

УДК 69.022:699.86

В.А.Пашинський, О.А.Плотніков, А.М.Карюк
Кіровоградський національний технічний університет
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ НАДІЙНОСТІ СТІН
ЗА КРИТЕРІЄМ ТЕПЛОВИТРАТ

Розроблена імовірнісна методика оцінювання рівня теплової надійності огорожувальних конструкцій з урахуванням випадкового характеру властивостей будівельних матеріалів та температури атмосферного повітря. Методика базується на аналізі граничних нерівностей, сформованих на основі відомих закономірностей теплопередачі.

Ключові слова: *огорожувальні конструкції, тепла надійність, випадкові властивості матеріалів, випадкові температурні впливи.*

Табл 5. Форм 10. Літ 11

В.А.Пашинский, О.А.Плотников, А.Н. Карюк
МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАДЕЖНОСТИ СТЕН
ПО КРИТЕРИЮ ТЕПЛОПОТЕРЬ

Разработана вероятностная методика оценивания уровня тепловой надежности ограждающих конструкций с учетом случайного характера свойств строительных материалов и температуры атмосферного воздуха. Методика базируется на анализе предельных неравенств, сформированных на основании известных закономерностей теплопередачи.

Ключевые слова: *ограждающие конструкции, тепловая надежность, случайные свойства материалов, случайные температурные воздействия.*

V.A. Pashynskiy O.A. Plotnikov A.M. Kariuk
METHODOLOGY OF THE EVALUATION OF THERMAL RELIABILITY OF THE WALLS
BY THE CRITERIA OF THE HEAT LOSSES

Thermal reliability of the enclosures is analyzed by probabilistic methods taking into account random character of the structure dimensions, properties of the building materials and air temperature. Statistical characteristics of the heat resistance are calculated by function linearization of random values of the thickness and the coefficients of thermal conductivity of structural layers of the wall. Probability of the failure based on the criterion of insufficient resistance of the heat transfer equals the probability that normally distributed random value of the resistance of the heat transfer will be less than minimum acceptable value set by the design standards for given temperature area. Analysis of the impact of design parameters on statistical properties of the resistance of the heat transfer and value of the failure probability showed that the variability of the thickness of the wall layers can be ignored. The variability of the coefficients of the heat transfer must be considered only for efficient insulation and structurally-thermal insulation layers with large thermal resistance. The probability of the failure based on criterion of exceeding the maximum acceptable heat flow equals the probability that actual intensity of the heat flow through the enclosure will exceed certain threshold value. Maximum allowable intensity of heat flow is defined by the value of normative heat losses of the buildings during the heating season or by the value of heat transfer through properly designed enclosures in design terms of the operating. Certain incertitude in setting maximum allowable value of the intensity of the heat flow restricts the application of such method to the comparative evaluation of the heat reliability of the wall structures of the various types in close condition of the operation.

Keywords: *enclosures, thermal reliability, random material properties, random thermal effects*

Постановка проблеми. Зниження енерговитрат на опалення будинків можливе шляхом підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій до необхідного рівня теплової надійності за рахунок використання ефективних конструктивних рішень та теплоізоляційних матеріалів. Випадковий характер теплотехнічних характеристик матеріалів і температурних впливів атмосферного середовища обумовлює необхідність застосування імовірнісних методів оцінювання теплової надійності огорожувальних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нормативні документи [3, 5, 6] орієнтують на використання фасадних систем теплоізоляції, регламентують вимоги до їх конструкції та проектування. Результати експериментальних досліджень та досвід експлуатації, узагальнені в монографії [10], свідчать про ефективність таких систем теплоізоляції. В роботі [8] зроблена спроба наближеного оцінювання імовірності теплових відмов за встановленими ДБН [3] критеріями комфортності (нормована різниця температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні стіни) та утворення конденсату на внутрішній поверхні стіни (падіння температури

нижче точки роси). Розрахункові параметри температури атмосферного повітря встановлені стандартом [7] у формі детермінованих величин. Імовірнісна модель температури атмосферного повітря та необхідні для розрахунків теплової надійності статистичні характеристики квазістаціонарного випадкового процесу цієї температури наведені в монографії [9].

Невирішені частини проблеми. Запропонована в [8] методика оцінювання теплової надійності не враховувала статистичної мінливості товщини шарів огорожувальної конструкції та коефіцієнтів теплопровідності використаних матеріалів. Окрім того, розглядалися лише два види теплових відмов: утворення конденсату на внутрішній поверхні стіни та перевищення допустимої різниці температур поверхні стіни та повітря в приміщенні. Методики імовірнісного оцінювання рівня теплової надійності за критеріями недостатнього опору теплопередачі та перевищення допустимого значення інтенсивності теплового потоку через огороження, які враховують статистичну мінливість технічних характеристик стінових матеріалів, а також випадковий характер змін температури атмосферного повітря, в технічній літературі не виявлені.

Мета дослідження полягає в розробленні методики оцінювання рівня теплової надійності огорожувальних конструкцій з урахуванням випадкового характеру технічних характеристик будівельних матеріалів.

Передумови розроблення методики оцінювання теплової надійності:

- методика базується на розрахункових методах і формулах, наведених в ДБН [3];
- товщини шарів огорожувальної конструкції δ_i та коефіцієнти теплопровідності матеріалів λ_i вважаються нормально розподіленими випадковими величинами;
- температура зовнішнього повітря τ_3 вважається квазістаціонарним випадковим процесом або послідовністю нормально розподілених випадкових величин, що відповідають окремим місяцям року;
- температура повітря в приміщенні τ_b вважається детермінованою величиною, яка встановлюється згідно з вимогами ДБН [3];
- коефіцієнти внутрішньої α_b та зовнішньої тепловіддачі α_3 вважаються детермінованими величинами, які приймаються за даними ДБН [3];
- мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції R_{\min} є детермінованою величиною, прийнятою згідно з вимогами ДБН [3] з урахуванням змін [4];
- максимально допустима величина теплового потоку через огорожувальну конструкцію Q_{\max} встановлюється за даними чинних нормативних документів [3, 4, 7].

Статистичні характеристики опору теплопередачі огорожувальної конструкції, яка складається з N шарів (несуча конструкція, утеплювач, внутрішнє та зовнішнє оздоблення тощо) визначаються, виходячи з відомої формули ДБН [3]

$$R_0 = \alpha_b + \alpha_3 + \sum_{i=1}^N \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (1)$$

усі позначення в якій наведені вище. Враховуючи нелінійну операцію ділення випадкових величин δ_i і λ_i в формулі (1), статистичні характеристики результуючої випадкової величини R_0 визначені методом лінеаризації функції випадкових величин (1), викладеним в [1]. Для цього визначені похідні функції (1) по випадкових параметрах δ_i та λ_i в

$$\frac{\partial R_0}{\partial \delta_i} = \frac{1}{\lambda_i}; \quad \frac{\partial R_0}{\partial \lambda_i} = -\frac{\delta_i}{\lambda_i^2}. \quad (2)$$

Тоді згідно з методом лінеаризації [1], математичне сподівання й стандарт опору теплопередачі дорівнюють

$$M_{R0} = \alpha_b + \alpha_3 + \sum_{i=1}^N \frac{M_{\delta_i}}{M_{\lambda_i}}; \quad S_{R0} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{S_{\delta_i}}{M_{\lambda_i}} \right)^2 + \left(\frac{S_{\lambda_i} M_{\delta_i}}{M_{\lambda_i}^2} \right)^2 \right]}, \quad (3)$$

де N – кількість шарів огорожувальної конструкції;

M_{δ_i} та S_{δ_i} – математичне сподівання й стандарт товщини i -того шару;

M_{λ_i} та S_{λ_i} – математичне сподівання й стандарт коефіцієнта теплопровідності i -того шару;

інші позначення наведені вище.

Імовірність теплової відмови за критерієм недостатнього опору теплопередачі дорівнює імовірності того, що випадкова величина фактичного опору теплопередачі буде меншою за встановлене нормами мінімально допустиме значення опору теплопередачі R_{\min} :

$$Q_1 = \text{prob}\{R_0 < R_{\min}\} = F_R(R_{\min}), \quad (4)$$

де $F_R(\dots)$ – функція нормального розподілу опору теплопередачі з математичним сподіванням M_{R_0} і стандартом (3);

R_{\min} – мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції певного виду для відповідної температурної зони за ДБН [3, 4].

Вплив мінливості товщини й теплопровідності різних шарів на статистичні характеристики опору теплопередачі та на імовірність відмови (4) проаналізовано на прикладі типової цегляної стіни з додатковим фасадним утепленням з плит пінополістиролу. Склад стіни та статистичні характеристики товщини δ_i й коефіцієнта теплопровідності λ_i кожного шару наведені в таблиці 1. Математичні сподівання товщини шарів прийняті рівними їх номінальним проектним значенням, а стандарти оцінені за величинами допусків на розміри, встановлених технічними умовами на відповідні вироби. При цьому орієнтовно вважалось, що нормативні допуски мають односторонню забезпеченість 0,95. Математичне сподівання й стандарт коефіцієнта теплопровідності пінополістиролу прийняті за результатами експериментально-статистичних випробувань [11]. Математичні сподівання коефіцієнтів теплопровідності інших шарів прийняті за номінальними значеннями, наведеними в ДБН [3], а їх стандарти з деяким запасом визначені з урахуванням коефіцієнтів варіації $V \approx 0,2$, оскільки коефіцієнт варіації теплопровідності полістиролу за результатами випробувань [11] отримано рівним 0,15.

Таблиця 1.

Статистичні характеристики шарів стіни

Конструктивні елементи (шари) стіни	Товщина шару, м		Коефіцієнт теплопровідності	
	M_{δ}	S_{δ}	M_{λ}	S_{λ}
Зовнішня фасадна штукатурка товщиною 10 мм	0,01	0,0010	0,47	0,09
Утеплювач з пінополістирольної плити марки 25 товщиною 80 мм	0,08	0,0018	0,0315	0,0045
Цегляна кладка з повнотілої керамічної цегли на цементно-піщаному розчині товщиною 510 мм	0,51	0,0030	0,56	0,11
Внутрішня штукатурка з вапняного розчину товщиною 20 мм	0,02	0,0012	0,58	0,12

Розрахунки за формулами (3), (4) та даними таблиці 1 показали, що математичне сподівання опору теплопередачі розглянутої стіни дорівнює $M_{R_0}=3,665 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, стандарт $S_{R_0}=0,409 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, а імовірність теплової відмови при мінімально допустимому значенні опору теплопередачі при термомодернізації житлових будівель $R_{\min}=2,64 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ дорівнює $Q_1=0,00609$.

Вплив статистичної мінливості розрахункових параметрів на характеристики опору теплопередачі та величину імовірності відмови встановлено шляхом виконання аналогічних розрахунків при нульових значеннях стандартів товщини й теплопровідності кожного з чотирьох шарів стіни (окремо для кожного з цих параметрів). Результати восьми варіантів розрахунку, наведені в таблиці 2, дозволяють проаналізувати вплив мінливості кожного з розрахункових параметрів на стандарт опору теплопередачі стіни та імовірність теплової відмови.

Статистичні характеристики шарів стіни

Конструктивні елементи (шари) стіни	Термічний опір, M_{Ri}	Зміни параметрів залежно від мінливості			
		товщини шару		коефіцієнта теплопровідності	
		S_{R0}	Q_1	S_{R0}	Q_1
Зовнішня фасадна штукатурка	0,021	0,409	0,00608	0,409	0,00608
Утеплювач з пінополістиролу	2,540	0,405	0,00567	0,188	2,6E-08
Цегляна кладка	0,911	0,409	0,00608	0,367	0,00265
Внутрішня штукатурка	0,034	0,409	0,00608	0,409	0,00608

З таблиці видно, що мінливість товщини шарів мало впливає на результати розрахунку. Навіть ігнорування мінливості товщини ефективного утеплювача призводить до порівняно незначного зменшення імовірності відмови з 0,00609 до 0,00567. Це можна пояснити невеликими коефіцієнтами варіації товщини шарів, які не перевищують 0,1. Набагато більший вплив виявляє мінливість коефіцієнта теплопровідності, який має коефіцієнти варіації 0,15–0,20. Якщо ігнорування випадкового характеру теплотехнічних властивостей оздоблювальних шарів практично не впливає на результати розрахунків, то мінливість коефіцієнтів теплопровідності ефективного утеплювача й цегляної кладки кардинально змінює імовірність теплової відмови стіни. Без урахування випадкового характеру коефіцієнта теплопровідності цегляної кладки імовірність теплової відмови стіни зменшується від 0,00609 до 0,00265, а ігнорування статистичної мінливості коефіцієнта теплопровідності утеплювача знижує імовірність відмови до $2,6 \times 10^{-08}$. Загалом вплив статистичної мінливості характеристик окремих шарів стіни зростає при збільшенні їх термічного опору. Тому в практичних розрахунках випадковий характер товщини й теплотехнічних властивостей тонких оздоблювальних шарів та несучих конструкцій з високою теплопровідністю можна не враховувати.

Імовірність теплової відмови за критерієм перевищення максимально допустимого теплового потоку дорівнює імовірності того, що фактична інтенсивність теплового потоку через огородження G перевищить певне граничне значення G_{max} :

$$G = (\tau_b - \tau_s) / R_o > G_{max}, \quad \text{або} \quad R_o G_{max} - \tau_b + \tau_s < 0. \quad (5)$$

Імовірність безвідмовної роботи дорівнює імовірності виконання граничної нерівності:

$$R_o G_{max} - \tau_b + \tau_s > 0. \quad (6)$$

Гранична нерівність (6) містить суму двох випадкових величин: опору теплопередачі R_o та температури зовнішнього повітря τ_s . Статистичні характеристики опору теплопередачі обчислюються за формулами (3), характеристики температури зовнішнього повітря визначаються за метеорологічними даними, які узагальнено в [9]. Згідно з прийнятими передумовами, усі інші складові (5) вважаються детермінованими. Математичне сподівання й стандарт лівої частини граничної нерівності (6), яку можна вважати резервом теплової надійності, визначаються за теоремами про числові характеристики лінійної функції випадкових величин [1]:

$$M_p = M_{R0} G_{max} - \tau_b + M_{\tau_s}; \quad S_p = \sqrt{(S_{R0} G_{max})^2 + S_{\tau_s}^2}, \quad (7)$$

де M_{τ_s} та S_{τ_s} – математичне сподівання та стандарт температури зовнішнього повітря.

При відомих статистичних характеристиках (7) імовірність теплової відмови за критерієм перевищення максимально допустимої інтенсивності теплового потоку через огорожувальні конструкцію дорівнює імовірності невиконання граничної нерівності (6) і визначається через функцію нормального розподілу:

$$Q_2 = \text{prob}\{G > G_{max}\} = F_p(0), \quad (8)$$

де $F_p(\dots)$ – функція нормального розподілу резерву теплової надійності (6) з математичним сподіванням і стандартом (7);

G_{\max} – гранично допустиме значення інтенсивності теплового потоку через огороження.

Гранично допустиме значення інтенсивності теплового потоку G_{\max} може визначатися двома способами. Перший спосіб базується на значеннях нормативних максимальних тепловитрат будинків протягом опалювального сезону, встановлених нормами [3, 4]. Для визначення G_{\max} необхідно проаналізувати усі огорожувальні конструкції будинку та виділити ту частку теплового потоку, яка проходить крізь обрану конструкцію. Цей спосіб є реальним, але досить трудомістким, оскільки вимагає комплексного розрахунку тепловитрат усього будинку.

Другий спосіб визначення гранично допустимої інтенсивності теплового потоку G_{\max} заснований на аналізі теплопередачі в розрахункових умовах експлуатації. Гранично допустимою вважається інтенсивність теплового потоку через огорожувальну конструкцію з опором теплопередачі, що відповідає вимогам норм [4], при розрахунковому значенні температури зовнішнього атмосферного повітря τ_{ef} , встановленому стандартом [7]:

$$G_{\max} = (\tau_b - \tau_{ef}) / R_{\min}, \quad (9)$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції R_{\min} визначається за вимогами ДБН [3] з урахуванням змін [4] залежно від призначення будівлі, виду огорожувальної конструкції та одного з двох температурних районів України. Так наприклад, при термомодернізації стін житлових і громадських будинків встановлено $R_{\min}=2,64 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ для I температурної зони та $R_{\min}=2,24 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ для II температурної зони.

Державний стандарт України [7] містить чотири розрахункових значення температури повітря в зимовий період року. Розглянемо два граничні випадки: температуру найхолоднішої доби із забезпеченістю 0,98, яку використовують при розрахунках легких огорожувальних конструкцій, та температуру найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченістю 0,92, яку використовують при розрахунках масивних огорожувальних конструкцій з великою тепловою інерцією. Для кожного з 57 населених пунктів, вказаних в [7], вибрані два розрахункові значення температури, а також встановлені температурні зони та відповідні значення R_{\min} згідно з [3, 4]. За формулою (9) при температурі внутрішнього повітря $+20^\circ\text{C}$ обчислені допустимі інтенсивності теплового потоку для кліматичних умов кожного з проаналізованих населених пунктів. Отримані значення інтенсивності теплового потоку G_{\max} для різних метеостанцій мають незначний розкид, що дозволяє узагальнити їх по території України. Результати статистичної обробки значень G_{\max} для 57 населених пунктів України наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Статистичні характеристики допустимих значень інтенсивності теплового потоку через стіни житлових і громадських будівель

Вид і умови використання стінових конструкцій	Статистичні характеристики теплового потоку			
	M_G	S_G	V_G	G_{\max}
Нове будівництво, легкі конструкції	14,9	1,21	0,081	16,9
Нове будівництво, масивні конструкції	12,7	1,11	0,087	14,5
Термореконструкція, легкі конструкції	18,6	1,51	0,081	21,1
Термореконструкція, масивні конструкції	15,9	1,39	0,087	18,2

Невеликі значення коефіцієнтів варіації, наведені в таблиці 3 за результатами статистичної обробки, підтверджують незначний територіальний розкид даних і можливість їх узагальнення. В якості гранично допустимої інтенсивності теплового потоку доцільно встановити середні M_G , або найбільші по території значення G_{\max} , які нормами [3, 4] вважаються прийнятними. Найбільші значення, встановлені із забезпеченістю 0,95, наведені в останній колонці таблиці 3.

Приклад розрахунку теплової надійності розглянутої вище стіни в кліматичних умовах м. Кіровоград і м. Полтава наведено в таблиці 4. Статистичні характеристики опору теплопередачі обчислені вище за формулами (3) та даними таблиці 1. Математичне сподівання й стандарт температури атмосферного повітря в січні, як найхолоднішому місяці року, визначені за даними [9]. З урахуванням цих даних обчислені статистичні характеристики резерву теплової надійності за формулами (7) та імовірності теплової відмови за (8). Враховуючи, що показник масивності

стіни за [3] дорівнює $D=7,68$, при визначенні максимально допустимої інтенсивності теплового потоку за формулою (9) в якості розрахункових значень температури зовнішнього атмосферного повітря τ_{ef} для кожного з населених пунктів враховувалися температури найхолоднішої п'ятиденки при забезпеченості 0,92.

Таблиця 4.

Визначення імовірності теплової відмови стіни житлової будівлі за критерієм перевищення максимально допустимого теплового потоку

	G_{max}	τ_b	Опір теплопередачі		Зовнішня температура		Резерв надійності		Імовірність відмови Q_2
			M	S	M	S	M	S	
Кіровоград	15,9	20	3,665	0,409	-5,60	6,43	32,67	9,140	0,000176
Полтава	15,9	20	3,665	0,409	-6,44	6,65	31,83	9,298	0,000310
Кіровоград	18,2	20	3,665	0,409	-5,60	6,43	41,10	9,830	0,000015
Полтава	18,2	20	3,665	0,409	-6,44	6,65	40,26	9,978	0,000027

У перших двох строчках таблиці 4 наведені результати розрахунків при середньому по території України значенні допустимої інтенсивності теплового потоку, а в двох останніх – при найбільшому по території значенні із забезпеченістю 0,95. В обох випадках імовірність теплової відмови розглянутої стіни в умовах Полтави приблизно удвічі більша, ніж в умовах Кіровограда, які характеризуються більш м'яким кліматом. При урахуванні максимального значення допустимої інтенсивності теплового потоку $G_{max}=18,2 \text{ Вт/м}^2$ імовірності відмови отримані на порядок меншими, ніж при урахуванні середнього по території України значення $G_{max}=15,9 \text{ Вт/м}^2$. Отримані імовірності відмови загалом відповідають рекомендаціям норм [2] щодо доцільних значень імовірності відмови елементів будівельних конструкцій.

Якщо статистичні характеристики температури зовнішнього повітря M_{tz} та S_{tz} прийняті для найхолоднішого місяця року (січня), то визначену за (8) імовірність відмови Q_2 можна трактувати як імовірність одноразового протягом року невиконання граничної нерівності (6). Тоді імовірність безвідмовної роботи протягом встановленого терміну експлуатації T_{ef} визначається за відомим експоненціальним законом надійності

$$P_2(T_{ef}) = \exp(-Q_2 T_{ef}) . \quad (10)$$

Розрахунки за формулою (10) та даними метеостанцій Кіровоград і Полтава при різних значеннях встановленого терміну експлуатації дають функції надійності, наведені в таблиці 5.

Таблиця 5.

Функції теплової надійності стіни в кліматичних умовах Кіровограда і Полтави

	Імовірність відмови Q_2	Імовірність безвідмовної роботи при термінах експлуатації $T=$					
		5	10	20	50	100	200
Кіровоград	0,000176	0,99912	0,99825	0,99649	0,99126	0,98259	0,96548
Полтава	0,000310	0,99845	0,99691	0,99382	0,98463	0,96949	0,93992
Кіровоград	0,000015	0,99993	0,99985	0,99971	0,99927	0,99855	0,99710
Полтава	0,000027	0,99986	0,99973	0,99945	0,99863	0,99727	0,99454

З таблиці видно, що при терміні експлуатації $T_{ef}=100$ років, встановленому нормами [2] для житлових будинків, імовірність безвідмовної роботи стіни, як огорожувальної конструкції, залежно від району експлуатації та прийнятого гранично допустимого значення інтенсивності теплового потоку змінюється в межах від 0,940 до 0,997. Отримані значення не відповідають рекомендаціям [2], але враховуючи відсутність катастрофічних наслідків теплової відмови (на відміну від несучих конструкцій, на які в основному орієнтовані норми [2]), є цілком прийнятними для забезпечення нормальної експлуатації будівель. Істотні відмінності показників надійності, отриманих при різних підходах до встановлення значення допустимої інтенсивності теплового потоку (середнє чи максимальне по території) дещо обмежують використання запропонованої методики оцінювання надійності. Її доцільно використовувати для порівняльного аналізу рівнів

надійності конструкцій різного типу в різних кліматичних умовах експлуатації. Таке застосування є перспективним щодо порівняльного аналізу та оптимізації теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій шляхом вирівнювання їх рівня надійності.

Висновки за результатами досліджень:

1. На стандарт опору теплопередачі стін вирішальний вплив виявляє мінливість коефіцієнта теплопровідності ефективного утеплювача та конструкційно-теплоізоляційних шарів з великим термічним опором. Коефіцієнти теплопровідності тонких оздоблювальних шарів, а також товщини всіх шарів стін можна вважати детермінованими величинами.
 2. Методики визначення імовірності теплової відмови за критеріями недостатнього опору теплопередачі та перевищення максимально допустимої величини теплового потоку дозволяють виконувати порівняльну оцінку рівня теплової надійності різних огорожувальних конструкцій в заданих кліматичних умовах експлуатації.
 3. Виконані приклади розрахунку вказують на достатній рівень теплової надійності стін житлових будівель з додатковим фасадним утепленням, виконаним за вимогами чинних норм.
1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
 2. ДБН В.1.2-14:2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
 3. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К., 2006. – 66 с.
 4. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Зміна № 1.– К., 2013. – 11 с.
 5. ДБН В.2.6-33:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації. – К., 2009. – 23 с.
 6. ДСТУ Б В.2.6-34:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги. – К., 2009. – 15 с.
 7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К., 2010. – 101 с.
 8. Пашинський В.А. Оцінка імовірності виникнення теплових відмов конструкцій / В.А. Пашинський, Г.Г. Фаренюк // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сборник научных трудов. Выпуск 56. – Днепропетровск: ДГАСА, 2010. – с. 305 – 310.
 9. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель: монографія // В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк / – Одеса, 2012. –180 с.
 10. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк. – К. : Гама-Принт, 2009. – 216 с.
 11. Шульгін В. В., Карюк А. М. Імовірнісне подання технічних характеристик теплоізоляційних матеріалів // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип.4(39) . – С. 257-262.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2014