

## НОРМУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОЗАХИСНОЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЕЛЬ

*Д.т.н, проф. Пашинський В.А. (м.Полтава), к.т.н., доц. Пушкар Н.В., здобувач Карюк А.М. (Одеська державна академія будівництва та архітектури)*

Узагальнена методика ймовірного подання температури атмосферного повітря та обчислення її мінімальних розрахункових значень. За результатами визначення розрахункових значень температури для мережі пунктів спостереження України розроблені пропозиції щодо удосконалення нормативних документів.

A method of probabilistic representation of air temperature and calculation of its minimum design values was generalized. As a result of determining design values for temperature of monitoring network of Ukraine, proposals on improvement of legal documents were developed.

Для проектування теплозахисної оболонки будівель з урахуванням температури атмосферного повітря, встановленого терміну експлуатації, типу й масивності огорожувальних конструкцій необхідно мати розрахункові значення температури атмосферного повітря, залежні від необхідного строку служби та величини теплової інерції огорожувальної конструкції.

Проблема полягає в тому, що чинні норми проектування [1] встановлюють лише чотири розрахункові значення мінімальної січної температури повітря: температури найхолоднішої доби та найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченостями 0,92 та 0,98 для 31 міста України. З 1-го листопада 2011 року вводиться в дію [2], який містить розрахункові значення температури повітря для 53 міст України. Він є більш детальним, ніж чинні норми [1] і враховує результати метеорологічних спостережень останніх років, але містить ті самі чотири розрахункові значення температури повітря, задані в табличній формі. Застарілість методологічної бази не дозволяє повною мірою врахувати масивність і строк служби огорожувальних конструкцій.

Результати останніх досліджень, частково опубліковані в роботах [3–8], у яких дані строкових спостережень за температурою повітря описані ймовірнісною моделлю квазістаціонарного випадкового процесу, за розробленою методикою обчислені мінімальні розрахункові значення температури повітря для 485 пунктів спостереження України з урахуванням періодів осереднення температури та періодів повторюваності розрахункових значень, виконане територіальне районування отриманих розрахункових значень. Ці дослідження в основному розв'язують поставлене вище завдання, але потребують доопрацювання з метою узагальнення й розроблення пропозицій по удосконаленню норм [2].

Метою даної роботи є узагальнення методів та результатів визначення розрахункових значень температури повітря для проектування теплозахисної оболонки будівель та розроблення пропозицій щодо удосконалення нормативних документів.

Ймовірнісна модель температури атмосферного повітря розроблена на підставі статистичного аналізу результатів вимірювань середньодобових температур на метеостанціях України. Згідно з пропозиціями [3], в роботі [4] сезонні зміни та міждобова мінливість температури повітря представлені у формі квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу. Функції математичного сподівання  $M(t)$ , стандарту  $S(t)$  та коефіцієнту асиметрії  $A(t)$ , визначені за гістограмами розподілу середньодобових температур в кожному з місяців року, мають чітко виражені сезонні зміни, які досить точно описуються рядами Фур'є з однією парою коефіцієнтів:

$$F(t) = a_0 + a_1 \sin(0,01745t) + b_1 \cos(0,01745t), \quad (1)$$

де  $F(t)$  – узагальнене позначення функцій  $M(t)$ ,  $S(t)$  і  $A(t)$ ;  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $b_1$  – параметри, що обчислюються методом найменших квадратів.

За результатами статистичної обробки отримані узагальнені по території України залежності стандарту  $S(t)$  і коефіцієнта асиметрії  $A(t)$  від математичного сподівання  $M(t)$  випадкового процесу температури повітря, які апроксимовані алгебраїчними поліномами третього ступеня:

$$S = 5,31 - 0,15M + 0,0075M^2 - 0,00024M^3; \quad (2)$$

$$A = -0,36 + 0,045M - 0,002M^2 + 0,00003M^3. \quad (3)$$

Апроксимуючі залежності (2), (3) дозволяють наближено отримувати функції стандарту й коефіцієнта асиметрії через функцію математичного сподівання  $M(t)$ , що істотно спрощує ймовірнісну модель температури повітря.

Проаналізовані в [5] багаторічні дані показали, що закон розподілу ординати випадкового процесу середньодобової температури повітря є одномодальним, але в зимові та осінні місяці має помітну лівосторонню асиметрію. Виходячи з можливих видів гістограм та з урахуванням вимог до нормування розрахункових значень, в [5] розглянуті чотири можливих види законів розподілу. Унаслідок своєї симетричності нормальний розподіл незадовільно описує реальну форму гістограм для зимових і осінніх місяців року, що може привести до похибок визначення розрахункових значень температури в межах  $6^{\circ}\text{C}$ . Розподіл Шарльє [9] має вигляд ряду, складеного з густини нормального розподілу та декількох її похідних. Виявлено, що при коефіцієнтах асиметрії  $|A| > 0,5$  його густина може мати від'ємні значення. Ця принципова невідповідність призведе до значних похибок визначення розрахункових температур, тому розподіл Шарльє слід вважати непридатним для імовірнісного опису температури повітря.

Форма густини поліномо-експоненціального розподілу [3] визначається набором статистичних характеристик, за якими визначені його параметри. Асиметричні розподіли, близькі за формою до характерних гістограм, можуть бути отримані при урахуванні математичного сподівання, стандарту, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу у вигляді:

$$f(x) = \exp(C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 + C_4x^4), \quad (4)$$

де  $C_0, \dots, C_4$  – параметри, обчислені за методикою та програмою з [3] через значення вказаних числових характеристик.

Розподіл (4) цілком задовільно описує дослідні гістограми, але його недоліками є складність визначення параметрів  $C_0, \dots, C_4$ , а також необхідність урахування коефіцієнта ексцесу та штучного обмеження області визначення.

Змішаний розподіл Гумбеля-Гауса [3] є лінійною комбінацією розподілу Гумбеля та нормального, а його густина виражається формулою:

$$f(x) = \frac{C}{0,78S} \exp[y - \exp(y)] + \frac{1-C}{S\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-M)^2}{2S^2}\right], \quad (5)$$

де  $M$  і  $S$  – математичне сподівання й стандарт розподілу;

$C = 0,8775 |A|$  – ваговий множник;

$y = \frac{M - x}{0,78 S} \text{Sign}(A) - 0,577$  – нормований аргумент розподілу

Гумбеля;

$|A|$  і  $\text{Sign}(A)$  – модуль і знак коефіцієнта асиметрії.

Перевірка придатності описаних законів для апроксимації розподілів ординати випадкового процесу середньодобової температури повітря за критерієм узгодженості Пірсона показала, що найкраще узгоджується з дослідними даними розподіл Гумбеля-Гаусса (5). Поліномо-експоненціальний розподіл (4) також добре адаптується до дослідних гістограм, але не завжди забезпечує асимптотичну поведінку густини  $f(x) \rightarrow 0$  при  $x \rightarrow \pm\infty$ , у зв'язку з чим його використання є небажаним. Нормальний закон розподілу узгоджується з дослідними даними лише в літні та весняні місяці, коли коефіцієнти асиметрії близькі до нуля. Тому для подання середньодобової температури повітря доцільно використовувати змішаний розподіл Гумбеля-Гаусса (5), а для наближених розрахунків – нормальний розподіл.

Частотна структура випадкового процесу середньодобової температури повітря задається постійним у часі значенням ефективної частоти  $\omega$ . Згідно з методикою [3], ефективні частоти обчислені в [4] як відношення стандарту похідної до стандарту самого процесу з використанням гістограм розподілу міждобових перепадів температури повітря. Враховуючи відсутність вираженої сезонної мінливості отриманих послідовностей ефективних частот для 12 місяців року та незначну територіальну мінливість ( $0,55 \leq \omega \leq 0,63$  1/добу), рекомендовано встановити загальне для усієї території України значення ефективної частоти  $\omega = 0,6$  1/добу.

Параметри ймовірнісної моделі середньодобової температури повітря визначені за результатами строкових вимірювань температури повітря на мережі з 485 пунктів спостереження, яка досить повно і рівномірно покриває територію України. 91% метеостанцій розташовані на рівнинній території, а 45 пунктів спостереження розміщені в Карпатських і Кримських горах на висоті понад 500 м над рівнем моря. Тривалість кліматичних рядів у 10 – 60 років забезпечує отримання достовірних значень статистичних характеристик.

В роботі [6] для кожного пункту спостереження визначена функція математичного сподівання середньодобової температури повітря та значення середньорічної температури. За методикою та програмою, описаною в [3], збудована карта територіального районування України за середньорічним значенням температури повітря  $M_p$ . Шляхом нормування й осереднення річних функцій математичного сподівання для усіх метеостанцій України отримана узагальнена нормована функція математичного сподівання температури повітря  $M_o(t)$ , яка апроксимована рядом Фур'є виду (1).

Отримані результати дозволяють визначати статистичні характеристики квазістаціонарного випадкового процесу змін середньодобової температури повітря для довільного географічного району України в такому порядку:

- за картою територіального районування з [6] визначається середньорічна температура повітря  $M_p$ , яка для гірської місцевості з висотою над рівнем моря понад 500 м знижується на  $6^\circ\text{C}$  при збільшенні висоти на 1 кілометр;
- середнє значення температури повітря для заданого моменту часу протягом року (функція математичного сподівання) визначається через узагальнену функцію математичного сподівання за формулою

$$M(t) = M_p + M_o(t) = M_p - 1,86 \cos(0,01745t) - 3,82 \sin(0,01745t) \quad (6)$$

- відповідні значення стандарту й коефіцієнта асиметрії обчислюються за формулами (2), (3);
- закон розподілу ординати приймається за (5) або нормальним;
- ефективна частота приймається рівною  $\omega = 0,6$  1/добу.

Ці характеристики можуть використовуватися як для розрахунків теплової надійності будівель, так і для нормування розрахункових значень температури атмосферного повітря.

Практична методика обчислення розрахункових значень температури повітря, необхідних для проектування теплозахисної оболонки будівель, розроблена в [7] на базі математичного апарату [3]. З метою урахування теплової інерції огорожувальних конструкцій розрахункові значення температури повітря обчислюються за

характеристиками згладженого процесу  $Y(t) = \frac{1}{Z} \int_{t-z}^t X(\tau) d\tau$ , які

дорівнюють:  $M_Y(t) = M_X(t)$ ;

$$\omega_Y = \sqrt{\frac{2}{Z} [1 - \exp(-\alpha Z)]} = \sqrt{\frac{2}{Z} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{Z}{3}\right) \right]};$$

$$S_Y(t) = \frac{S_X(t)}{Z} \sqrt{\frac{\alpha Z + \exp(-\alpha Z) - 1}{\alpha + \exp(-\alpha) - 1}} = \frac{S_X(t)}{Z} \sqrt{6,6 Z + 20 \exp(-\alpha Z) - 20} \quad (7)$$

де  $M_X(t)$  і  $M_Y(t)$  – функції математичного сподівання випадкових процесів середньодобової та згладженої температури повітря;

$S_X(t)$  і  $S_Y(t)$  – функції стандартів тих же процесів;

$Z$  – інтервал згладжування (осереднення) випадкового процесу температури повітря, залежний від теплової інерції конструкції.

Вважаючи випадковий процес згладженої температури  $Y(t)$  нормальним і квазістаціонарним зі статистичними характеристиками (7), заданими у формі табличних послідовностей з 12 місячних значень, на основі відомої формули Райса отримано вираз для обчислення середньої кількості перевищень детермінованого рівня  $Y$  (викидів) протягом одного року:

$$\lambda_p = \int_0^{1 \text{ рік}} \lambda(t) dt = 4,8 \omega_Y \sum_{i=1}^{12} \exp\left[-\frac{(Y - M_i)^2}{2 S_i^2}\right], \quad (8)$$

де  $M_i$  і  $S_i$  – значення функцій  $M_Y(t)$  і  $S_Y(t)$  для  $i$ -того місяця року за (7);

$\omega_Y$  – ефективна частота згладженого процесу за (7), виражена в 1/добу; 4,8 – коефіцієнт, що враховує 30 днів у місяці та параметри формули Райса.

Прирівнюючи (8) до допустимої частоти перевищень  $\lambda_p = 1/T$ , отримуємо нелінійне рівняння, чисельний розв'язок якого дає мінімальне розрахункове значення температури повітря в даній місцевості, залежне від заданого періоду повторюваності  $T$  та інтервалу осереднення  $Z$ , який враховує теплову інерцію огорожувальної конструкції. При апроксимації розподілу ординати змішаним розподілом Гумбеля-Гаусса (5) до формули (8) слід підставити його густину замість густини нормального розподілу.

Мінімальні зимові розрахункові значення температури повітря обчислені в роботі [8] за викладеною методикою та даними 485 пунктів спостереження України для періодів повторюваності  $T$  від 5 до 200 років та інтервалів осереднення від 1 до 10 діб. Розрахункові значення температури повітря понижуються при зростанні періоду повторюваності та при зменшенні інтервалу осереднення.

Розрахункові значення для однакових  $T$  і  $Z$  в межах території України можуть змінюватися на  $15...20^{\circ}\text{C}$ . За даними 117 пунктів спостереження, розташованих на різних висотах Карпатських і Кримських гір, встановлено, що мінімальні розрахункові значення температури знижуються на  $1^{\circ}\text{C}$  при підйомі на кожні 100 м понад висотою 500 м над рівнем моря.

Узагальнення залежностей розрахункових значень температури повітря від періоду повторюваності  $T$  (в роках) та інтервалу осереднення  $Z$  (в днях) виконане шляхом уведення відносного періоду повторюваності  $L = 365 T / Z$ . Осереднена для усієї території України залежність характеристичних значень температури повітря від відносного періоду повторюваності описана логарифмічною функцією, як це було зроблено в [3] для снігового та вітрового навантажень на несучі конструкції.

З використанням модифікованої методики та програми, запропонованої в [3] розроблена карта територіального районування України за мінімальними розрахунковими значеннями температури повітря, що відповідають відносному періоду повторюваності  $L=10000$ . Наведена на рисунку 1 карта районування містить 9 територіальних районів з характеристичними значеннями мінімальної температури повітря від  $-14^{\circ}\text{C}$  до  $-28^{\circ}\text{C}$ , які підвищуються з північного сходу на південь та на захід України.



Рис.1. Районування України за характеристичними значеннями мінімальної температури повітря при відносному періоді повторюваності  $L=10000$ .

Пропозиції щодо удосконалення Державного стандарту України [2] розроблені на основі отриманих результатів у такому вигляді:

1. Розрахункові значення мінімальної температури повітря для проектування огорожувальних конструкцій визначаються за таблицею [2], де для 53 міст України наведені значення температур з інтервалами осереднення 1 доба та 5 діб і періодами повторюваності 12,5 року та 50 років. Для інших районів будівництва розрахункові значення температури можуть бути прийняті, як для найближчого міста з тієї ж таблиці.

2. Мінімальні розрахункові значення температури повітря з урахуванням встановленого терміну експлуатації будівлі  $T$  та заданого інтервалу осереднення температури  $Z$  визначаються в такому порядку:

- виходячи з завдання на проектування та масивності огорожувальної конструкції, встановлюється інтервал згладжування  $Z$  (у добах) і період повторюваності  $T$  (в роках) розрахункового значення температури;
- по карті територіального районування (рис.1) визначається характеристичне значення температури  $X_0$ , яке відповідає відносному періоду повторюваності  $L = 365 T / Z = 10000$ ;
- визначається висота району будівництва над рівнем моря (при  $H < 500$  м слід приймати  $H = 500$  м);
- розрахункове значення температури повітря обчислюється за формулою:

$$X(T, Z) = (X_0 - 36,5) \times [0,74 + 0,07 \log(365 T / Z)] + (4150 - H) / 100 \quad (9)$$

3. Розрахункові значення за пунктом 2 визначаються при необхідності урахування встановленого терміну експлуатації будівлі чи інтервалу осереднення температури, відмінних від вказаних у пункті 1, а також для районів будівництва, не наведених в таблиці [2]. Порівняння розрахункових значень температури повітря, отриманих за пунктом 2, з відповідними розрахунковими значеннями з [1] та [2] показало задовільну збіжність, що забезпечує гармонізацію розроблених рекомендацій з чинними нормативними документами.

**Висновки за результатами досліджень:**

1. Розроблена ймовірнісна модель, отримані результати статистичної обробки метеорологічних даних та методика обчислення розрахункових значень забезпечують встановлення мінімальних розрахункових значень температури атмосферного повітря з



урахуванням заданого періоду повторюваності та інтервалу осереднення температури.

2. Надані пропозиції дозволять удосконалити нормативні документи, істотно розширивши можливості проектних організацій щодо урахування в теплотехнічних розрахунках теплової інерції огорожувальних конструкцій та встановлених термінів їх експлуатації.

### Література

1. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К., 2010. – 101 с.
3. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України / В.А. Пашинський. – К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. – 185 с.
4. Пашинський В.А. Імовірнісний опис процесу температури повітря / В.А. Пашинський, А.А. Кузьменко, А.М. Карюк // Коммунальное хозяйство городов: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Вып. 38. – К.: Техника, 2002. – С. 60 – 66.
5. Карюк А.М., Пашинський В.А. Розподіл середньодобової температури повітря на території України.// Збірник наукових праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво.– Полтава: ПолтНТУ, 2003. – Вип. 11. – с. 66 –72.
6. Карюк А.М., Пашинський В.А. Територіальне районування України за статистичними характеристиками температури повітря // Коммунальное хозяйство городов: Респ. межвед. науч.-техн. сб. Сер. Технические науки и архитектура. – К.: Техника. – 2004. – Вип. 60. – С. 123 – 129.
7. Карюк А.М., Пашинський В.А. Методика обчислення розрахункових значень температури повітря за ймовірнісною моделлю випадкового процесу // Збірник наук праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2003. – Вип. 13 – С. 24 – 27.
8. Карюк А.М. Розрахункові значення температури повітря на території України // Збірник наук праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – Вип. 17. – С. 13 –16.
9. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности /Я.Б. Шор. – М.: Советское радио, 1962. – 552 с.