

**УДК 69:692.2:699.86**

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ  
СТІН ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА  
СТЕН ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE THERMAL REGIME OF WALLS OF  
RESIDENTIAL BUILDINGS**

**Пашинський В.А., д.т.н., професор, Плотніков О.А., інженер,  
Кіровоградський національний технічний університет**

**Пашинский В.А., д.т.н., профессор, Плотников О.А., инженер,  
Кировоградский национальный технический университет**

**V. Pashynskiy, Professor, Doctor of Technical Science, O. Plotnikov, engineer,  
(Kirovohrad of national technical university)**

**За результатами експериментального дослідження теплового режиму стіни житлової будівлі в режимі нормальної експлуатації протягом опалювального сезону встановлені статистичні характеристики процесів температури повітря й поверхонь стіни та залежності між ними, а також імовірності теплової відмови.**

**По результатам экспериментального исследования теплового режима стены жилого здания в режиме нормальной эксплуатации в течение отопительного сезона установлены статистические характеристики процессов температуры воздуха и поверхностей стены, зависимости между ними, а также вероятности теплового отказа.**

**According to the results of an experimental study of the thermal regime of the wall of a residential building in normal use during the heating season, set the statistical characteristics of processes of air temperature and the wall surfaces, the relationship between them, and the likelihood of heat rejection.**

**Ключові слова:**

**Огороджувальні конструкції, тепловий режим, теплова надійність.**

**Ограждающие конструкции, тепловой режим, тепловая надежность.**

**Protecting designs, thermal mode, thermal reliability.**

**Стан питання та задачі дослідження.** Забезпечення теплової надійності огорожувальних конструкцій відіграє вирішальну роль у розв'язанні проблеми енергоефективності будівель. Разом з мінімально допустимим значенням опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, норми проектування [1] встановлюють дві вимоги, порушення яких вважається тепловою відмовою: перевищення гранично допустимої різниці між температурою внутрішньої поверхні огороження й температурою повітря в приміщенні; утворення конденсату внаслідок падіння температури внутрішньої поверхні огороження нижче точки роси.

Загальні принципи забезпечення теплової надійності огорожувальних конструкцій викладені в [2], результати дослідження й імовірного подання температури атмосферного повітря узагальнені в [3], а можливі методи оцінювання імовірності теплових відмов запропоновані в [4].

Випадковий характер теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій та змін температури атмосферного повітря обумовлює необхідність імовірного підходу до оцінювання рівня теплової надійності, а складність процесів теплопередачі при випадкових змінах температури атмосферного повітря спонукає до експериментального дослідження теплового режиму огорожувальних конструкцій.

**Метою** даної роботи є експериментальне дослідження теплового режиму стін житлових будинків в режимі нормальної експлуатації.

Методика експериментальних досліджень теплового режиму стін розроблена в [5], а попередні результати опубліковані в [6]. Досліджувався тепловий режим стіни житлового будинку в м. Кіровоград. Стіна з керамзитобетонних блоків товщиною 350мм має додаткове фасадне утеплення пінопілістирольними плитами. В квартирі встановлена система автономного опалення з ручним регулюванням температури. Згідно з програмою експерименту, за допомогою електронних термометрів вимірювалися температури п'яти точок:

T1 – атмосферне повітря в затінку;

T2 – зовнішня поверхня стіни у затінку;

T3 – зовнішня поверхня стіни, відкрита дії сонячних променів;

T4 – внутрішня поверхня стіни;

T5 – повітря в приміщенні.

Вимірювання проводилися щоденно близько 7-мої, 15-тої та 23-тньої години, а їх результати фіксувалися в електронному журналі спостережень у вигляді таблиці Microsoft Excel. Протягом семи місяців, з 01.10.2012 року по 30.04.2013 року, було проведено 636 вимірювань у кожній із вказаних вище точок. Результати вимірювань утворюють реалізації випадкових процесів змін температури у вказаних точках з кроком квантування за часом 8 годин. Загальний вигляд отриманих реалізацій зображено на рисунку 1.

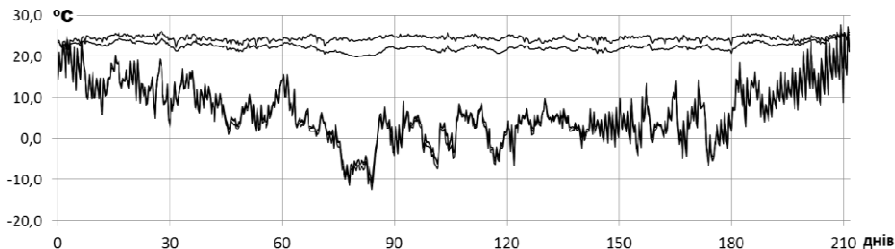


Рис. 1 Реалізації випадкових процесів температури в точках вимірювання

З рисунка видно, що температури зовнішнього повітря і зовнішньої поверхні стіни (точки T1, T2 і T3) практично збігаються між собою, відрізняючись не більше, ніж на 1°C. Коефіцієнти кореляції між значеннями цих температур  $R_{12}=0,998$  і  $R_{13}=0,993$  дуже близькі до одиниці. Температури в точках T1, T2 і T3 відображають сезонні зміни температури атмосферного повітря. Найнижчі температури спостерігаються близько 80-тої доби від початку експерименту, тобто в грудні 2012 року. Протягом усього часу вимірювань реалізуються значні випадкові коливання температури, яка протягом кількох діб може змінюватися на 5°C – 10°C. Така поведінка процесу температури зовнішнього повітря та близьких до неї температур зовнішньої поверхні стіни цілком узгоджується із звичайними коливаннями атмосферної температури, проаналізованими в [3].

Температура повітря всередині приміщення та температура внутрішньої поверхні стіни змінюються в межах від 20°C до 26°C, при чому коефіцієнт кореляції між ними дорівнює  $R_{45}=0,522$ . У найхолодніший період зими їх різниця перевищує 4°C, що свідчить про можливість теплової відмови (згідно з вимогами ДБН [1] у житлових будівлях вона не повинна перевищувати 4°C). Досить вираженою з коефіцієнтом кореляції  $R_{14}=0,800$  є також залежність температури внутрішньої поверхні стіни від температури атмосферного повітря. На початку та в кінці періоду спостережень, коли система опалення не працювала, температура зовнішньої поверхні стіни могла перевищувати температуру її внутрішньої поверхні.

Для подальшого статистичного аналізу наявні реалізації температури розділені на декадні відрізки, дані яких оброблялися як вибірки випадкових величин. У результаті отримані функції математичного сподівання (середнього значення)  $M(t)$  та стандарту температури (середнього квадратичного відхилення)  $S(t)$  в чотирьох точках вимірювання: T1, T2, T4, T5, наведені на рисунках 2 і 3. Характеристики температури зовнішнього і внутрішнього повітря зображені жирними лініями, а зовнішньої та внутрішньої поверхні стіни – тонкими лініями з маркерами. Дані для точки T3 не аналізуються, оскільки вони дуже близькі до точки T2.

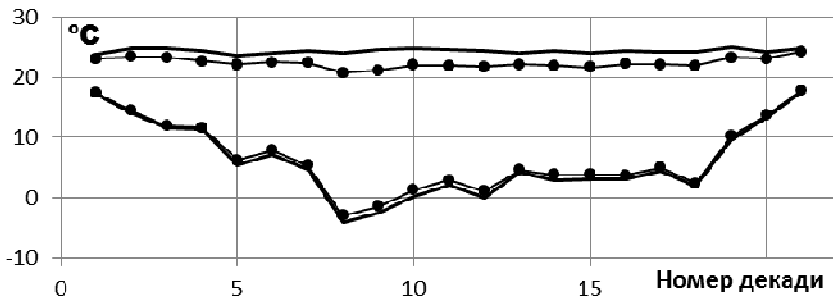


Рис. 2 Функції математичного сподівання температури  $M(t)$

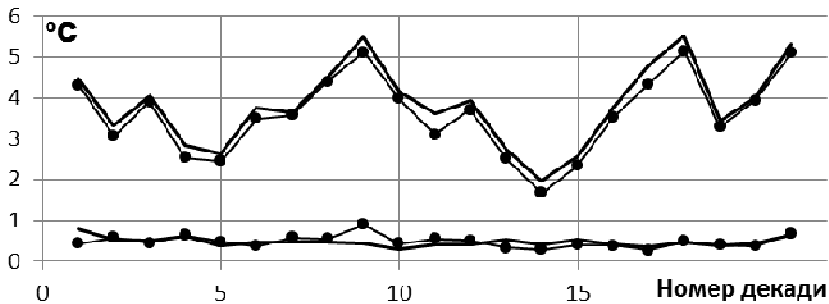


Рис. 3 Функції стандарту декадних вибірок температури  $S(t)$

З рисунків 2 і 3 видно, що характеристики температури поверхонь стін дуже близькі до характеристик повітря, з яким вони контактують. Функції математичного сподівання  $M_1(t)$  і  $M_2(t)$  відображають річний хід температури атмосферного повітря, а функції  $M_4(t)$  і  $M_5(t)$  мало змінюються в часі. Функції стандартів  $S_4(t)$  і  $S_5(t)$  майже незмінні в часі; зміни функцій  $S_1(t)$  і  $S_2(t)$  набагато більші, але не мають вираженого характеру сезонних змін. Проведений аналіз дозволяє вважати випадкові процеси температури в точках T4 і T5 стаціонарними протягом усього опалювального періоду. Випадкові процеси температури в точках T1 і T2 є нестаціонарними, але їх стандарти можна вважати постійними в часі. Статистичні характеристики досліджених процесів наведені в таблиці 1. Стандарти  $S_1(t)$  і  $S_2(t)$  обчислені як середні значення стандартів усіх декадних вибірок. Характеристики, які можна вважати незмінними протягом періоду спостережень, обчислені за повними семимісячними реалізаціями.

Таблиця 1

Статистичні характеристики випадкових процесів температури

Точки вимірювання	T1	T2	T4	T5	T5-T4
Середнє значення $M$ , °C	$M_1(t)$	$M_2(t)$	22,39	24,36	1,97
Стандарт $S$ , °C	3,83	3,59	0,94	0,59	0,83

З метою подальшого використання в розрахунках теплової надійності проаналізовані взаємні зв'язки між статистичними характеристиками процесів температури в досліджених чотирьох точках. В таблиці 2 наведені коефіцієнти кореляції між середніми значеннями й стандартами температури в точках вимірювання, вказаних у верхній строчці.

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції між статистичними характеристиками температури

Точки вимірювання температури	T1-T2	T1-T4	T2-T4	T5-T4
Коефіцієнти кореляції середніх	0,9997	0,937	0,938	0,407
Коефіцієнти кореляції стандартів	0,993	0,425	0,420	0,233

З таблиці видно, що середні значення температури обох поверхонь стін досить тісно залежать від температури атмосферного повітря, але слабо пов'язані з середнім значенням температури повітря в приміщенні ( $R_{45}=0,407$ ). Це дозволяє визначати середні температури точок T2 і T4 за даними для температури атмосферного повітря. Стандарт температури зовнішньої поверхні стіни (точка T2) можна визначати за стандартом температури атмосферного повітря ( $R_{12}=0,993$ ), але стандарт температури внутрішньої поверхні стіни (точка T4) мало залежить від температур атмосферного та внутрішнього повітря. Середні температури поверхонь стіни зв'язані досить тісно ( $R_{24}=0,938$ ), але їх стандарти можна вважати практично незалежними ( $R_{24}=0,420$ ).

З метою визначення імовірності теплових відмов за вказаними вище критеріями та принципами [4] проаналізовані закони розподілу температури внутрішньої поверхні стіни (точка T4) та контрольованого перепаду температур  $T_{\Delta}=T_5-T_4$ . Гістограми розподілу цих температур та апроксимуючі їх криві нормального розподілу, збудовані за середніми значеннями й стандартами з таблиці 2, наведені на рисунку 4. Очевидна з рисунка відповідність цих кривих до дослідних гістограм підтверджується за критерієм узгодженості Пірсона.

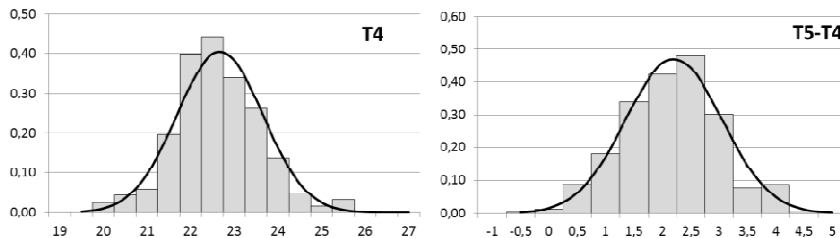


Рис. 4 Гістограми розподілу вибірок температури

Таким чином, температуру внутрішньої поверхні стіни дослідженої будівлі T5 та контрольований перепад температур  $T_{\Delta}$  між температурою

повітря в приміщенні та температурою внутрішньої поверхні стіни можна вважати нормально розподіленими випадковими величинами з середніми значеннями  $M_4=22,4^\circ\text{C}$ ;  $M_\Delta=1,97^\circ\text{C}$  і стандартами  $S_4=0,94^\circ\text{C}$ ;  $S_\Delta=0,83^\circ\text{C}$ .

Відповідно до вказівок [1, 7], при фактично вимірній середній температурі в приміщенні  $M_5=24^\circ\text{C}$  та найбільшій можливій вологості повітря в житлових приміщеннях 60% точка роси дорівнює  $T_p=16^\circ\text{C}$ . Тоді імовірність відмови за критерієм утворення конденсату на внутрішній поверхні стіни дорівнює імовірності того, що температура внутрішньої поверхні стіни  $T_4$  стане меншою за температуру точки роси:

$$P_K = \text{prob}(T_4 < T_p) = F_4(T_p) = 6,4 \times 10^{-12}, \quad (1)$$

де  $F_4(\dots)$  – інтегральна функція розподілу температури в точці 4.

Оскільки отримана імовірність відмови реалізується протягом одного року, сумарна тривалість стану відмови дорівнює  $2 \times 10^{-4}$  секунди на рік. Таку імовірність відмови можна вважати практично рівною нулю.

Нормами проектування [1] для житлових будівель встановлене допустиме значення перепаду температур повітря в приміщенні та внутрішньої поверхні стіни, рівне  $4^\circ\text{C}$ . Тоді за наявними експериментальними даними імовірність теплової відмови дорівнює імовірності того, що випадкова величина контрольованого перепаду температур  $T_\Delta$  перевищить максимально допустиме значення  $4^\circ\text{C}$ :

$$P_{II} = \text{prob}(T_\Delta > 4^\circ\text{C}) = 1 - F_\Delta(4) = 4,2 \times 10^{-3} = 0,0042, \quad (2)$$

де  $F_\Delta(\dots)$  – інтегральна функція розподілу контрольованого перепаду температур внутрішньої поверхні стіни та повітря в приміщенні.

Перерахунок на тривалість спостережень дає сумарну тривалість стану відмови, рівну 37 годинам на рік. Враховуючи, що перевищення допустимого значення контрольованого перепаду температур не є критичною відмовою, а лише викликає дискомфорт, такий рівень теплової надійності слід вважати цілком достатнім.

Виконані експериментальні дослідження та статистичний аналіз отриманих результатів дозволяють зробити такі висновки:

1. Розроблена установка й методика експерименту дозволили отримати достовірні дані про тепловий режим стіни житлового будинку в умовах нормальної експлуатації на протязі опалювального періоду.
2. Отримані в результаті експерименту реалізації температур повітря й стіни, а також контрольованого перепаду температур можуть описуватися нормальними законами розподілу.
3. На підставі отриманих експериментальних даних встановлено, що імовірність теплової відмови за критерієм утворення точки роси наближається до нуля, а за критерієм перевищення граничного значення перепаду температур повітря в приміщенні та внутрішньої поверхні стіни дорівнює 0,0042, тобто стан теплової відмови триває 37 годин на рік.

4. Отриманий рівень теплової надійності дослідженої стіни житлового будинку можна вважати достатнім.

1. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К., 2006. – 66 с.
2. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. –К.:Гама-Принт, 2009. -216 с.
3. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель (монографія). /В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк / – Одеса, 2012. –180 с.
4. Пашинський В.А., Фаренюк Г.Г. Оцінка імовірності виникнення теплових відмов конструкцій. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сборник научных трудов. Выпуск 56. – Днепропетровск: ДГАСА, 2010. – с. 305 – 310.
5. Пашинський В.А. Методика експериментальних досліджень теплової надійності стінових конструкцій / Пашинський В.А., Плотников О.А. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Збірник наукових праць – Рівне, 2012. – Випуск 24. – С. 371-376.
6. Плотников О. А., Пашинский В. А. Экспериментальные исследования тепловой надежности стен жилых зданий // Новые идеи нового века – 2013. Материалы Тринадцатой Международной научной конференции. В трех томах. – Том 2. –Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2013. – С. 416 – 422.
7. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 5-е. – М.: Авок-Пресс, 2006. – 252 с.