

УДК 691:620.1

В.В. Шульгін, к.т.н., доцент

А.М. Карюк, к.т.н., доцент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ІМОВІРНІСНЕ ПОДАННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

За результатами випробувань декількох десятків зразків коефіцієнти теплопровідності пінополістиролу та мінераловатних плит наведено у формі випадкових величин з нормальним законом розподілу, отримано їх статистичні характеристики та розрахункові значення.

Ключові слова: *коефіцієнти теплопровідності, статистичні характеристики, закони розподілу.*

УДК 691:620.1

В.В. Шульгін, к.т.н., доцент

А.Н. Карюк, к.т.н., доцент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

По результатам испытаний нескольких десятков образцов коэффициенты теплопроводности пенополистирола и минераловатных плит представлены в форме случайных величин с нормальным законом распределения, получены их статистические характеристики и расчетные значения.

Ключевые слова: *коэффициенты теплопроводности, статистические характеристики, законы распределения.*

UDC 691:620.1

V.V. Shul'hin, PhD, Associate Professor

A.M. Kariuk, PhD, Associate Professor

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

PROBABILISTIC PRESENTATION OF HEAT INSULATION MATERIALS SPECIFICATIONS

Thermal conductivity coefficients of polystyrene and mineral wool are presented in the form of random variables with normal distribution, their statistical properties and design values have been obtained, based on the results of testing dozens of samples.

Keywords: *thermal conductivity coefficient, statistical properties, distribution laws.*

Вступ. Надзвичайно важливим завданням сучасного будівництва є забезпечення енергозбереження будівель. Підвищення теплоізоляційних характеристик стін до значень опору теплопередачі, встановлених нормами [1], часто досягається шляхом використання фасадних теплоізоляційних систем з використанням пінополістирольних і мінераловатних плит.

Огляд останніх джерел та досліджень. Результати досліджень фасадних теплоізоляційних систем, досвід їх спорудження й експлуатації узагальнено в монографії [6], а методи теплотехнічних розрахунків викладено в нормах [1]. На базі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано основні критерії теплових відмов, за якими слід оцінювати рівень теплової надійності огорожувальних конструкцій будівель:

- зниження температури внутрішньої поверхні стіни до точки роси, що веде до утворення конденсату;
- недопустимо велика різниця між температурами внутрішньої поверхні стіни та повітря в приміщенні, що викликає дискомфорт.

Імовірності теплових відмов повинні визначатися з урахуванням випадкової природи всіх розрахункових параметрів. Якщо статистичні характеристики впливу температури атмосферного повітря досліджені й узагальнені в роботі [7], то результати подання теплотехнічних характеристик теплоізоляційних матеріалів у формі випадкових величин в літературних джерелах не виявлено.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Проблема полягає в тому, що для виконання імовірнісних розрахунків технічні характеристики стінових матеріалів необхідно навести у вигляді законів розподілу та числових характеристик випадкових величин. Нормативні документи [1, 3, 4] містять лише детерміновані значення коефіцієнтів теплопровідності; в довідковій і науковій літературі статистичні характеристики та закони розподілу коефіцієнтів теплопровідності також відсутні, що й вимагає їх отримання.

Постановка завдання. Завдання роботи полягає в проведенні випробувань значної кількості зразків теплоізоляційних матеріалів і поданні одержаних коефіцієнтів теплопровідності у вигляді випадкових величин.

Для отримання достовірних оцінок статистичних характеристик та законів розподілу випробувано декілька десятків зразків плит з пінополістиролу й мінеральної вати різних марок за середньою густиною.

Згідно з методикою нормативного документа [2] для визначення коефіцієнта теплопровідності плитного матеріалу забезпечується різниця температур його поверхонь, не менша за 30°C, після чого вимірюється температура обох поверхонь плити, а також інтенсивність теплового

поток. Коефіцієнт теплопровідності випробуваного зразка (Вт/(м×К)) визначається за формулою

$$\lambda = \frac{\delta \times I}{t_T - t_X}, \quad (1)$$

де δ – товщина зразка, м;

I – інтенсивність теплового потоку, Вт/м²;

t_T – температура теплої поверхні, °С, або, К;

t_X – температура холодної поверхні, °С, або, К.

З метою прискорення випробувань значної кількості зразків використана кліматична камера з робочим прорізом великого розміру, в якому монтувалися цілі плити випробуваного матеріалу. Випробувані плити попередньо розмічалися (але не розрізалися) на квадратні зразки зі стороною, довжина якої дорівнює п'яти товщинам плити. У центрі кожного квадрата встановлювалися дві хромель-копелеві термомпари (на обох поверхнях зразка), а також тепломір. Після введення установки в стаціонарний тепловий режим виконуються вимірювання інтенсивності теплового потоку та температур обох поверхонь усіх зразків згідно з вимогами норм [2]. Коефіцієнт теплопровідності кожного зразка (зони плити) визначався за формулою (1), а сукупність результатів для всіх зразків утворювала вибірку значень коефіцієнта теплопровідності матеріалу певної марки, яка аналізувалася відомими методами математичної статистики [5].

Така методика дозволила протягом одного робочого дня визначити коефіцієнти теплопровідності понад 30-ти зразків теплоізоляційного матеріалу однієї марки, що істотно прискорило випробування. Після випробувань на теплопровідність плити розрізалися на окремі зразки з метою визначення середньої густини, міцності при стиску та інших технічних характеристик за методами, регламентованими Державними стандартами України.

За описаною методикою проведено випробування пінополістирольних плит з марками за середньою густиною 15 та 25 кг/м³, а також плит з базальтової мінеральної вати марок за густиною 50 і 115 кг/м³. Статистична обробка отриманих вибірок коефіцієнтів теплопровідності виконана в MS Excel з використанням убудованих статистичних функцій, які реалізують методику обробки та формули, наведені в роботі [5]. Для кожної вибірки визначено середні значення, стандарти й коефіцієнти варіації, а також побудовано гістограми розподілу.

Результати статистичної обробки вибірок коефіцієнтів теплопровідності пінополістирольних і мінераловатних плит наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Статистичні характеристики коефіцієнтів теплопровідності

Вид матеріалу	N	M Вт/(м×К)	S Вт/(м×К)	V	χ^2	α
Пінополістирол $\rho=15$ кг/м ³	32	0,0359	0,0038	0,106	2,98	0,39
Пінополістирол $\rho=25$ кг/м ³	27	0,0315	0,0045	0,142	2,93	0,40
Мінеральна вата $\rho=50$ кг/м ³	15	0,0368	0,0047	0,127	0,70	0,70
Мінеральна вата $\rho=115$ кг/м ³	15	0,0474	0,0040	0,085	1,37	0,50

Спільний вплив багатьох випадкових факторів призводить до того, що технічні характеристики будівельних матеріалів у більшості випадків можуть описуватися нормальним законом розподілу [5], який є граничним розподілом суми багатьох випадкових величин. Зображені на рисунках 1 і 2 гістограми розподілу коефіцієнтів теплопровідності мають симетричний пагорбоподібний характер, котрий відповідає вигляду густини нормального розподілу. Результати перевірки цієї гіпотези за критерієм узгодженості Пірсона [5] наведено в таблиці 1, де для кожної із чотирьох проаналізованих вибірок указано значення статистики критерію χ^2 , кількість ступенів свободи k та рівень значимості α , на якому нормальний закон розподілу не суперечить дослідним даним.

Отримані рівні значимості $\alpha \geq 0,39$ підтверджують, що нормальний закон розподілу не суперечить дослідним даним і може використовуватися для імовірнісного опису коефіцієнтів теплопровідності пінополістиролу та мінераловатних плит. Числові характеристики цих розподілів для випробуваних матеріалів наведено в таблиці 1.

Порівняння одержаних результатів з вимогами стандартів [3, 4] виконано в таблиці 2. Середні значення коефіцієнтів теплопровідності випробуваних зразків пінополістиролу є меншими за вимоги нормативного документа [3], тому близько 95% зразків мають коефіцієнт теплопровідності, що відповідає стандарту.

Забезпеченості $P_{15}=0,943$ і $P_{25}=0,953$ близькі до тих, які зазвичай приймаються при нормуванні характеристичних значень показників міцності будівельних матеріалів. Отримані забезпеченості свідчать про достатньо високу якість випробуваних пінополістирольних плит та про їх відповідність вимогам нормативних документів.

Середні значення коефіцієнтів теплопровідності випробуваних зразків мінераловатних плит наближаються до гранично допустимих з начень, установлених ДСТУ [4], тому близько третини зразків марки 50 кг/м³ та понад половину зразків марки 115 кг/м³ мають коефіцієнти теплопровідності, які не відповідають вимогам стандарту.

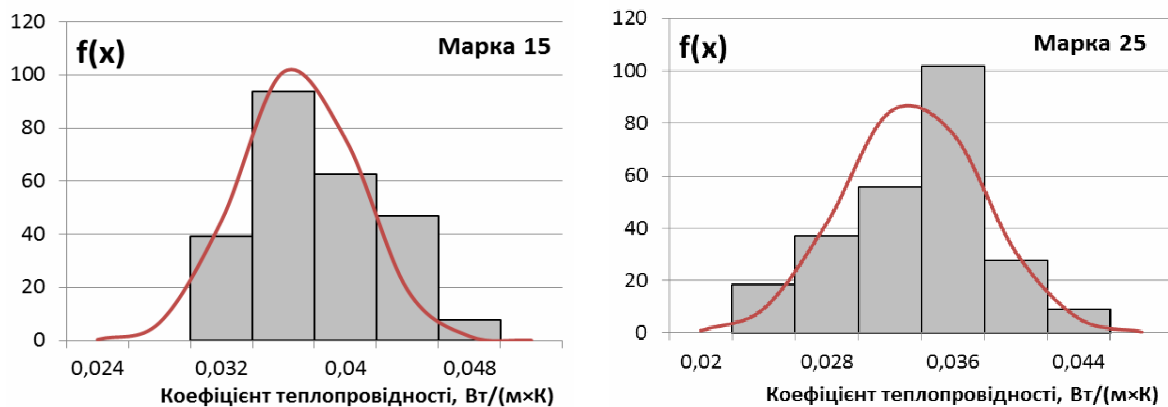


Рис. 1. Гістограми розподілу коефіцієнтів теплопровідності пінополістиролу

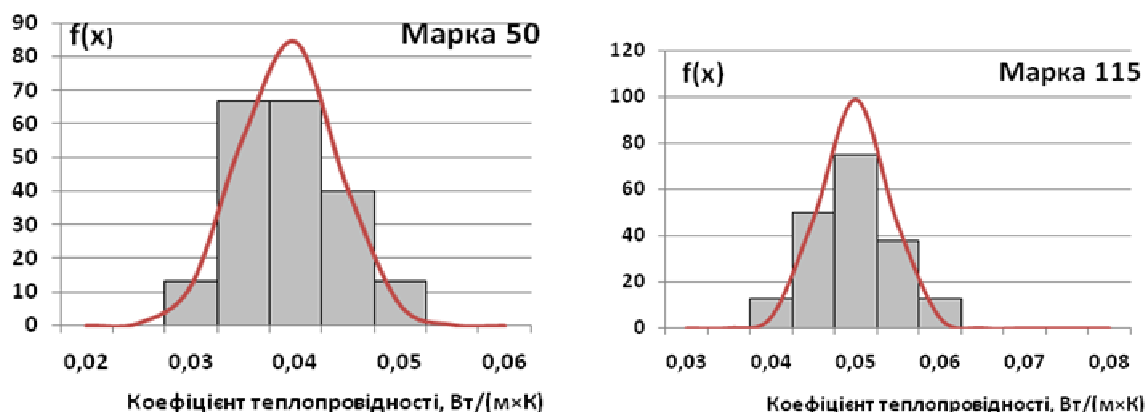


Рис. 2. Гістограми розподілу коефіцієнтів теплопровідності мінераловатних плит

Таблиця 2. Розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності

Вид і марка матеріалу	Характеристики Вт/(м×К)		Вимоги норм [3, 4]		Розрахункові значення (5) при забезпеченостях		
	M	S	λ_{\max}	P	0,9	0,99	0,999
Пінополістирол $\rho=15 \text{ кг/м}^3$	0,0359	0,0038	0,042	0,943	0,041	0,045	0,048
Пінополістирол $\rho=25 \text{ кг/м}^3$	0,0315	0,0045	0,039	0,953	0,037	0,042	0,045
Мінеральна вата $\rho=50 \text{ кг/м}^3$	0,0368	0,0047	0,039	0,681	0,043	0,048	0,051
Мінеральна вата $\rho=115 \text{ кг/м}^3$	0,0474	0,0040	0,047	0,461	0,053	0,057	0,060

У таблиці 2 наведено також розрахункові значення коефіцієнта теплопровідності, що відповідають різним рівням забезпеченості Р. Вони дорівнюють найбільшим значенням $\lambda(P)$, які не можуть бути перевищені з імовірністю Р, та обчислені за формулою

$$\lambda(P) = M + t_p \times S, \quad (2)$$

де М і S – середнє значення й стандарт коефіцієнта теплопровідності, отримані за результатами статистичної обробки й наведені в таблицях 1 і 2; t_p – аргумент функції нормального розподілу, визначений за таблицями [6] або за відповідною функцією Excel.

При зростанні рівня забезпеченості розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності збільшується. Тому при проектуванні більш відповідальних будівель теплотехнічні розрахунки огорожувальних конструкцій доцільно виконувати з урахуванням більших значень коефіцієнта теплопровідності, встановлених за таблицею 2 чи формулою (2). При цьому буде отримана більша товщина утеплювача, що й забезпечить вищий рівень теплової надійності та відповідно меншу ймовірність виникнення теплових відмов.

Виконані дослідження дозволяють зробити такі **висновки**:

1. Коефіцієнти теплопровідності теплоізоляційних матеріалів можна подати у формі нормально розподілених випадкових величин.
2. При проектуванні будівель більш високих класів відповідальності доцільно використовувати розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності, встановлені за вищими рівнями забезпеченості.
3. Отримані в результаті досліджень статистичні характеристики коефіцієнтів теплопровідності пінополістиролу та мінераловатних плит випробуваних марок можна використовувати в імовірнісних розрахунках теплової надійності огорожувальних конструкцій.

Література

1. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К., 2006. – 66 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – К., 2010. – 101 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-8-94. Плити пінополістирольні. Технічні умови. – К., 1994. – 22 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-167:2008. Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на синтетичному в'язучому. Загальні технічні умови. – К., 2000. – 22 с.
5. Венцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576с.
6. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк. – К. : Гама-Принт, 2009. – 216 с.
7. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель: монографія / В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк. – Одеса, 2012. –180 с.

Надійшла до редакції 15.09.2013

© В.В. Шульгін, А.М. Карюк