

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 692.23:699.86

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.64-74](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.64-74)

В.А. Пашинський, проф., д-р техн. наук, **В.А. Настоящий**, проф., канд. техн. наук, **М.В. Пашинський**, доц., канд. техн. наук, **Д.В. Богатирьов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: pva.kntu@gmail.com

Вплив підвищення нормативних вимог на рівень теплової надійності та втрати тепла через стіни й покриття житлових і громадських будівель

Проаналізовано зменшення річних втрат тепла та імовірної тривалості дії теплових відмов стін і покриттів цивільних будівель на території України з опором теплопередачі згідно ДБН В.2.6-31:2016 і ДБН В.2.6-31:2021. При різних значеннях допустимої різниці температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні огорожень, тривалість дії теплових відмов може відрізнятись на два порядки. Реалізоване в ДБН В.2.6-31:2021 підвищення опору теплопередачі обумовило зменшення втрат тепла в середньому на 17%, а також зменшення тривалості дії теплових відмов стін на 17% і покриттів на 54%.

житлові та громадські будівлі, стіни, покриття, втрати тепла, тривалість теплової відмови

Постановка проблеми. Одним з ключових факторів впливу на енергетичну ефективність будівель є опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. У вересні 2021 року набула чинності нова редакція Державних будівельних норм України ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [1], у якій істотно підвищені вимоги до опору теплопередачі стін і покриттів житлових і громадських будівель порівняно з попередніми ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [2]. Вплив підвищених вимог на щорічні втрати тепла та на рівень теплової надійності огорожувальних конструкцій доцільно проаналізувати шляхом порівняння результатів розрахунків за вказаними нормами з урахуванням даних про температурний режим атмосферного повітря в різних регіонах України. Це дозволить оцінити перспективну економію енергоресурсів на опалення житлових і громадських будівель, які будуть запроєктовані з урахуванням оновлених ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вимоги до теплових характеристик і заходів щодо забезпечення теплової надійності огорожувальних конструкцій сформульовані в ДБН В.2.6-31:2021 [1]. Для непрозорих конструкцій нормується опір теплопередачі, який визначає втрати тепла через огороження, а також різниця температур внутрішньої поверхні огороження та повітря в приміщенні, яка впливає на комфортність перебування в приміщенні. Конкретні методи розрахунків та необхідні довідкові дані викладені в стандарті [3]. ДБН [1] видання 2021 року відрізняються від попередньої редакції [2] підвищеними вимогами до мінімально необхідного опору теплопередачі. Збільшення опору теплопередачі огорожень повинно зменшити втрати тепла та підвищити комфортність перебування в приміщеннях.

Задача вибору раціонального значення опору теплопередачі (раціональних теплових характеристик) огорожувальних конструкцій розв'язувалася в роботах

[4...7]. З урахуванням вартості конструкцій та втраченого тепла для умов України встановлено [4], що при чинному співвідношенні вартості будівельних матеріалів і теплової енергії опір теплопередачі розглянутих огорожувальних конструкцій доцільно збільшити в 1,3...2,5 рази порівняно з мінімально необхідними значеннями, встановленими в нормах [2]. В роботі [5] проаналізовані витрати тепла та обчислені рекомендовані товщини різних типів утеплювачів (екструдований полістирол чи мінеральна вата Rockwool), у будівлях з різними матеріалами огорожувальних конструкцій (цегла, черепашник, газобетон, стіни з повітряними прошарками) при використанні різних джерел отримання тепла (зріджений газ, електроопалення, мазут, вугілля, природний газ, геотермальне опалення) для кліматичних умов різних міст Туреччини. За співвідношенням оптимальної ціни при розрахунковому строкові експлуатації до 12 років визначено оптимальну товщину утеплювача від 0 до 18 см. Аналогічні дослідження проводилися в роботі [6] для кліматичних умов трьох міст Європи. В результаті розрахунків, оптимальна товщина утеплювача склала 5...10 см при розрахунковому строкові експлуатації 20 років. Також визначені заощадження енергії за розрахунковий строк експлуатації утеплювача.

В роботі [7] визначена оптимальна товщина утеплювача для літньої пори року з урахуванням сонячної радіації та витрат на кондиціонування. Розрахунки показали, що у деяких випадках використовувати утеплювач є недоцільно, у регіонах, які знаходяться далі від зон з підвищеною температурою є раціональним використання утеплювача від 1 до 8 сантиметрів при строкові експлуатації 10 років. В публікації [8] вказано, що результати цих досліджень враховані при оновленні нормативних документів Туреччини. Зокрема, з 1 січня 2023 року мінімальна товщина утеплювача збільшилася з 5 до 8 см для Стамбулу та з 6 до 9 см для Анкари.

Загальні тенденції щодо удосконалення теплової ізоляції будівель, відображені в дослідженнях [4...7], узгоджуються з реалізованим в ДБН [1] підвищенням мінімально необхідних значень опору теплопередачі стін і покриттів цивільних будівель.

Втрати тепла через огорожувальні конструкції на протязі опалювального періоду можна оцінити за відомими залежностями будівельної теплофізики [3, 9] з урахуванням теплових характеристик огорожень, нормативних вимог до температурного режиму приміщень та кліматичних даних по температурі атмосферного повітря, наведених у стандарті [10] та в монографії [11] для великої кількості пунктів спостереження України.

Умова комфортного перебування в приміщенні поблизу зовнішніх огорожень виражена в нормах [1, 2] граничною нерівністю, яка обмежує різницю температур внутрішньої поверхні огороження та повітря в приміщенні величиною, залежною від призначення конструкції та виду огороження. Нормативні документи [1, 2] вимагають виконувати таку перевірку з урахуванням встановлених розрахункових значень усіх впливаючих величин без урахування їх випадкової природи. Методика імовірного оцінювання рівня теплової надійності огорожувальних конструкцій за критерієм комфортності запропонована в роботах [12, 13]. Вона дозволяє визначити імовірну тривалість дії теплової відмови з урахуванням випадкових змін температури зовнішнього повітря та повітря в приміщенні, а також випадкового характеру теплових характеристик огорожувальних конструкцій.

Статистичні характеристики вихідних величин, необхідні для реалізації розробленої в [13] методики оцінювання рівня теплової надійності, можна запозичити з результатів досліджень [11, 14, 15, 16]. В роботі [14] показано, що температура повітря в приміщенні може бути представлена у формі нормально розподіленої випадкової величини з математичним сподіванням, рівним розрахунковому значенню з ДБН [1, 2],

та стандартом, рівним $0,3...0,6^{\circ}\text{C}$. В [11] зміни температури атмосферного повітря представлені у вигляді послідовності з 12-ти нормально розподілених випадкових величин, кожна з яких відповідає певному місяцю року. Для пунктів спостереження України середньомісячні значення температури повітря можна запозичити з монографії [11] або з ДСТУ [10]. Стандарти місячних розподілів температури визначаються за наближеною формулою, обґрунтованою в [11]. Опір теплопередачі огорожувальної конструкції також можна представити у вигляді нормально розподіленої випадкової величини за методикою [13]. Необхідні для цього статистичні характеристики теплопровідності деяких будівельних матеріалів отримані в роботах [15, 16] за результатами експериментальних досліджень серій однотипних зразків.

Загалом виконаний огляд останніх досліджень вказує на доцільність вивчення впливу підвищених вимог норм [1] до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій на енергоефективність будівель за критеріями втрат тепла та рівня теплової надійності, а також підтверджує наявність вихідних даних для проведення таких досліджень. Результати дослідження дозволять оцінити перспективи підвищення енергоефективності та комфортності житлових і громадських будівель, які будуть запроєктовані й зведені з урахуванням збільшених значень опору теплопередачі, встановлених в ДБН В.2.6-31:2021 [1].

Постановка завдання. За результатами порівняльного аналізу втрат тепла та імовірної тривалості теплових відмов стін і покриттів житлових і громадських будівель у різних регіонах України оцінити вплив підвищених вимог ДБН В.2.6-31:2021 до опору теплопередачі на енергетичну ефективність та комфортність будівель.

Методика та об'єкти дослідження. Енергетична ефективність огорожувальних конструкцій, запроєктованих згідно з вимогами ДБН [1] і [2], порівнюються за двома критеріями: втрати тепла на протязі опалювального періоду та імовірна річна тривалість дії теплових відмов за критерієм комфортності.

Втрати тепла через один квадратний метр непрозорої конструкції з опором теплопередачі R_{Σ} обчислюються за формулою, отриманою на основі відомих залежностей будівельної теплофізики [13, 21] для стаціонарного теплового режиму:

$$Q = 0,0206 \times \frac{\Theta_{\text{int}} - \Theta_h}{R_{\Sigma}} \times t_h \text{ (Мкал/рік)}. \quad (1)$$

де Θ_{int} – встановлена нормами [1] чи [2] температура повітря в приміщенні;

Θ_h – середня температура опалювального періоду;

t_h – тривалість опалювального періоду.

Теплова відмова за критерієм комфортності реалізується при перевищенні встановленого в ДБН [1, 2] допустимого значення різниці між температурою внутрішнього повітря в приміщенні та температурою внутрішньої поверхні огороження. Враховуючи випадковий характер основних факторів впливу, в роботах [12, 13] у якості показника теплової надійності використовується імовірна тривалість стану теплової відмови на протязі опалювального періоду. Згідно з [13], цей показник визначається в такому порядку:

- встановлюються описані нижче вихідні дані;
- для кожного з місяців року за формулами з [13] обчислюються математичні сподівання й стандарти M_{si} та S_{si} нормально розподілених випадкових величин температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції та її різниці з температурою внутрішнього повітря M_{Δ} та S_{Δ} ;

• для кожного j -того місяця року через функцію нормального розподілу різниці температур з математичним сподіванням M_{Δ} і стандартом S_{Δ} визначається імовірна тривалість стану теплової відмови (в хвиликах на місяць)

$$Q_j = 43920 \left[1 - F(\Delta\theta_{\max}) \right], \quad (2)$$

де $\Delta\theta_{\max}$ – допустиме за ДБН [1] чи [2] значення різниці температури повітря в приміщенні та температури внутрішньої поверхні огороження;

43920 – кількість хвилин у місяці з середньою тривалістю 30,5 доби.

• річна тривалість стану теплової відмови (у хвиликах на рік) дорівнює сумі місячних значень (2) для місяців, що відносяться до опалювального періоду:

$$Q_{\text{year}} = \sum_j Q_j. \quad (3)$$

Для більшості території України слід враховувати 7 місяців з жовтня по квітень, на протязі яких середня температура атмосферного повітря не перевищує $+8^{\circ}\text{C}$.

Для порівняння енергетичних показників обрані стіни та суміщені покриття будівель, вимоги до яких у нормах [1] і [2] відрізняються лише мінімально необхідним опором теплопередачі при рівних значеннях інших показників. Умови експлуатації та вимоги до обраних для аналізу огорожувальних конструкцій наведені в таблиці 1, де вказані такі дані:

θ_{int} – температура внутрішнього повітря в приміщенні;

$\Delta\theta_{\max}$ – допустима різниця температури внутрішньої поверхні огороження та температури повітря в приміщенні згідно з вимогами ДБН [1] і [2];

R_{qmin} , – мінімально допустимі значення опору теплопередачі огорожень, встановлені в ДБН [1] і [2] для першої та другої температурної зони України.

Таблиця 1 – Вихідні дані для визначення втрат тепла через огороження та оцінювання рівня їх теплової надійності

Призначення будівель	$\theta_{\text{int}}, ^{\circ}\text{C}$	Вид огороження	$\Delta\theta_{\max}$	Опір теплопередачі R_{qmin} , $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$ для першої / другої зони	
				за ДБН В.2.6-31:2016	за ДБН В.2.6-31:2016
Житлові будівлі та готелі	$+20^{\circ}\text{C}$	стіни	4	3,3 / 2,8	4,0 / 3,5
		покриття	3	6,0 / 5,5	7,0 / 6,0
Лікарні та заклади дошкільної освіти	$+22^{\circ}\text{C}$	стіни	4	3,3 / 2,8	4,0 / 3,5
		покриття	3	6,0 / 5,5	7,0 / 6,0
Нежитлові громадські будівлі	$+20^{\circ}\text{C}$	стіни	5	3,3 / 2,8	4,0 / 3,5
		покриття	4	6,0 / 5,5	7,0 / 6,0

Джерело: розроблено авторами згідно даних [1] і [2]

З таблиці слідує, що втрати тепла через огорожувальні конструкції будівель слід визначати для температури внутрішнього повітря $+20^{\circ}\text{C}$ і $+22^{\circ}\text{C}$, чотирьох значень опору теплопередачі стін (за ДБН 2016 та 2021 року для кожної з двох температурних зон України) та аналогічних стінам чотирьох значень опору теплопередачі покриттів. Імовірна тривалість дії теплових відмов визначається для тих же конструкцій з урахуванням різних значень $\Delta\theta_{\max}$, вказаних в таблиці 1 за даними норм [1, 2] для житлових і нежитлових громадських будівель.

Вихідні дані. Для визначення втрат тепла за формулою (1) необхідно встановити опір теплопередачі огорожувальної конструкції, температуру повітря в приміщенні

θ_{int} , середню температуру θ_h й тривалість опалювального періоду t_h в заданому географічному районі. Розрахункові значення температури повітря в приміщенні θ_{int} наведені в таблиці 1. Опір теплопередачі стін і покриттів R_{Σ} приймається рівним мінімально необхідним значенням R_{qmin} за ДБН [1] і [2], які також вказані в таблиці 1. Середня температура опалювального періоду θ_h та його тривалість t_h прийняті за даними стандарту [10], де вони наведені для 57 метеостанцій з різних географічних районів України.

Для визначення показників теплової надійності за методикою [13] і формулами (2), (3) необхідно описати нормальними розподілами випадкові величини опору теплопередачі огороження, температури повітря в приміщенні, а також температури зовнішнього повітря в кожному з місяців року.

Згідно з [13], статистичні характеристики опору теплопередачі огорожувальних конструкцій визначаються за формулами:

$$M_R = \frac{1}{h_{si}} + \frac{1}{h_{se}} + \sum_{i=1}^N \frac{d_i}{M_{\lambda i}} ; \quad S_R = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{S_{\lambda i} d_i}{M_{\lambda i}^2} \right)^2} , \quad (4)$$

де N – кількість шарів огорожувальної конструкції;

d_i – детерміноване значення товщини i -того шару;

$M_{\lambda i}$ та $S_{\lambda i}$ – математичне сподівання й стандарт теплопровідності i -того шару;

h_{si} та h_{se} – коефіцієнти тепловіддачі для внутрішньої та зовнішньої поверхні огороження за ДСТУ [3].

Для визначення статистичних характеристик опору теплопередачі за формулами (4) необхідно задатися конкретною конструкцією огороження, характерною для сучасного будівництва. Нижче розглядаються самонесучі стіни з ніздрюватого бетону з фасадним утепленням мінераловатними плитами, а також суміщені покриття із залізобетонної плити, мінераловатних плит утеплення та гідроізоляційного шару на основі бітумних матеріалів. Товщина шарів утеплення підібрана таким чином, щоб опір теплопередачі стін і покриттів був близьким до мінімально необхідних значень, встановлених ДБН [1] і [2]. Статистичні характеристики коефіцієнтів теплопровідності матеріалів прийняті за даними [15, 16]. Результати обчислення середніх значень M_R і стандартів S_R опору теплопередачі стін і покриттів для двох температурних зон України за ДБН [1] і [2] наведені в таблиці 2. З таблиці видно, що отримані розрахункові значення опору теплопередачі покриттів і стін R_{Σ} максимально наближені до мінімально допустимих значень, встановлених у ДБН [1] і [2].

Таблиця 2 – Статистичні характеристики опору теплопередачі покриттів і стін

Огорожувальні конструкції	R_{Σ}	M_R	S_R
Стіна для першої зони за ДБН В.2.6-31:2016	3,254	3,571	0,147
Стіна для другої зони за ДБН В.2.6-31:2016	2,845	3,145	0,117
Стіна для першої зони за ДБН В.2.6-31:2021	4,070	4,422	0,212
Стіна для другої зони за ДБН В.2.6-31:2021	3,458	3,784	0,163
Покриття для першої зони за ДБН В.2.6-31:2016	6,034	6,308	0,507
Покриття для другої зони за ДБН В.2.6-31:2016	5,422	5,670	0,453
Покриття для першої зони за ДБН В.2.6-31:2021	7,055	7,372	0,598
Покриття для другої зони за ДБН В.2.6-31:2021	6,034	6,308	0,507

Джерело: розроблено авторами

Середні значення температури повітря в приміщенні приймаються незмінними протягом усього опалювального періоду та рівними розрахунковим значенням θ_{int} , які

наведені в таблиці 1 згідно з ДБН [1, 2]. Стандарт цієї температури прийнято рівним $0,6^{\circ}\text{C}$ за даними роботи [14].

Середньомісячні значення температури атмосферного повітря запозичені з ДСТУ [10] де вони наведені для опорної мережі з 57 метеостанцій, розміщених у різних географічних районах України. Значення стандарту температури для усіх місяців року обчислюються за наближеною формулою, отриманою та використаною в [11]. Таким чином, температура атмосферного повітря представлена у вигляді послідовності з 12-ти нормально розподілених випадкових величин для 12-ти місяців року.

Втрати тепла через огорожувальні конструкції обчислені за формулою (1). Розглянуто конструкції, перелічені в таблиці 1, опір теплопередачі яких відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2016 [2] і ДБН В.2.6-31:2021 [1]. Унаслідок ідентичності вимог та умов експлуатації, втрати тепла через огороження житлових і нежитлових будівель є однаковими, тому виконані розрахунки для 114 стін та 114 покриттів. Як при виборі опору теплопередачі за ДБН В.2.6-31:2016, так і за ДБН В.2.6-31:2021, втрати тепла через стіни й покриття дитячих дошкільних закладів та лікарень отримані на 9...14% більшими, ніж для житлових і громадських будівель. Це є наслідком вищої температури внутрішнього повітря в приміщенні. Унаслідок набагато більшого опору теплопередачі, втрати тепла через покриття отримані на 42...49% меншими, ніж через стіни будівель аналогічного призначення.

Порівняння річних втрат тепла через стіни та покриття будівель, опору теплопередачі яких відповідають вимогам норм [1] і [2], виконане на рисунку 1. Спостерігається досить чітка лінійна залежність між втратами тепла через однотипні конструкції, запроектовані за нормами [1] і [2]. Наведена на графіку лінія тренду вказує на те, що втрати тепла через конструкції з опором теплопередачі за ДБН В.2.6-31:2021 у середньому на 17% менші, ніж при використанні ДБН В.2.6-31:2016. Судячи з таблиці 1, різниця в опорі теплопередачі розглянутих конструкцій становить 9...25%, тобто в середньому 18%.

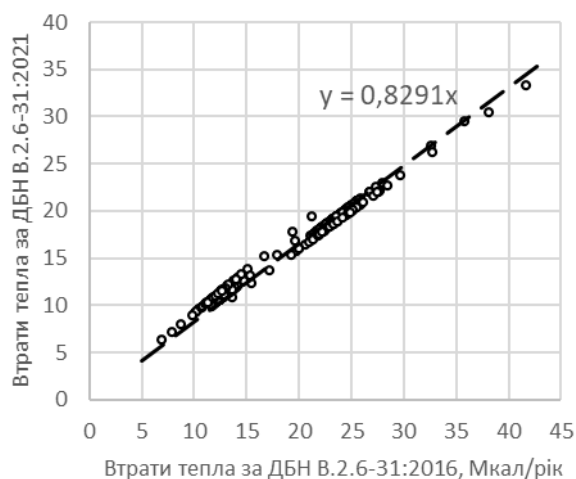


Рисунок 1 – Зміни втрат тепла при переході від ДБН В.2.6-31:2016 до ДБН В.2.6-31:2021

Джерело: розроблено авторами

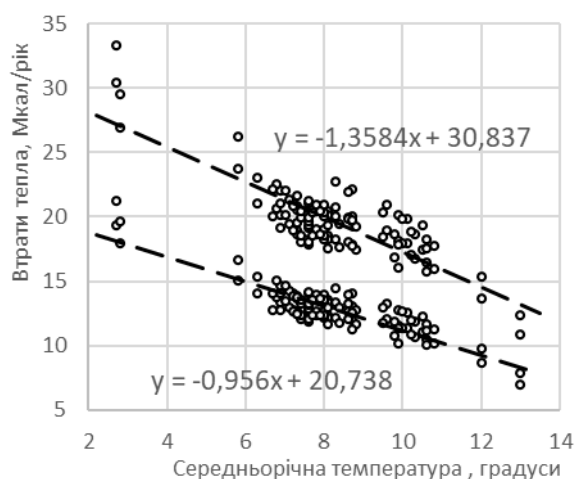


Рисунок 2 – Залежності втрат тепла від середньорічної температури повітря

На рисунку 2 зображена залежність річних втрат тепла від середньорічної температури повітря, яка є узагальненим показником температурного режиму місцевості. На рисунку прослідковуються зменшення втрат тепла через конструкції, що відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2021 [1], при зростанні температури зовнішнього повітря. Верхній графік відображає втрати тепла через стіни, а нижній – через

покриття. Точки з лівого боку обох графіків відповідають гірським місцевостям з низькими середньорічними температурами повітря. Відображена на рисунку 2 мінливість втрат тепла пояснюється змінами температури атмосферного повітря в межах першої та другої температурної зони за ДБН [1, 2].

Вирівнювання втрат тепла по усій території можна добитися за рахунок більш детального районування України за температурою атмосферного повітря, але такий підхід є нераціональним, оскільки він істотно ускладнить проєктування огорожувальних конструкцій. Виняток можна зробити для Південного берега Криму, який можна виділити в окрему температурну зону з меншим опором теплопередачі огорожень. Доцільно також звернути увагу на гірські місцевості з низькими температурами повітря, для яких слід збільшити опір теплопередачі огорожень залежно від географічної висоти розташування будівлі.

Показники теплової надійності огорожувальних конструкцій визначені за формулами (2), (3), запозиченими з [13]. За даними 57 метеостанцій України встановлені імовірні тривалості дії теплових відмов за критерієм комфортності огорожувальних конструкцій, перелічених у таблиці 1. Узагальнені результати розрахунків наведені в таблиці 3, яка для кожної з шести конструкцій містить такі дані:

- найменшу Q_{\min} , найбільшу Q_{\max} , та середню Q_{mid} з 57 метеостанцій імовірні річні тривалості теплових відмов конструкцій, опір теплопередачі яких відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2016 [2];
- те саме для конструкцій, що відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2021 [1];
- середнє відношення імовірної річної тривалості теплових відмов конструкцій з опором теплопередачі за [1] та за [2].

Таблиця 3 – Імовірні тривалості теплових відмов стін і покриттів (хвилин на рік)

Призначення будівель	Конструкції	За ДБН В.2.6-31:2016			За ДБН В.2.6-31:2021			Q_{21} / Q_{16}
		Q_{\min}	Q_{\max}	Q_{mid}	Q_{\min}	Q_{\max}	Q_{mid}	
Житлові будівлі та готелі	стіни	4,5	41,7	15,7	2,6	19,2	7,5	0,48
	покриття	111	394	216	100	336	181	0,84
Лікарні та заклади дошкільної освіти	стіни	6,5	57,6	21,5	3,6	25,6	9,8	0,46
	покриття	129	452	247	114	381	203	0,82
Нежитлові громадські будівлі	стіни	0,02	0,25	0,08	0,01	0,09	0,03	0,37
	покриття	0,95	4,04	2,09	0,82	3,25	1,64	0,78

Джерело: розроблено авторами

З таблиці 3 видно, що імовірна тривалість дії теплових відмов покриттів у 12...24 рази більша, ніж для стін. Це пояснюється різними вимогами до допустимого перепаду температур повітря в приміщенні та внутрішньої поверхні огорожень (4°C для стін і 3°C для покриттів житлових будівель, лікарень та закладів дошкільної освіти). Імовірні тривалості дії теплових відмов стін і покриттів нежитлових громадських будівель отримані на два порядки меншими, ніж для стін і покриттів житлових будівель, лікарень та закладів дошкільної освіти, що також пояснюється більшими значеннями допустимого перепаду температур повітря в приміщенні та внутрішньої поверхні огорожень (5°C для стін і 4°C для покриттів).

Відношення найбільших Q_{\max} значень тривалості теплових відмов до найменших Q_{\min} , яке характеризує розкид показників надійності однотипних конструкцій в межах території України, змінюється від 3,3 до 12,5. Це вказує на значну різницю умов експлуатації огорожувальних конструкцій в різних регіонах України, яку можна

компенсувати більш точним вибором опору теплопередачі огорожувальних конструкцій залежно від кліматичних умов експлуатації.

Порівняння імовірної тривалості теплових відмов стін і покриттів, опір теплопередачі яких відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2016 [2] та ДБН В.2.6-31:2021 [1], виконано на рисунках 3 і 4. З метою адекватного відображення тривалості теплових відмов огорожень нежитлових та житлових будівель, які відрізняються на два порядки, графіки побудовані в логарифмічному масштабі.

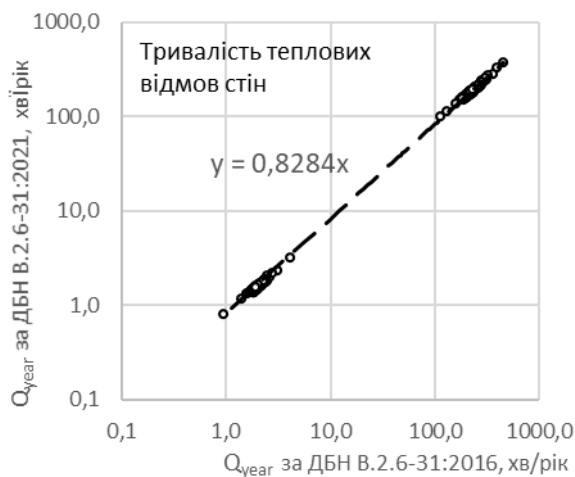


Рисунок 3 – Тривалість теплових відмов стін, що відповідають вимогам норм [1] і [2]

Джерело: розроблено авторами

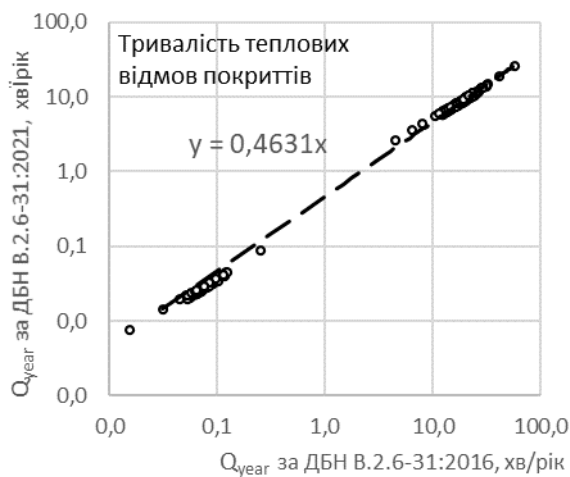


Рисунок 4 – Тривалість теплових відмов покриттів, згідно вимог норм [1] і [2]

З рисунків 3 і 4 видно, що між тривалостями теплових відмов огорожень, опір теплопередачі яких відповідає вимогам ДБН [1] та [2], існують залежності, досить близькі до лінійних. Наведені на рисунках коефіцієнти апроксимуючих ліній тренду вказують на середню різницю показників теплової надійності. У результаті переходу від вимог ДБН В.2.6-31:2016 до вимог ДБН В.2.6-31:2021 імовірні тривалості теплових відмов стін за критерієм комфортності зменшилися в середньому на 17%, а суміщених покриттів – на 54%. Різні ефекти для стін і покриттів можна пояснити відмінностями наведених в таблиці 1 вимог норм [1,2] до допустимої різниці температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні огорожень для стін і для покриттів.

Висновки.

1. Ефект від підвищення мінімально допустимого опору теплопередачі стін і покриттів житлових і громадських будівель у ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» порівняно з попередньою редакцією ДБН від 2016 року проаналізовано за двома критеріями: зменшенням річних втрат тепла через огороження та зменшенням імовірної тривалості дії теплових відмов.

2. Імовірна тривалість дії теплових відмов огорожувальних конструкцій за критерієм комфортності вирішальним чином залежить від встановленої в ДБН допустимої різниці температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні огорожень. Тому цей досить умовний показник доцільно використовувати лише для порівняння рівня теплової надійності огорожень з однаковими значеннями допустимої різниці вказаних температур.

3. Реалізоване в ДБН В.2.6-31:2021 підвищення опору теплопередачі стін і покриттів житлових і громадських будівель на 9...21% обумовило зменшення втрат тепла в середньому на 17%, а також зменшення імовірної тривалості дії теплових відмов стін за критерієм комфортності на 17% та суміщених покриттів – на 54%. Таким

чином, упровадження вимог ДБН В.2.6-31:2021 сприяє істотному підвищенню рівня енергоефективності будівель.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2021 : Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України. 2022. 23 с.
2. ДБН В.2.6-31:2016 : Теплова ізоляція будівель – [Чинний від 2017-04-01]. Київ : Міністерство будівництва України. 2016. 31 с.
3. ДСТУ 9191:2022: Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. ДП «УкрНДНЦ». 2023. 60 с.
4. Пашинський В.А., Карпушин С.О., Карюк А.М. Доцільні значення опору теплопередачі огорожень цивільних будівель в умовах України. *Нові технології в будівництві: Науково-технічний журнал*. 2017. № 33. С. 76–80.
5. Fertelli A. Determination of optimum insulation thickness for different building walls in Turkey. *Transactions of FAMENA*. 2013. Vol. 37 (2). P. 103-113.
6. Scartezzini Jean-Louis, DUMAN Öykü, Koca Aliihsan, Acet Ruşen, ÇETIN Mevlüt, Gemici Zafer. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings based on degree day approach for 3 different demo-sites in Europe. In *Proceedings of International Conference CISBAT 2015 Future Buildings and Districts Sustainability from Nano to Urban Scale*, 2015, September 9-11th, Lausanne: LESO-PB, EPFL, 2015. P. 155-160.
7. KAYNAKLI Ömer, Kaynakli Faruk. Determination Of Optimum Thermal Insulation Thicknesses For External Walls Considering The Heating, Cooling And Annual Energy Requirements. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. 2016. Vol. 21. P. 227-241.
8. NALBANT Önder. Türkiye has introduced a new building code to impose energy efficiency. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/t%C3%BCrkiye-has-introduced-new-building-code-impose-energy-%C3%B6nder-nalbant> (дата звернення: 26.01.2024).
9. Маляренко В.А., Герасимова О.М., Малєєв О.І. Будівельна теплофізика. Курс лекцій для студентів усіх форм навчання будівельних спеціальностей. Харків: ХНАМГ, 2007. 99 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/11314464.pdf> (дата звернення: 26.01.2024).
10. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 : Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 123 с.
11. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. Одеса : ОДАБА, 2012. 180 с.
12. Пашинський В.А., Джирма С.О., Плотніков О.А. Вибір показників теплової надійності огорожувальних конструкцій. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві : Збірник наукових праць*. 2017. Вип. 7. С. 194-200.
13. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer, Cham. 2022. Vol. 181. P.179-189. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18 (дата звернення: 26.01.2024).
14. Pashynskiy V.A., Pashynskiy M.V., Nastoyashchiy V.A., Skrynnyk I.O. Statistical characteristics of wall temperature for assessing thermal reliability and energy efficiency of residential buildings. *Modern engineering and innovative technologies*. 2023. Issue 26 part 2. P. 19-25. URL: <https://doi.org/10.30890/2567-5273> (дата звернення: 26.01.2024).
15. Шульгін В. В., Карюк А. М. Імовірнісне подання технічних характеристик теплоізоляційних матеріалів. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. 2013. Вип. 4(39). С. 257-262.
16. Leshchenko, M. V., & Semko, V. (2015). Thermal characteristics of the external walling made of cold-formed steel studs and polystyrene concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. Vol. 60(8). P. 44-55. URL: <https://doi.org/10.5862/MCE.60.6> (дата звернення: 26.01.2024).

References

1. DBN V.2.6-31:2021 : Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist' budivel' [Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. Kyiv : Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorij Ukrainy [in Ukrainian].
2. DBN V.2.6-31:2016 : Teplova izoliatsiia budivel' [Thermal insulation of buildings] from April 1, 2017. Kyiv : Ministerstvo budivnytstva Ukrainy [in Ukrainian].

3. DSTU 9191:2022: Teploizoliatsiia budivel'. Metod vyboru teploizoliatsijnoho materialu dlia uteplennia budivel' [Thermal insulation of buildings. The method of choosing heat-insulating material for building insulation]. DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian].
4. Pashyns'kyj, V.A., Karpushyn, S.O. & Kariuk, A.M. (2017). Dotsil'ni znachennia oporu teploperedachi ohorodzen' tsyvil'nykh budivel' v umovakh Ukrainy [Appropriate values of the heat transfer resistance of the enclosures of civil buildings in the conditions of Ukraine]. *Novi tekhnologii v budivnytstvi: Naukovo-tekhnichnyj zhurnal – New technologies in construction: Scientific and technical journal*, 33, 76-80 [in Ukrainian].
5. Fertelli, A. (2013): Determination of optimum insulation thickness for different building walls in Turkey. *Transactions of FAMENA*, 37 (2), 103-113 [in English].
6. Scartezzini Jean-Louis, DUMAN Öykü, Koca Aliihsan, Acet Ruşen, ÇETIN Mevlüt, Gemici Zafer. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings based on degree day approach for 3 different demo-sites in Europe. In *Proceedings of International Conference CISBAT 2015 Future Buildings and Districts Sustainability from Nano to Urban Scale*, 2015, September 9-11th, Lausanne: LESO-PB, EPFL, 2015. P. 155-160 [in English].
7. KAYNAKLI, Ömer & Kaynakli, Faruk. (2016). Determination Of Optimum Thermal Insulation Thicknesses For External Walls Considering The Heating, Cooling And Annual Energy Requirements. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21, 227-241 [in English].
8. NALBANT Önder. Türkiye has introduced a new building code to impose energy efficiency. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/t%C3%BCrkiye-has-introduced-new-building-code-impose-energy-%C3%B6nder-nalbant> [in English].
9. Maliarenko, V.A., Herasymova, O.M. & Malieiev, O.I. (2007). *Budivel'na teplofizyka [Thermal physics]*. Kharkiv: KHNAMH. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/11314464.pdf> [in Ukrainian].
10. DSTU-N B V.1.1–27:2010: Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsijnykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivel'na klimatolohiia [Protection against dangerous geological processes, harmful operational influences, and against fire. Building climatology]. Kyiv: Ministerstvo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy [in Ukrainian].
11. Pashyns'kyj, V.A., Pushkar, N.V. & Kariuk, A.M. (2012). *Temperaturni vplyvy na ohorodzhuval'ni konstruktsii budivel' [Temperature effects on the enclosing structures of buildings]*. Odesa : ODABA [in Ukrainian].
12. Pashyns'kyj, V.A., Dzhyrma, S.O. & Plotnikov, O.A. (2017). Vybir pokaznykiv teplovoi nadijnosti ohorodzhuval'nykh konstruktsij [Selection of indicators of thermal reliability of enclosing structures]. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi : Zbirnyk naukovykh prats' – Collection of scientific papers*, 7, 194-200 [in Ukrainian].
13. Kariuk A., Pashynskyi V., Pashynskyi M., Mammadova F (2022). Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer, Cham. Vol 181. P.179-189. Retrieved from URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18 [in English].
14. Pashynskyi V.A., Pashynskyi M.V., Nastoyashchii V.A., Skrynnyk I.O (2023). Statistical characteristics of wall temperature for assessing thermal reliability and energy efficiency of residential buildings. *Modern engineering and innovative technologies*, 26, 2. 19-25. Retrieved from <https://doi.org/10.30890/2567-5273> [in English].
15. Shul'hin, V. V. & Kariuk, A. M. (2013). Imovirmisne podannia tekhnichnykh kharakterystyk teploizoliatsijnykh materialiv [Probabilistic presentation of technical characteristics of heat-insulating materials]. *Zbirnyk naukovykh prats' (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo) [A collection of scientific papers (industry mechanical engineering, construction)]*, 4 (39), 257-262 [in Ukrainian].
16. Leshchenko, M. V., & Semko, V. (2015). Thermal characteristics of the external walling made of cold-formed steel studs and polystyrene concrete. *Magazine of Civil Engineering*, 60(8), 44-55. Retrieved from <https://doi.org/10.5862/MCE.60.6> [in English].

Victor Pashynskyi, Prof., DSc., **Vladyslav Nastoyaschii**, Prof., PhD tech. sci., **Mykola Pashynskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Bohatyrov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Impact of increasing regulatory requirements on the level of thermal reliability and heat loss through walls and roofs of residential and public buildings

New edition of the State Building Regulations of Ukraine DBN V.2.6-31:2021 "Thermal insulation and energy efficiency of buildings" significantly increases the requirements for heat transfer resistance of walls and coatings of civil buildings. This study was carried out with the aim of evaluating the impact of the increased requirements of DBN V.2.6-31:2021 on the energy efficiency and comfort of buildings by comparing the thermal reliability characteristics of walls and roofs of civil buildings in different regions of Ukraine.

The walls and combined roofs of residential and non-residential public buildings were analysed, the requirements for which in DBN B.2.6-31:2016 and DBN B.2.6-31:2021 differ in the minimum permissible value of heat transfer resistance, but coincide in other indicators. Climate conditions for the operation of buildings are reflected by data on atmospheric air temperature at 57 weather stations of Ukraine, which are given in DSTU-N B V.1.1–27:2010. The comparison of the same type of enclosing structures is made according to the criteria of reducing annual heat losses due to the enclosing and the probable duration of thermal failures. Annual heat losses in the set of each of the 57 weather stations are calculated according to the known dependencies of thermal physics. The durations of thermal failures of enclosures according to the comfort criterion are determined by the probabilistic method previously developed by the authors, which takes into account random fluctuations in the temperature of the external atmospheric and internal air in the room, as well as the random character of the heat transfer resistance of the enclosures.

The probable duration of thermal failures of enclosing structures according to the comfort criterion, depending on the permissible temperature difference of the internal air and the inner surface of the enclosing structure, established in DBN B.2.6-31, can differ by two orders of magnitude. This indicator should be used only to compare the level of thermal reliability of enclosures with the same values of the permissible temperature difference. The increase in the heat transfer resistance of walls and roofs of residential and public buildings implemented in DBN V.2.6-31:2021 led to a decrease in heat loss by an average of 17%, a decrease in the probable duration of thermal failure of walls according to the comfort criterion by 17%, and combined roofs by 54 %.

residential and public buildings, walls, roofs, heat loss, the duration of the thermal failure

Одержано (Received) 03.01.2024

Прорецензовано (Reviewed) 29.02.2024

Прийнято до друку (Approved) 25.03.2024

УДК 624.014.27:004

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.74-82](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.74-82)

Г.Д. Портнов, доц., канд. техн. наук, **А.А. Тихий**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Дарієнко**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук, **О. В. Кузик**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: budkom999@gmail.com, vvdarienko@gmail.com

Л.В. Гасенко, доц., канд. техн. наук

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон, Україна
e-mail: lin02011@meta.ua

Створення бази комплементарних гнutoзварних профілів решітчастих металокопструкцій

Дослідження присвячено розробці бази даних комплементарних гнutoзварних профілів для автоматизованого проектування решітчастих металокопструкцій. Значна увага приділяється урахуванню місцевої стійкості та технологічних обмежень сполучення елементів металевих копструкцій ферм. Описано методику аналізу моделей проміжних вузлів з прямокутних труб у програмі SolidWorks і обробку результатів у Microsoft Excel, що дозволяє групувати елементи в комплементарні поєднання профілів. Результати дослідження демонструють зв'язок технологічних обмежень з міцністю елементів та спрощують процес підбору профілів за ДСТУ EN 10219-2:2009, мінімізуючи недонапруження до 5%.

металеві копструкції, сталева ферма, трикутна решітка, гнutoзварні профілі, ексцентриситет

Постановка проблеми. Сталеві прокатні профільні елементи широко застосовуються в сучасних металокопструкціях завдяки можливості створення виробів з мінімальною металоємністю [8]. На стадії проектування таких копструкцій необхідно

© Г. Д. Портнов, А.А. Тихий, В.В. Дарієнко, В.В. Пукалов, О. В. Кузик, Л.В. Гасенко, 2024