УДК 699.86 DOI: 10.31650/2415-377X-2020-78-71-78

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ У ВУЗЛАХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

[1]**Джирма С.О.**, к.т.н., доцент,
stas55871@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2248-1653
[1]**Пашинський В.А.**, д.т.н., професор,
pva.kntu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5474-6399
[1]**Настоящий В.А.**, к.т.н., професор,
vanast52@ukr.net, ORCID: 0000-0002 8931 5097
[1]**Пашинський М.В.**, к.т.н.,
filonalone@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2669-523X
[1]*Центральноукраїнський національний технічний університет*
проспект Університетський 8, м. Кропивницький, 25000, Україна

Анотація. Розроблена методика визначення втрат тепла через вузли огороджувальних конструкцій довільної форми. Методика базується на аналізі температури внутрішньої поверхні огороджень і дозволяє визначати втрати тепла в зонах лінійних теплопровідних включень та відповідні лінійні коефіцієнти теплопередачі. Встановлені параметри чисельного розв'язку, які гарантують достатню точність результатів. Виконані приклади визначення втрат тепла та лінійних коефіцієнтів теплопередачі для характерних вузлів стін житлових і громадських будівель. Достовірність результатів підтверджена шляхом порівняння лінійних коефіцієнтів теплопередачі з відомими даними для типових вузлів.

Ключові слова: огороджувальні конструкції, вузли, втрати тепла.

Вступ. Важливою складовою розв'язання проблеми енергоефективності будівель є точне визначення втрат тепла через огороджувальні конструкції. Відомо, що основна частка тепла втрачається через зовнішні стіни будівель, у тому числі через кути стін, місця примикання перекрить, дверних блоків, світлопрозорих конструкцій та інших елементів, які утворюють зони підвищеної теплопередачі. Втрати тепла через лінійні теплопровідні включення можна визначити з використанням наведених в нормативних документах лінійних коефіцієнтів теплопередачі типових вузлів. Різноманітність архітектурних і конструктивних рішень будівель, а також використання нових будівельних матеріалів та виробів обумовлює виникнення нових конструкцій вузлів та вимагає розроблення методики визначення втрат тепла через вузли довільної конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою для визначення показників енергетичної ефективності будівель, як цього вимагають норми проектування [1], є втрати тепла через огороджувальні конструкції. Втрати тепла через плоскі ділянки стін чи світлопрозорих конструкцій легко оцінюються відомими методами будівельної фізики [2]. Необхідні для цього розрахункові значення температури зовнішнього повітря для опорної мережі з 57 метеостанцій України наведені в стандарті [3], а більш деталізовані дані можна отримати з монографії [4]. Аналіз теплопередачі через лінійні теплопровідні включення (кути стін, вузли примикання перекрить, дверних блоків та світлопрозорих конструкцій тощо) вимагає двовимірного моделювання теплових потоків, яке можна реалізувати з використанням програмного комплексу THERM [5] чи інших подібних програм. Для вузлів типових конструкцій в стандарті [6] вказані готові числові значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі. Наведені в стандарті [7] вказівки з визначення теплового потоку через лінійні теплопровідні включення інших форм вимагають комп'ютерного моделювання та виконання досить громіздких обчислень. Для практичного використання доцільно розробити просту

інженерну методику визначення втрат тепла через вузли стін довільної конструкції.

Метою даної роботи є обґрунтування способу визначення втрат тепла через вузли зовнішніх огороджувальних конструкцій шляхом чисельного інтегрування температур на внутрішній поверхні стіни.

Передумови та вихідні дані. Розглядаються лінійно протяжні вузли стін цивільних будівель, які можуть бути зонами підвищеної теплопровідності внаслідок різких змін форми конструкції (кути стін, примикання внутрішніх стін, перекрить, балконних плит, дверних чи віконних блоків тощо). Більшість таких вузлів мають лінійну структуру, тому втрати тепла визначаються на основі розв'язання двомірної задачі теплопровідності.

Розрахунок втрат тепла крізь усю товщу конструкції від внутрішнього до зовнішнього повітря замінено аналізом процесу теплопередачі від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні огородження. Правомірність такого підходу обумовлена тим, що тепло, яке передається від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні огородження, з часом буде передане й назовні. Основою для обчислення втрат тепла є температури внутрішньої поверхні огородження, визначені в середовищі програмного комплексу THERM, наявного у вільному доступі на сайті Національної лабораторії Лоуренса Берклі [5], або за допомогою інших подібних програм двовимірного моделювання температурного режиму конструкцій.

Конструкції вузлів визначаються архітектурним рішеннями будівлі та вимогами нормативних документів до улаштування зовнішніх стін різних типів, а теплотехнічні характеристики матеріалів встановлюються за стандартом [6].

Температура внутрішнього повітря приймається рівною +20°С згідно з вимогами норм [1] до житлових будівель. Температура зовнішнього повітря визначається за стандартом [3]. Коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огороджень прийняті за [6]. Оскільки кінцевим результатом дослідження є лінійні коефіцієнти теплопередачі, які представляють собою відносні величини, вибір значень температури внутрішнього та зовнішнього повітря не є принциповим і не впливає на кінцевий результат.

Методика визначення втрат тепла описана на прикладі вузла кутового сполучення зовнішніх цегляних стін з фасадною теплоізоляцією, зображеного на рисунку 1. Конструкція вузла та позначення елементів конструкції відповідають рядку 11 з таблиці Г.1 ДСТУ [6]. Коефіцієнт теплопровідності утеплювача прийнято рівним 0,40 Вт/(м×К), а для інших матеріалів визначено за таблицею А.1 стандарту [6].

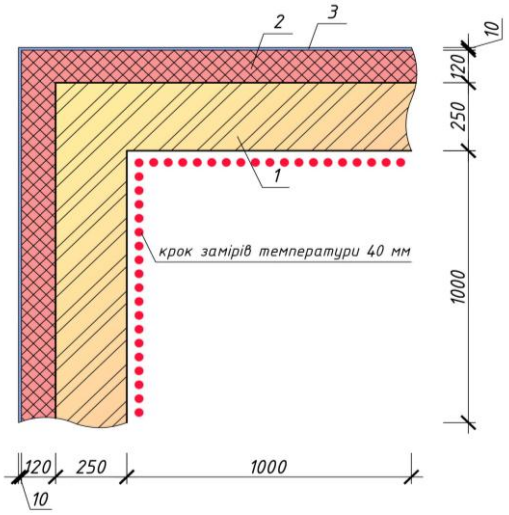

Рис. 1. Конструктивна схема зовнішнього кута цегляних стін

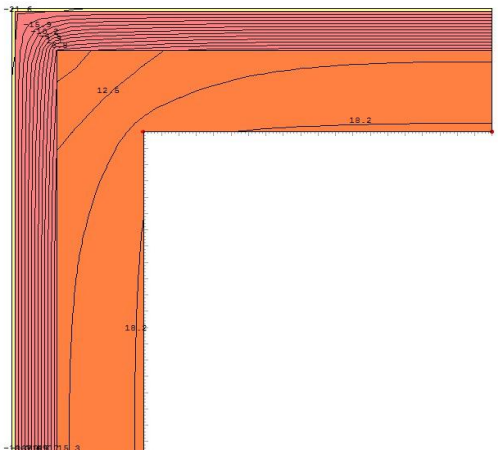

Рис. 2. Температурне поле зовнішнього кута цегляних стін

У даному прикладі та в усіх наступних розрахунках розрахункова температура внутрішнього повітря прийнята рівною $t_в = +20°C$, а зовнішнього – $t_з = –22°C$. Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни дорівнює $\alpha_в = 8{,}7$ Вт/(м^2×К), а зовнішньої поверхні $\alpha_з = 23$ Вт/(м^2×К).

У результаті розрахунку в середовищі програмного комплексу THERM [5] отримані ізотерми в перерізі вузла, зображені на рисунку 2, а також температури в заданих точках внутрішньої поверхні стіни з різними кроками уздовж стіни в межах від 10 мм до 100 мм.

З рисунка 2 видно, що в куті сполучення стін спостерігається викривлення ізотерм та їх наближення до внутрішньої поверхні стіни, що відображає пониження температури у вузлі. Найменша температура у внутрішньому куті стін складає +16,6ºС. По мірі віддалення від кута температура внутрішньої поверхні стіни поступово зростає до +18,6ºС і залишається такою на плоскій ділянці стіни.

Згідно з положеннями будівельної теплотехніки [2], кількість тепла, переданого протягом одиниці часу через огороджувальну конструкцію, визначається за формулою:

$$Q = \frac{t_B - t_З}{R_0} F , \qquad (1)$$

де R_0 – опір теплопередачі огородження;

t_B і $t_З$ – температури внутрішнього та зовнішнього повітря;

F – площа поверхні конструкції, через яку передається тепло.

Розглядаючи теплопередачу від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні стіни, як це задекларовано прийнятими передумовами, замінюємо у формулі (1) опір теплопередачі коефіцієнтом тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни $\alpha_B = 1 / R_0$. Підстановка до (1) та заміна температури зовнішнього повітря $t_З$ на температуру внутрішньої поверхні стіни t_C дає вираз для визначення втрат тепла протягом одиниці часу:

$$Q = \alpha_B \left(t_B - t_C \right) F , \qquad (2)$$

де α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни;

t_c – температура внутрішньої поверхні стіни.

При змінному значенні температури внутрішньої поверхні стіни та дискретному її поданні з кроком Δ уздовж контуру вузла кількість переданого тепла визначається шляхом чисельного інтегрування методом трапецій. Для цього ширина області інтегрування ділиться на N елементарних відрізків довжиною Δ і в середовищі програми THERM визначається N+1 значення температури внутрішньої поверхні стіни t_i, i = 0…N. Кількість тепла у ватах, яке передається протягом однієї секунди через фрагмент вузла довжиною 1 м, дорівнює:

$$Q_C = \alpha_B \Delta \left[N \cdot t_B - \frac{t_0 + t_N}{2} - \sum_{i=1}^{N-1} t_i \right], \qquad (3)$$

де α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни;

Δ – крок дискретності при інтегруванні температури внутрішньої поверхні стіни;

N – кількість відрізків інтегрування;

t_0, t_N, t_i – температури внутрішньої поверхні стіни в початковій, кінцевій та проміжних точках інтегрування.

Лінійний коефіцієнт теплопередачі, визначення якого наведене в стандарті [7], дорівнює кількості тепла у ватах, яка передається через теплопровідне включення довжиною 1 м при різниці температур повітря по обидві сторони конструкції в 1 К. Згідно з визначенням та вказівками [7], він обчислюється за таким алгоритмом:

1. У програмному комплексі THERM виконується розрахунок температурного поля вузла обраної конструкції при дії температури зовнішнього $t_З$ та внутрішнього t_B повітря.

2. Числовим інтегруванням за формулою (3) обчислюється сумарна кількість тепла Q_C, яке передається через розглянутий фрагмент вузла разом з плоскими бічними ділянками стін, що примикають до вузла.

3. Кількість тепла $Q_Б$, яка повинна передаватися через плоскі бічні ділянки стіни загальною площею F за умови лінійної теплопередачі, обчислюється за формулою (2). Оскільки розмір вузла уздовж теплопровідного включення приймається рівним 1 м, площа чисельно дорівнює сумарній ширині врахованих плоских ділянок. Температура внутрішньої поверхні стіни t_C приймається рівною значенню, яке стабілізувалося на віддаленій від вузла зоні стіни і відповідає випадку одномірної теплопередачі.

4. Лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення обчислюється як різниця між сумарною кількістю тепла Q_C, що передається через розглянутий фрагмент огородження та кількістю тепла $Q_Б$, яка повинна передаватися через плоскі бічні ділянки стіни, розділеною на різницю температур внутрішнього та зовнішнього повітря:

$$k = \frac{Q_C - Q_Б}{t_B - t_З}. \quad (4)$$

У якості прикладу розглянемо вузол кутового сполучення зовнішніх стін, зображений на рисунку 1. Розрахунок в програмі THERM при $t_В = +20°C$ і $t_З = –22°C$, а також крокові інтегрування Δ = 0,04 м (N = 50 відрізків) дав такі результати:

– сумарна кількість тепла, що передається через вузол Q_C = 30,00 Вт;

– кількість тепла яка повинна передаватися через плоскі бічні ділянки стіни $Q_Б$ = 24,36 Вт;

– температура внутрішньої поверхні бічної ділянки стіни для формули (2) $t_C = +18,6°C$.

За формулою (4) отримуємо лінійний коефіцієнт теплопередачі k = 0,134 Вт/(м·К). Для вузла аналогічної конструкції стандарт [6] дає значення k = 0,131 Вт/(м·К). Різниця складає +2,5%, що є цілком достатньою точністю для теплотехнічних розрахунків.

Точність розрахунку залежить від кроку інтегрування температури Δ у формулі (3) та ширини врахованих бічних ділянок стін. Стандарт [8] рекомендує при комп'ютерному моделюванні вузлів огороджувальних конструкцій для аналізу їх температурного режиму враховувати плоскі бічні частини огороджень шириною 1 м. Реальні зони впливу вузла дорівнюють відстані від внутрішнього кута перетину стін до точки, в якій ізотерми стають паралельними до поверхні стіни, а температура внутрішньої поверхні стіни стабілізується. Розрахунки різних вузлів для цегляних стін різної товщини показали, що ширина зони впливу вузла близька до двох товщин стіни. Саме таку величину плоскої ділянки стіни слід враховувати при визначенні втрат тепла через вузли огороджувальних конструкцій.

Точність визначення тепловтрат за формулою (3) залежить від кроку дискретності Δ подання температури внутрішньої поверхні стіни. Зменшення Δ уточнює результат інтегрування, але збільшує трудомісткість обчислень за рахунок великої кількості значень температури поверхні стіни, які необхідно отримати в програмі THERM і задати в якості вихідних даних для інтегрування. Для аналізу похибок виконане інтегрування за формулою (2) з кроками Δ = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 мм. Сумарні втрати тепла Q_C та значення лінійного коефіцієнта теплопередачі k, отримані при різних значеннях Δ, порівнювалися з результатом інтегрування при найменшому кроці дискретності Δ = 10 мм. Зміни відсотків відхилення величини втрат тепла $Δ_Q$ та лінійного коефіцієнта теплопередачі $Δ_k$ при зростанні кроку дискретності Δ показані на рисунку 3.

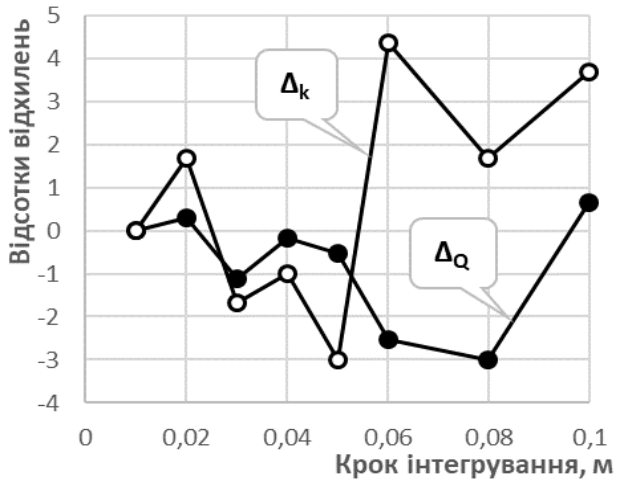

Рис. 3. Відхилення втрат тепла Q та лінійних коефіцієнтів теплопередачі k залежно від кроку інтегрування Δ

З рисунка 3 видно, що похибки інтегрування змінюються досить хаотично, але загалом зростають при збільшенні кроку дискретності. За результатами проведеного аналізу для подальших розрахунків прийнято крок дискретності Δ = 40 мм. При такому кроці похибка інтегрування за формулою (3) не перевищує 1,0%, а похибки визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі знаходиться в межах 1,6%. Необхідне для цього визначення температури стіни в 25…50 точках є цілком реальним завданням. Аналогічні розрахунки показали, що інтегрування за методом прямокутників дає досить близькі результати.

Викладена методика дозволяє визначати лінійні коефіцієнти теплопередачі для нетипових вузлів огороджувальних конструкцій, а також безпосередньо оцінювати втрати тепла через огородження з урахуванням лінійних теплових включень за формулою (3) після виявлення температурного поля двомірної моделі огородження.

Верифікація запропонованої методики здійснена шляхом порівняння лінійних коефіцієнтів теплопередачі вузлів стін з даними ДСТУ [6]. Об'єктами дослідження є типові вузли зовнішніх стін цегляних будівель, схеми яких наведені на рисунках 4, 5, 6. Конструкція вузлів відповідає таблиці Г.1 стандарту [6], тому наведені там лінійні коефіцієнти теплопередачі використані для верифікації розробленої методики.

Як і в розглянутому вище прикладі, коефіцієнт теплопровідності утеплювача прийнято рівним 0,40 Вт/(м×К), а для інших матеріалів визначено за таблицею А.1 стандарту [6]. Розрахункові температури внутрішнього і зовнішнього повітря, а також коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхні стіни прийняті такими ж, як і вище. Крок інтегрування у формулі (3) дорівнює Δ = 0,04 м.

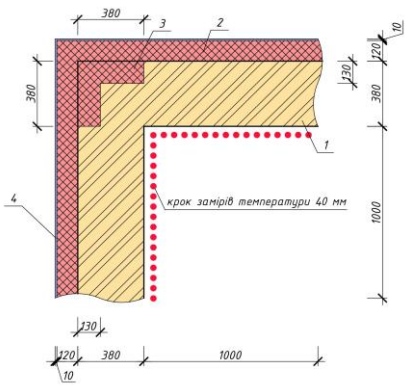

Рис. 4. Кут зовнішніх стін з додатковою теплоізоляцією

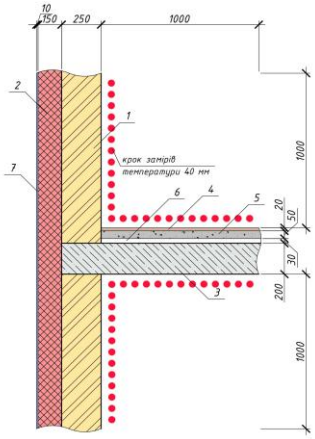

Рис. 5. Примикання перекриття до стіни

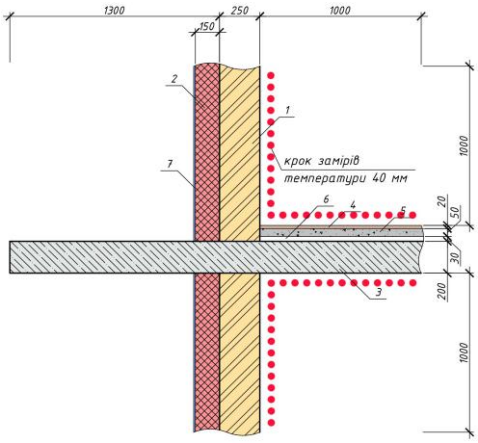

Рис. 6. Примикання балконної плити та перекриття

Результати розрахунків за описаною вище методикою чотирьох вузлів, зображених на рисунках 1, 4, 5, 6, наведені в таблиці 1, яка містить такі дані:

– назва вузла та його порядковий номер за таблицею Г.1 ДСТУ [6];
– прийнята товщину шару теплоізоляції $\delta_{УТ}$;
– загальні втрати тепла Q_C і втрати через плоскі бічні ділянки стін $Q_Б$;
– температури бічних ділянок в режимі одномірної теплопередачі t_C;
– обчислені лінійні коефіцієнти теплопередачі k та відповідні значення $k_{ДСТУ}$ за ДСТУ [6];
– відсотки відхилень обчислених значень k від даних ДСТУ [6].

Таблиця 1 – Результати визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі

Назва вузла та номер за таблицею Г.1 ДБН [6]	$\delta_{УТ}$, мм	Q_C, Вт	$Q_Б$, Вт	t_C, °C	k, Вт/(м·К)	$k_{ДСТУ}$, Вт/(м·К)	Відхил., %
1. Примикання міжповерхового перекриття	150	22,24	19,14	+18,9	0,074	0,073	+1,4
5. Примикання балконної плити	150	53,87	20,88	+18,8	0,785	0,797	–1,5
11. Кутове сполучення зовнішніх стін	120	30,00	24,36	+18,6	0,134	0,131	+2,5
36. Кут зовнішніх стін з додатковим утепленням	120	28,15	24,36	+18,6	0,090	0,092	–1,8

З таблиці видно, що обчислені за запропонованою методикою лінійні коефіцієнти теплопередачі відхиляються від даних ДСТУ [6] в межах –1,8%…+2,5%. Достатньо висока точність дозволяє рекомендувати запропоновану методику для обчислення втрат тепла через огороджувальні конструкції з лінійно протяжними теплопровідними включеннями, а також для визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі вузлів довільної форми.

Сумарні втрати тепла через огороджувальну конструкцію будівлі протягом одиниці часу можна визначити безпосереднім інтегруванням за формулою (3) або з урахуванням попередньо обчислених лінійних коефіцієнтів теплопередачі наявних вузлів за формулою:

$$Q_C = Q_Б + \left(t_В - t_З\right)\sum_j k_j\, L_j\,, \tag{5}$$

де $Q_Б$ – кількість тепла, що передається через плоскі ділянки огородження, визначена на основі формули (1) чи іншим способом;

$t_В$ і $t_З$ – температури внутрішнього та зовнішнього повітря;

k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі j-того теплопровідного включення;

L_j – довжина j-того теплопровідного включення.

Висновки:

1. Встановлено, що для визначення втрат тепла через лінійно протяжні вузли огороджувальних конструкцій достатньо розглянути процес теплопередачі від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні огородження.

2. Запропонована методика визначення втрат тепла через огороджувальні конструкції з лінійно протяжними теплопровідними включеннями та лінійних коефіцієнтів теплопередачі вузлів довільної форми, яка базується на чисельному інтегруванні температури внутрішньої поверхні огородження, отриманої шляхом двомірного моделювання температурного поля фрагменту огородження.

3. Встановлено, що для достатньо точного визначення втрат тепла та лінійних коефіцієнтів теплопередачі необхідно включати до розглянутого фрагменту конструкції плоскі бічні ділянки шириною в дві товщини огородження, а крок дискретності визначення температури внутрішньої поверхні для її чисельного інтегрування приймати рівним 40 мм.

4. Простота й достатня точність запропонованої методики дозволяють рекомендувати її для обчислення втрат тепла через огороджувальні конструкції з лінійними теплопровідними включеннями та для визначення лінійних коефіцієнтів теплопередачі вузлів довільної форми у процесі аналізу енергетичних показників будівель.

Література

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017–05-01]. К.: Міністерство будівництва України, 2016. 38 с. (Державні будівельні норми України)

2. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-е, переработанное и дополненное. М.: Стройиздат, 1973. 287 с.

3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. К., 2011. 101 с.

4. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огороджувальні конструкції будівель. Одеса: ОДАБА, 2012. 180 с.

5. THERM 2.0 Program Description. Berkeley CA 94720 USA, 1998. URL: https://windows.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/therm2.pdf.

6. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. К.: Мінрегіон України, 2013. 55 с. (Національний стандарт України).

7. ДСТУ ISO 10211-1:2005. Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплового потоку та поверхневої температури. Частина 1. Загальні методи. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 38 с.

References

[1] *Teplova izoliatsiia budivel:* DBN V.2.6-31:2016. [Chynnyi vid 2017–05-01]. K.: Ministerstvo budivnytstva Ukrainy, 2016. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy).
[2] K.F. Fokyn, *Stroitelnaia teplotekhnyka ograzhdaiushchikh chastei zdaniya*. Yzd. 4, pererabotannoe i dopolnennoe. M.: Stroyizdat, 1973.
[3] *Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia*. DSTU-N B V.1.1-27:2010. K., 2011.
[4] V.A. Pashynskyi, N.V. Pushkar, A.M. Kariuk, *Temperaturni vplyvy na ohorodzhuvalni konstruktsii budivel.* Odesa: ODABA, 2012.
[5] THERM 2.0 Program Description. Berkeley CA 94720 USA, 1998. Available: https://windows.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/therm2.pdf
[6] *Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel.* DSTU B V.2.6-189:2013 [Natsionalnyi standart Ukrainy]. K.: Minrehion Ukrainy, 2013.
[7] *Teploprovidni vkliuchennia v budivelnykh konstruktsiiakh. Obchyslennia teplovoho potoku ta poverkhnevoi temperatury. Chastyna 1. Zahalni metody:* DSTU ISO 10211-1:2005. K.: Derspozhyvstandart Ukrainy, 2008.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В УЗЛАХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

[1]**Джирма С.А.**, к.т.н., доцент,
stas55871@ukr.net, ORCID 0000-0003-2248-1653
[1]**Пашинский В.А.**, д.т.н., профессор,
pva.kntu@gmail.com, ORCID 0000-0002-5474-6399
[1]**Настоящий В.А.**, к.т.н., профессор,
vanast52@ukr.net, ORCID 0000-0002 8931 5097
[1]**Пашинский Н.В.**, к.т.н.,
filonalone@gmail.com, ORCID 0000-0002-2669-523X
[1]*Центральноукраинский национальный технический университет*
проспект Университетский 8, г. Кропивницкий, 25000, Украина

Аннотация. Энергетические потребности зданий следует определять с учетом потерь тепла через зоны повышенной теплопроводности в узлах ограждающих конструкций. Для этого используются линейные коэффициенты теплопередачи, которые приведены в нормативном документе Украины для ряда типовых узлов. Нестандартные решения узлов ограждающих конструкций требуют разработки простой методики определения теплопотерь, которую можно использовать при проектировании реальных зданий.

Предложенная методика основана на анализе процесса передачи тепла от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения. Для определения количества этого тепла необходимо выделить узел с прилегающими плоскими участками ограждений и путем двумерного компьютерного моделирования определить температуры на внутренней поверхности ограждения. Количество передающегося тепла определяется путем численного интегрирования разности температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения с учетом коэффициента теплоотдачи этой поверхности.

Путем вариантных расчетов установлено, что ширина прилегающих к узлу плоских участков стен должна составлять около двух толщин стены. Для достаточно точного определения теплопотерь путем интегрирования по методу трапеций шаг дискретизации температуры внутренней поверхности не должен превышать 40…50 мм.

Разработанная методика позволяет также определить линейный коэффициент теплопередачи узла. Он равен разности между суммарным количеством переданного тепла и количеством тепла, которое может передаваться через плоские участки ограждения,

деленную на разность температур внутреннего и внешнего воздуха.

Сравнение полученных результатов с известными из норм значениями линейных коэффициентов теплопередачи для нескольких типовых узлов стен показало расхождение в пределах 2,5%. Такую точность можно считать вполне удовлетворительной для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций зданий. С учетом простоты реализации, разработанная методика рекомендуется к использованию при оценивании энергетических показателей зданий.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, узлы, потери тепла.

METHOD OF ANALYSIS OF THE HEAT TRANSFER PROCESS IN THE JUNCTIONS OF THE ENCLOSURE STRUCTURES OF BUILDINGS

[1]**Dzhyrma S.O.**, PhD., Associate Professor,
stas55871@ukr.net, ORCID 0000-0003-2248-1653
[1]**Pashynskyi V.A.**, Sc.D., Professor,
pva.kntu@gmail.com, ORCID 0000-0002-5474-6399
[1]**Nastoiashchyi V.A.**, PhD., Professor,
vanast52@ukr.net, ORCID 0000-0002 8931 5097
[1]**Pashynskyi M.V.**, PhD.,
filonalone@gmail.com, ORCID 0000-0002-2669-523X
[1]*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi*
8 University Avenue, Kropyvnytskyi, 25000, Ukraine

Abstract. The energy needs of buildings should be determined taking into account heat losses through zones of increased thermal conductivity in the junctions of enclosure structures. For this, linear heat transfer coefficients are used, which are given in the Ukrainian standard for a number of typical junctions. Non-standard solutions of junctions of enclosure structures require the development of a simple method for determining heat loss, which can be used for the design of real buildings.

The proposed method is based on the analysis of the process of heat transfer from internal air to the inner surface of the enclosure. To determine the amount of heat, it is necessary to select a junction with adjacent flat sections of the enclosure and by two-dimensional computer simulation to determine the temperature on the inner surface of the enclosure. The amount of heat transferred is determined by numerical integration of the temperature difference between the internal air and the inner surface of the enclosure, taking into account the heat transfer coefficient of this surface.

By the multi-variant calculations, it was found that the width of the adjacent junctions to the flat wall sections should be about two thicknesses of the wall. For a sufficiently accurate determination of heat loss using the trapezoidal rule, the discretization step of the temperature of the inner surface should not exceed 40 ... 50 mm.

The developed technique also allows to determine the linear heat transfer coefficient of the junction. It is equal to the difference between the total amount of heat transferred and the amount of heat that can be transmitted through the flat sections of the enclosure, divided by the temperature difference between the internal and external air.

A comparison of the obtained results with the values of linear heat transfer coefficients known from the Standard for several typical wall units showed a discrepancy within 2.5%. Such accuracy level can be considered as satisfactory for the thermal calculations of enclosure structures. Given the ease of implementation, the developed method is recommended for use during calculations of the energy performance of buildings.

Keywords: enclosure structures, junctions, heat loss.

Стаття надійшла до редакції 3.12.2019