошарком. Наведена методика розрахунку враховує вплив різного роду теплопровідних включень та геометричних особливостей конструкцій фасада.

Abstract: The paper describes an analysis of existing methods for calculating of the reduced thermal resistance of the exterior structures and proposed subdivision technique for the analysis of structures exterior walls with a ventilated air gap. The above method of calculation takes into account the influence of different heat-and geometrical features of structures facade.