

**ТЕПЛОВА НАДІЙНІСТЬ СТІН ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ
У РЕГІОНАХ УКРАЇНИ**

**RESIDENTIAL BUILDINGS WALLS THERMAL RELIABILITY
IN THE REGIONS OF UKRAINE**

**Карюк А.М., к.т.н., доцент (Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»)**

**Kariuk A., Ph.D., Associate Professor (National University
«Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»)**

За раніше розробленою методикою для 26 регіонів України отримані імовірні тривалості стану теплової відмови стін житлових будівель за критерієм перевищення допустимого температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження. Встановлено, що в межах території України тривалості теплових відмов змінюються в межах 14...28 хвилин/рік. Аналіз їх територіальної мінливості вказує на можливість розділення першої температурної зони України на дві зони з дещо різними значеннями мінімально необхідного опору теплопередачі стін. АР Крим та Південний берег Криму також можна виділити в окремі зони, встановивши для них понижені значення мінімально необхідного опору теплопередачі стін.

An adequate indicator of thermal reliability level is the probable duration of thermal failure condition according to the criterion of exceeding permissible temperature difference between the indoor air and enclosure inner surface. The purpose of this work is to estimate probable durations of thermal failures of residential building walls in different regions of Ukraine and based on the results of their comparative analysis to make conclusions about the need to specify the minimum required values of heat transfer resistance.

The research was carried out according to methodology published in the author's previous works, which enables determining the probable duration of thermal failure conditions, taking into account statistical characteristics of the atmospheric air temperature in each of the administrative regions of Ukraine. As estimated, within the territory of Ukraine duration of thermal failures varies between 14...28 minutes/year. Based on the calculations results a schematic map was built, which enabled analyzing the nature of territorial variability of thermal failures duration. Within the limits of the first temperature zone of Ukraine according to DBN B.2.6-31:2021 (State Building Regulations), «Thermal insulation and energy efficiency of buildings» probable duration of the walls thermal failures operated in the north-eastern oblasts (Chernihiv, Sumy, Kharkiv, Luhansk, Poltava) is close to thermal failures duration, which is typical for the

second temperature zone. The probable duration of wall thermal failures under conditions of central and western Ukraine is somewhat shorter.

For a more accurate alignment of walls' thermal reliability indicators on the territory of Ukraine, it is advisable to allocate a separate temperature zone consisting of 14 oblasts from central and western Ukraine, defining for it the minimum permissible value of heat transfer resistance of residential and public buildings walls $R_0 = 3.7 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$. Reduced requirements for wall heat transfer resistance can also be established for the Autonomous Republic of Crimea and the Southern coast of Crimea, for which significantly shorter durations of thermal failures have been obtained as a result of a warmer climate.

Ключові слова: стіни житлових будівель, імовірні тривалості теплових відмов, територіальна мінливість рівня теплової надійності

Keywords: residential buildings walls, thermal failures probable duration, territorial variability of thermal reliability level

Вступ. Для забезпечення достатнього рівня теплової надійності огорожень норм [1] встановлюють мінімально необхідні значення опору теплопередачі для двох температурних зон України. Окрім того, обмежується значення температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження, а також перевіряється можливість утворення конденсату в зонах підвищеної теплопередачі. Точність регулювання рівня теплової надійності можна оцінити шляхом аналізу значень імовірної тривалості стану теплової відмови за критерієм перевищення допустимого температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження в різних регіонах України.

Аналіз останніх досліджень. Методика визначення імовірної тривалості стану теплових відмов за критеріями перевищення допустимого температурного перепаду (критерій комфортності) та утворення конденсату в зонах підвищеної теплопередачі розроблена в [2]. Там же показано, що при адекватному виборі опору теплопередачі огорожувальної конструкції утворення конденсату на її внутрішній поверхні поза зонами підвищеної теплопередачі є практично неможливою подією.

Для визначення імовірної тривалості теплових відмов за методикою [2] необхідно представити температуру внутрішнього повітря та опір теплопередачі огороження у формі випадкових величин з нормальним законом розподілу, а температуру атмосферного повітря – у формі

послідовності з 12-ти нормально розподілених величин для кожного з місяців року.

Статистичні характеристики температури внутрішнього повітря в житлових приміщеннях отримані за результатами вимірювань, які проводилися в декількох квартирах протягом опалювального сезону, та наведені в [2]. Встановлено, що при ручному регулюванні температури теплоносія в автономній системі опалення математичне сподівання температури внутрішнього повітря становить $20...24^{\circ}\text{C}$, а стандарт можна вважати рівним $0,6^{\circ}\text{C}$. Отримані з урахуванням результатів експериментальних випробувань залежності для орієнтовного визначення статистичних характеристик опору теплопередачі стін типових конструкцій через його розрахункове значення наведені в [2]. Встановлено, що математичне сподівання опору теплопередачі приблизно на 5% більше від його розрахункового значення, а коефіцієнт варіації можна вважати близьким до 0,06.

Імовірнісне подання температури повітря у формі випадкових процесів або місячних послідовностей випадкових величин виконане в [3, 4], де також наведені статистичні характеристики температури атмосферного повітря для кількох сотень пунктів спостереження України. Ці дані використані в роботі [5] для проведення адміністративно-територіального районування України за статистичними характеристиками температури атмосферного повітря. Для 26 регіонів України (24 області, АР Крим та Південний берег Криму) встановлені значення математичного сподівання й стандарту температури повітря для кожного місяця року.

Описані результати досліджень [3, 4, 5] дозволяють здійснити оцінювання імовірної тривалості теплових відмов за критерієм комфортності в різних регіонах України, проаналізувати їх територіальну мінливість і зробити висновки щодо правильності нормування мінімально необхідного опору теплопередачі в [1].

Мета дослідження: оцінити імовірні тривалості теплових відмов стін житлових будівель в різних регіонах України та на базі їх порівняльного аналізу зробити висновки щодо необхідності уточнення мінімально необхідних значень опору теплопередачі.

Методика дослідження та початкові дані. В основу виконаних нижче розрахунків покладена методика оцінювання імовірної тривалості теплових відмов, розроблена в [2]. Аналізуються стіни житлових будівель комплексної конструкції: несуча частина з цегли чи ніздрюватого бетону,

фасадне утеплення з мінеральної вати чи іншого подібного матеріалу, захисні шари та оздоблення. Розрахункові значення опору теплопередачі стін приймаються рівними мінімально необхідному значенню, встановленому ДБН [1]: $R_0 = 4,0 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ – для першої температурної зони та $R_0 = 3,5 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ – для другої.

Для кожного з місяців опалювального сезону з середньою температурою зовнішнього повітря, меншою за $+8^\circ\text{C}$, обчислюються математичне сподівання й стандарт температури внутрішньої поверхні стіни за формулами [2]:

$$M_w = \frac{1}{M_R \cdot \alpha_{in}} [M_{in} (M_R \cdot \alpha_{in} - 1) + M_{out}], \quad (1)$$

$$S_w = \frac{1}{M_R \cdot \alpha_{in}} \sqrt{S_{out}^2 + (M_{in} \cdot \alpha_{in} - 1)^2 S_{in}^2 + \frac{(1 - M_R \cdot \alpha_{in})^2}{M_R^2} \cdot S_R^2}, \quad (2)$$

де M_{out} , S_{out} – математичне сподівання й стандарт температури зовнішнього повітря для обраного регіону за даними [4];

$M_{in} = +20^\circ\text{C}$ – математичне сподівання температури повітря в приміщенні, рівне розрахунковому значенню за [1];

$S_{in} = 0,6^\circ\text{C}$ – стандарт температури внутрішнього повітря за [2];

$\alpha_{in} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни;

M_R , S_R – математичне сподівання й стандарт опору теплопередачі стіни. Згідно з описаними вище наближеними залежностями з [2], $M_R = 3,465 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$, $S_R = 0,208 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ для першої температурної зони України та $M_R = 2,940 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$, $S_R = 0,176 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ для другої температурної зони. Наближене визначення цих характеристики цілком допустиме для здійснення порівняльного аналізу показників теплової надійності конструктивно близьких стін у різних регіонах України.

Математичне сподівання й стандарт різниці температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні стіни дорівнюють :

$$M_\Delta = M_{in} - M_w, \quad S_\Delta = \sqrt{S_{in}^2 + S_w^2}, \quad (3)$$

де M_w , S_w – статистичні характеристики температури внутрішньої поверхні стіни (1), (2).

Характеристики (3) дозволяють за формулами з [2] обчислити тривалості стану теплової відмови Q_j у хвилинах для кожного j -того місяця опалювального періоду, сумарну протягом року тривалість стану теплової відмови Q , а також відносну тривалість стану теплової відмови Q_{rel} :

$$Q_j = 43920 [1 - F(\Delta_{\max})], \quad Q = \sum_j Q_j, \quad Q_{\text{rel}} = Q/525600 \quad (4)$$

де $F(\Delta_{\max})$ – функція нормального розподілу температурного перепаду Δ з числовими характеристиками (3);

$\Delta_{\max} = 4^\circ\text{C}$ – гранично допустима різниця температур внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні стіни житлової будівлі за [1];

43920 і 525600 – тривалості місяця та року в хвиликах.

Результати обчислень та їх аналіз. За формулами (1)...(4) з урахуванням вказаних вище початкових даних та статистичних характеристик температури атмосферного повітря з виконанні обчислення для 26 регіонів України. Результати обчислень наведені в таблиці 1, яка містить імовірні тривалості теплових відмов Q (хвилин на рік) та відносні тривалості теплових відмов Q_{rel} , близькі до імовірності виникнення теплової відмови на протязі одного року. За наявними даними визначені також найменші, найбільші та середні значення тривалості теплових відмов для першої та другої температурної зони України. Візуалізація даних таблиці 1 здійснена на рисунку 1, який дозволяє проаналізувати тенденції територіальних змін рівня теплової надійності в різних регіонах України.

Порівняння наведених в таблиці 1 меж зміни тривалості теплових відмов в областях, що відносяться до першої та до другої температурної зони за [1] показало їх близькість. Дещо більше (на 20%) відрізняються середні значення тривалості теплових відмов, хоча таку різницю також не слід вважати критичною. Різко виділяється Південний берег Криму з його набагато теплішим кліматом, тому цей регіон не враховувався при визначення узагальнених характеристик для другої кліматичної зони в таблиці 1.

Аналіз карти з рисунка 1 дозволив виявити виражені закономірності територіальних змін тривалості теплових відмов у межах першої температурної зони. Тривалості теплових відмов для північно-східних областей (Чернігівська, Сумська, Харківська, Луганська, Полтавська) змінюються в межах 21,6...25,5 хвилин/рік, що досить близько до областей з другої кліматичної зони (за винятком Криму). Для центральної та західної частини України тривалості теплових відмов є помітно меншими, змінюючись в межах 14,1...19,9 хвилин/рік.

Така закономірність може вказувати на необхідність виділення третьої температурної зони у складі 14 областей, виділених в таблиці 1 жирним курсивом.

Таблиця 1

Імовірні тривалості теплових відмов стін житлових будівель

Регіони України	Q хв/рік	Q _{rel}
Перша температурна зона R ₀ = 4,0 м ² ×К/Вт		
<i>Вінницька</i>	18,2	3,47E-05
<i>Волинська</i>	15,0	2,86E-05
<i>Дніпропетровська</i>	17,2	3,28E-05
<i>Донецька</i>	19,4	3,69E-05
<i>Житомирська</i>	19,1	3,64E-05
<i>Івано-Франківська</i>	16,2	3,09E-05
<i>Київська</i>	19,9	3,79E-05
<i>Кіровоградська</i>	17,2	3,28E-05
Луганська	22,8	4,35E-05
<i>Львівська</i>	14,1	2,68E-05
Полтавська	21,6	4,12E-05
<i>Рівненська</i>	16,1	3,06E-05
Сумська	25,5	4,85E-05
<i>Тернопільська</i>	16,5	3,15E-05
Харківська	24,2	4,60E-05
<i>Хмельницька</i>	17,5	3,32E-05
<i>Черкаська</i>	19,2	3,66E-05
<i>Чернівецька</i>	14,2	2,71E-05
Чернігівська	23,6	4,48E-05
Мінімум	14,1	2,68E-05
Максимум	25,5	4,85E-05
Середнє	18,8	3,58E-05
Друга температурна зона R ₀ = 3,5 м ² ×К/Вт		
Закарпатська	24,0	4,57E-05
Запорізька	28,0	5,33E-05
Миколаївська	24,7	4,70E-05
Одеська	21,4	4,08E-05
Херсонська	21,8	4,14E-05
Крим	14,9	2,84E-05
ПБ Криму	7,4	1,41E-05
Мінімум	14,9	2,84E-05
Максимум	28,0	5,33E-05
Середнє	22,5	4,28E-05

Для цієї зони слід встановити окреме мінімально необхідне значення опору теплопередачі стін. Розрахунки показали, що при R₀ = 3,7 м²×К/Вт тривалості теплових відмов стін у перелічених областях

теплопередачі стін можна також встановити для АР Крим та Південного берега Криму, для яких отримані значно менші тривалості теплових відмов унаслідок теплішого клімату.

References

1. DBN В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». – К., 2021. – 27 с.
2. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, pp. 179-189. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
3. Kariuk A.M. Statystychni kharakterystyky serednodobovoi temperatury povitria na terytorii Ukrainy / A.M. Kariuk, V.V. Pashynskiy // Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa: Zovnishreklamservis, 2012 – Vypusk № 47, chastyna 2. – S. 157-163.
4. Temperaturni vplyvy na ohorodzhualni konstruktsii budivel (monohrafiia) / V.A. Pashynskiy, N.V. Pushkar, A.M. Kariuk / Odeska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa, 2012. – 180 s.
5. Kariuk A.M. (2022). Raionuvannya kharakterystyk temperatury povitria dlia otsiniuvannya teplovoi nadiinosti ohorodzhualnykh konstruktsii. Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zbirnyk naukovykh prats, 17, 53-60.

Література

1. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». – К., 2021. – 27 с.
2. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, pp. 179-189. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
3. Карюк А.М. Статистичні характеристики середньодобової температури повітря на території України / А.М. Карюк, В.В. Пашинський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Оdesa: Зовнішрекламсервіс, 2012 – Випуск № 47, частина 2. – С. 157-163.
4. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель (монографія) / В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк / Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Оdesa, 2012. – 180 с.
5. Карюк А.М. (2022). Районування характеристик температур повітря для оцінювання теплової надійності огорожувальних конструкцій. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: збірник наукових праць, 17, 53-60.