

ПРОБЛЕМИ РОЗРАХУНКУ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ НАХИЛЕНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Розглянуто основні методики розрахунку опору теплопередачі нахилених світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Виконано порівняльний аналіз між українськими та європейськими методиками розрахунку. Обґрунтовано необхідність проведення теплових випробувань світлопрозорих огорожувальних конструкцій для різного положення в просторі, з метою удосконалення методів розрахунку.

Постановка проблеми. Проблема енергозбереження та економії енергоресурсів вже давно турбує науковців і громадськість, тож її актуальність не втрачається навіть в епоху розвинутих технологій ХХІ сторіччя. Вичерпність основних енергоресурсів планети підштовхує науковий світ до пошуку альтернативних джерел енергії, що дійсно позитивно впливає на вирішення деяких проблем в енергозбереженні. Також потрібно пам'ятати і щодо вдосконалення вже існуючих методів покращення теплотехнічних показників будівельних матеріалів і конструкцій, та мікроклімату приміщень будівлі в цілому.

Загальновідомо, що на якість теплоізоляційної оболонки будівель впливає багато факторів, але особливе занепокоєння викликають світлопрозорі огорожувальні конструкції (СОК), так як ці конструкції мають значно менший опір теплопередачі ніж непрозорі частини будівлі. Вони спричинюють тепловтрати, частка яких є високою по відношенню до загальної кількості по будівлі. Тому дослідженню процесів що проходять в них приділяють особливу увагу. Це найбільш актуально при будівництві громадських об'єктів, де застосовується велика кількість СОК складної геометрії.

На сьогоднішній день існує багато сміливих і неординарних проектів по забудові на прикладі міста Києва. Хоча це на сьогоднішній день тільки ідеї, але час не стримати і футуристичні форми поступово входять до основ деяких об'єктів. На рис. 1 представлені деякі перспективи проектів громадських будівель, з використанням великої кількості СОК складної геометрії[1]:

При обчисленні опору теплопередачі СОК, більшість існуючих розрахунків зводяться до розрахунку процесів конвекції в вертикальних або горизонтальних конструкціях на основі критеріальних рівнянь. Ця методика має два основні недоліки: по перше, критеріальні рівняння не узгоджені в границях, внаслідок чого відбувається розрив в функціях, що визначають конвекційний коефіцієнт теплопередачі; по друге, не пристосовані до розрахунку нахилених СОК, що набули широкого розповсюдження.



а



б

Рис. 1. Перспектива можливих об'єктів будівництва в м. Києві
а) готель «Україна» вул. Інститутська, 4;
б) багатофункціональний комплекс «Писанка» на Подолі.

Через недосконалість існуючих методів розрахунку опору теплопередачі СОК з газонаповненим прошарком не враховуються особливості положення конструкцій відносно кута нахилу до горизонту. Тим самим отримані показники опору теплопередачі конструкцій не відповідають дійсності, що негативно впливає на їх енергоефективність, і енергоефективність будівлі в цілому. Також знижуються показники мікроклімату приміщень, тим самим погіршуються естетичні сприйняття внутрішнього простору будівлі. Для вирішення наукової проблеми виникає необхідність виконання порівняльного аналізу емпіричних і експериментальних досліджень СОК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними чинними в Україні нормативно-правовими документами, в галузі будівництва, що висвітлюють методи визначення теплотехнічних показників СОК, є [2-4].

З 1 липня 2013 р. введена в дію Зміна № 1 ДБН В. 2.6-31:2006 [5], що розроблялась на основі стандарту ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія" [6]. У Зміні істотно підвищені мінімально допустимі значення опору теплопередачі вікон житлових і громадських будівель – з 0,50 до 0,75 м²·К/Вт в I-й температурній зоні і з 0,45-0,50 до 0,60 м²·К/Вт у II-й зоні.

Основою сучасних світлопрозорих конструкцій є склопакети з герметичними газонаповненими (сухим повітрям, аргоном, криптоном, гексафторидом сірки) прошарками. Згідно [3], випробування конструкцій в лабораторних умовах відбувається тільки в вертикальному положенні, тож отриманні дані не відображають значення опору теплопередачі конструкцій для інших положень у просторі.

Основна частина. Якщо виконати порівняльний аналіз вихідних даних з термічного опору невентильованих повітряних прошарків, представлених в таблиці 1 та таблиці 2, виникає невідповідність значень опору.

Таблиця 1

Термічний опір замкненого повітряного прошарку, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, залежно від розміщення в конструкції (за табл. И.1 [2])

Товщина повітряного прошарку, м	Розміщення прошарку			
	горизонтальне при потоці тепла знизу вгору та вертикальне		горизонтальне при потоці тепла згори донизу	
	середня температура повітря у прошарку			
	$\geq 0^\circ\text{C}$	$< 0^\circ\text{C}$	$\geq 0^\circ\text{C}$	$< 0^\circ\text{C}$
0,01	0,13 0,14	0,15 0,15	0,14 0,15	0,15 0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Таблиця 2

Тепловий опір (у $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$) неventильованих повітряних шарів: поверхня з високим коефіцієнтом випромінювання (за табл. 2 [4])

Товщина повітряного шару, мм	Напрямок теплового потоку		
	угору	горизонтальний	вниз
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,13	0,19
50	0,15	0,13	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Примітка. Проміжні значення обчислюються за допомогою лінійної інтерполяції.

Ця невідповідність зумовлена різними підходами щодо розрахунку процесів теплопередачі у газонаповнених середовищах.

Згідно [7] для описання процесів теплопередачі у газонаповнених середовищах у термодинаміці застосовуються безрозмірні змінні. Такими змінними є: Gr – число Грасгофа, Nu – число Нуссельта, Pr – число Пранделя, Ra – число Релея. Головною метою введення таких змінних є надання універсальності методам розрахунку, які не прив'язані до якогось конкретного газу, а дозволяють розширити область застосування для всіх інших газів, які теоретично можливо розглядати близькими до ідеального. Тим самим зменшується кількість параметрів задачі.

Методика, що наведена у [8], в Україні є основною. Вона дозволяє виконувати розрахунки конвекційного коефіцієнта теплопередачі за допомогою критеріальних рівнянь, що пов'язують між собою безрозмірні змінні:

а) для горизонтального прошарку при потоці тепла знизу угору ($\theta = 0^\circ$):

$$Nu=1 \quad \text{при } Gr \leq 10^4, \quad (1)$$

$$Nu = 0,195 Gr^{0,25} \quad \text{при } 10^4 < Gr < 4 \cdot 10^5, \quad (2)$$

$$Nu = 0,068 \sqrt[3]{Gr} \quad \text{при } Gr > 4 \cdot 10^5; \quad (3)$$

б) для вертикального прошарку ($\theta = 90^\circ$):
за формулою (1) при $Ra \leq 10^3$, 4)

в) для горизонтального прошарку при потоці тепла зверху униз ($\theta = 180^\circ$) – за формулою (2); (9)

г) для нахилених прошарків, зазвичай, шляхом інтерполяції – що негативно впливає на відповідність отриманих даних щодо дійсних фізичних процесів, що проходять в цих прошарках.

В загальноєвропейській практиці, згідно ISO/FDIS 15099 [9], застосовуються наступні рівняння:

а) для прошарків з кутом нахилу $0 < \theta < 60^\circ$:

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \theta} \right]^* \left(1 - \frac{1708 \sin^{1.6}(1,8\theta)}{Ra \cos \theta} \right) + \left[\left(\frac{Ra \cos \theta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^*, \quad (5)$$

де $[x]^* = (x + |x|)/2$;

б) для прошарків з кутом нахилу $\theta = 60^\circ$:

$$Nu = \left[1 + \left(\frac{0,0936 Ra^{0.315}}{1 + \frac{0,5}{\left(1 + \left(\frac{Ra}{3160} \right)^{20.6} \right)^{0.1}}} \right)^7 \right]^{1/7}; \quad (6)$$

в) для прошарків з кутом нахилу $60 < \theta < 90^\circ$ застосовується лінійна інтерполяція між результатами для прошарків з $\theta = 60^\circ$ і $\theta = 90^\circ$, але за виконанням вимог:

$$10^2 < Ra < 2 \cdot 10^7, \quad 5 < \frac{H}{d_{q,i}} < 100 \quad (7)$$

де H – відстань між верхом і низом прошарку, яке зазвичай співпадає з висотою прозорої частини конструкції; $d_{q,i}$ – товщина прошарку.

г) для вертикальних прошарків ($\theta = 90^\circ$):

$$Nu = 0,0673838 Ra^{1/3} \quad \text{при } Ra \leq 5 \cdot 10^4; \quad (8)$$

$$Nu = 0,028154 Ra^{0.4134} \quad \text{при } 10^4 < Ra \leq 5 \cdot 10^4, \quad (9)$$

$$Nu = 1 + 1,7596678 \cdot 10^{-10} Ra^{2.2984755} \quad \text{при } Ra \leq 10^4, \quad (10)$$

д) для прошарків з кутом нахилу $90 < \theta < 180^\circ$ (газові прошарки в конструкціях, обернені зовнішньою стороною вниз)

$$Nu = 1 + (Nu_v - 1) \sin \theta, \quad (11)$$

де Nu_v - число Нуссельта для вертикального прошарку

Якщо в графічній формі (рис. 2) відобразити графіки залежності значень Nu від кута нахилу до горизонту θ , які розраховані за різними методами: Nu_1 – за формулами (1)-(4), Nu_2 – за формулами (5)-(11), то отримаємо значну розбіжність значень. В якості вихідних даних прийнято: $T=25^\circ\text{C}$, та застосовано товщини повітряних прошарків відштовхуючись від найбільш розповсюджених (8; 12 мм).

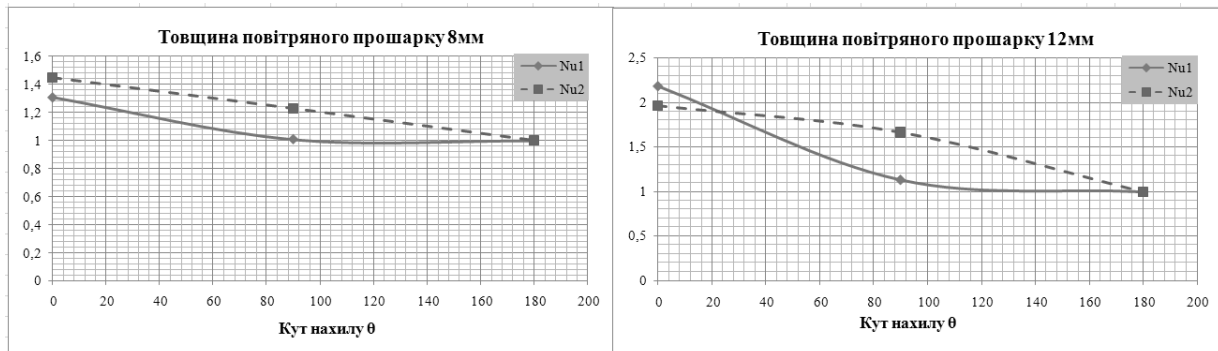


Рис. 2. Залежності числа Нуссельта для повітряних прошарків різної товщини

Проаналізувавши отримані графічні результати можемо дійти висновку про значну відмінність методів розрахунку опору теплопередачі газонаповненого прошарку, що в свою чергу створює проблему невідповідності чинної нормативно-технічної документації України та ЄС.

Висновки. Виникає необхідність проведення теплових лабораторних випробувань світлопрозорих огорожувальних конструкцій та їх складових, за для уточнення дійсних показників опору теплопередачі в залежності від їх положення у просторі. Моделювання конвекційних процесів що відбуваються в СОК, в залежності від кута нахилу до горизонту, дозволить створити методику щодо раціоналізації вибору типу і різновиду цих конструкцій, а також їх положення. Практичне вирішення даної проблеми дозволить прискорити прийняття рішення щодо оптимального положення СОК, відштовхуючись не тільки з міркувань екстер'єру будівлі, а й приведеного опору теплопередачі цих конструкцій, в залежності від їх положення. Це дозволить покращити мікроклімат приміщень де застосовується їх велика кількість.

Література

1. Толочин Е. Проекты небоскребов в Киеве: какой будет столица 10 лет спустя? [Електронний ресурс] / Е. Толочин / Режим доступу: <http://domodel.net/2009/12/05/neboskrebi-v-kieve.html>.
2. БН В.2.6–31:2006 Теплова ізоляція будівель. – [Чинні від 2007–04–01] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-17-2000 (ГОСТ 26602.1-99) Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі. / Мінрегіон України. - К. : Укрархбудінформ, 2000. - 25 с.

4. ДСТУ ISO 6946:2007 Будівельні конструкції та елементи. Тепловий опір і коефіцієнт теплопередавання. Методика розраховування (ISO 6946:1996, IDT). / Мінрегіонбуд України. - К. : Укрархбудінформ, 2012. - 18 с.
5. Зміна № 1 ДБН В.2.6-31:2006 Теплова ізоляція будівель / Мінрегіон України. - К. : Укрархбудінформ, 2013. - 10 с.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія / Мінрегіонбуд України. - К. : Укрархбудінформ, 2011. - 122 с.
7. *Сергейчук О.В.* Геометричне моделювання конвективного коефіцієнта теплопередачі газонаповненого прошарку / *О.В. Сергейчук* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету Таврій. держ. агротехнол. ун-т. – Мелітополь: Вид-во ТДАТУ, 1998. – Вип.4., Т.50. – С.83-89.
8. Світлопрозорі огороження будинків : навч. посібник для студ вищ. навч. закл. / *О. Л. Підгорний, І. М. Щенетова, О. В. Сергейчук, О. М. Зайцев, В. П. Процюк* ; під ред. О. Л. Підгорного — К. : Домашевська О.А., 2005. — 282 с.
9. Thermal Performance of Windows, Doors and Shading Devices - Detailed Calculations : ISO/FDIS 15099. [Date: 2002-01-01] / ISO Central Secretariat. — Geneva : ISO, 2002. — 75 p. — (International standard).

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАКЛОННЫХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. В. Злоба

Рассмотрены основные методики расчета сопротивления теплопередаче наклонных светопрозрачных ограждающих конструкций. Выполнен сравнительный анализ между украинскими и европейскими методиками расчета. Обоснована необходимость проведения тепловых испытаний светопрозрачных ограждающих конструкций для разного положения в пространстве, с целью усовершенствования методов расчёта.

THE PROBLEMS OF CALCULATING OF THE THERMAL RESISTANCE VALUE OF THE INCLINED TRANSLUCENT CONSTRUCTIONS

V. Zloba

Main calculation methods of the thermal resistance value of the inclined translucent of the building envelope have been studied. A comparison analysis between Ukrainian and European calculation methods has been made. The necessity of thermal testing of the translucent building envelope in different positions in space for improving the calculation methods has been substantiated.