

ТЕМПЕРАТУРА АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЯК ЧИННИК ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Пашинський В.А.¹, д.т.н., проф., Карюк А.М.², уточнити потім

¹*Кіровоградський національний технічний університет, Україна*

²*Полтавський національний технічний університет*

імені Юрія Кондратюка, Україна

Показники довговічності будівельних матеріалів та виробів повинні оцінюватися методами теорії надійності з урахуванням випадкових властивостей матеріалів та випадкових впливів експлуатаційного середовища. Важливим фактором, що визначає довговічність будівельних матеріалів за критерієм втрати морозостійкості, є зміни температури матеріалу, які в свою чергу визначаються змінами температури атмосферного повітря.

Проблема оцінювання довговічності за критерієм втрати морозостійкості зводиться до розв'язання таких головних задач:

- ✓ розроблення загальної методики ймовірного оцінювання показників надійності та довговічності (імовірність відмови, гамма-відсотковий строк служби тощо);
- ✓ експериментально-статистичні дослідження будівельних матеріалів з метою виявлення залежностей показників їх довговічності (наприклад, втрат міцності чи маси) від вологості, кількості циклів і температури заморожування;
- ✓ дослідження та ймовірнісне подання процесів зміни температури й вологості атмосферного повітря;
- ✓ оцінювання температурно-вологісного режиму експлуатації будівельних матеріалів у реальних кліматичних умовах з урахуванням теплової інерції та процесів вологообміну в системі повітря–виріб.

Результати останніх досліджень, які можуть слугувати основою для розв'язання перелічених задач, опубліковані в роботах [1–6]. Загальні принципи ймовірного прогнозування довговічності будівельних матеріалів у реальних умовах експлуатації запропоновані в [1] і реалізовані в [2] на прикладі оцінювання гарантованих (гамма-відсоткових) строків служби тротуарної плитки за критерієм втрати морозостійкості. В роботах [3–5] запропоновані й обґрунтовані ймовірнісні моделі змін температури й вологості атмосферного повітря у вигляді квазістаціонарного випадкового процесу. Визначенню

статистичних характеристик випадкового процесу середньодобової температури повітря та дослідженню їх територіальної мінливості присвячена робота [6], у якій проаналізовані й узагальнені дані майже 500 пунктів спостереження на території України.

Метою даної роботи є визначення частот, середньої й сумарної тривалості реалізації низьких значень температури атмосферного повітря, які обумовлюють наявність циклів заморожування-розморожування будівельних матеріалів, що експлуатуються на відкритому повітрі.

Ймовірнісна модель середньодобової температури атмосферного повітря у формі квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу запропонована в [3] й обґрунтована в [4, 6] шляхом статистичного аналізу результатів строкових спостережень на метеостанціях України. Функції математичного сподівання $M(t)$ та стандарту $S(t)$, визначені за гістограмами розподілу середньодобових температур в кожному з місяців року, мають чітко виражені сезонні зміни, які можуть бути задані таблично або описані 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 $M(t)$ і $S(t)$;

a_0, a_1, b_1 – параметри, обчислені методом найменших квадратів.

За результатами статистичної обробки отримана узагальнена по території України залежність стандарту $S(t)$ від математичного сподівання $M(t)$ у вигляді:

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

яка істотно спрощує ймовірнісну модель температури повітря.

Результати аналізу метеорологічних даних показали [4, 6], що розподіли ординати випадкового процесу середньодобової температури повітря в зимові та осінні місяці мають помітну лівосторонню асиметрію, але для практичних інженерних розрахунків можуть бути описані нормальним законом розподілу.

Частотна структура випадкового процесу середньодобової температури повітря задається постійним у часі значенням ефективної частоти, яке не має вираженої сезонної та територіальної мінливості, а тому в [6] рекомендовано встановити загальне для усієї території України значення ефективної частоти $\omega = 0,6$ 1/добу.

Таким чином, для ймовірнісного опису змін середньодобової температури атмосферного повітря у формі квазістаціонарного випадкового процесу досить задати функцію математичного сподівання у вигляді (1) або таблиці з 12-ти середньомісячних значень.

Закон розподілу ординати в довільний момент часу протягом року описується нормальним розподілом з математичним сподіванням (1) і стандартом (2). Частотна структура визначається вказаним вище узагальненим значенням ефективної частоти. Ці параметри визначені в роботі [6] для кожного з 485 пунктів спостереження, мережа яких досить щільно й рівномірно покриває територію України.

Вихідними даними для подальшого дослідження послуговували річні функції математичного сподівання й стандарту, прийняті за даними [6] у формі таблиць з 12 місячних значень. Вибіркова мережа з 20 метеостанцій, перелічених у таблиці 1, рівномірно покриває територію України, а тому дає змогу проаналізувати наявність і характер територіальної мінливості отриманих результатів. Більша кількість метеостанцій на території Кримського півострова дозволяє відобразити особливості досить різноманітних кліматичних умов цього регіону.

Частоти переходів температури повітря нижче встановлених детермінованих меж визначаються з використанням теорії викидів випадкових процесів [7]. На основі формули Райса з урахуванням річного періоду нестационарності випадкового процесу температури повітря, отримано вираз для обчислення середньої кількості виходів температури за детермінований рівень X протягом одного року:

$$n(X) = \int_{t=0}^{1 \text{ рік}} \lambda(t) dt = 4,8 \omega \sum_{i=1}^{12} \exp \left[-\frac{(X - M_i)^2}{2 S_i^2} \right], \quad (3)$$

де M_i і S_i – значення функцій математичного сподівання й стандарту для i -того місяця року;

$\omega = 0,6$ 1/добу – ефективна частота випадкового процесу середньодобової температури повітря;

4,8 – коефіцієнт, що враховує кількість днів у місяці та незмінні параметри формули Райса.

У таблиці 1 наведені результати обчислень за формулою (1) для двох значень рівня температури: $X=0^\circ\text{C}$ та $X=-18^\circ\text{C}$, які відповідають початку замерзання води та стандартній температурі заморожування зразків при випробуваннях на морозостійкість. З таблиці видно, що середньорічні кількості циклів переходів через рівень $X=0^\circ\text{C}$ в основному змінюються в межах від 12 до 14 циклів на рік і не виявляють виражених закономірностей змін по території. Деяко менші значення характерні для приморських метеостанцій Криму (від 7 до 12 циклів на рік), особливо Ялти (7 циклів на рік) завдяки субтропічному клімату, обумовленому захисним впливом Кримських гір. Частоти переходів температури нижче рівня -18°C мають значно більший

розкид, але також не виявляють виражених закономірностей територіальної мінливості.

Таблиця 1. Характеристики переходів температури повітря через рівні $X=0^{\circ}\text{C}$ та $X=-18^{\circ}\text{C}$

| Метеостанції | | $n(X)$, 1/рік | | $P(X)$, % | | $\tau(X)$, годин | |
|--------------|------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | $X=0^{\circ}\text{C}$ | $X=-18^{\circ}\text{C}$ | $X=0^{\circ}\text{C}$ | $X=-18^{\circ}\text{C}$ | $X=0^{\circ}\text{C}$ | $X=-18^{\circ}\text{C}$ |
| 1 | Бердянськ | 13,3 | 0,243 | 21,9 | 0,095 | 145 | 34 |
| 2 | Джанкой | 12,8 | 0,039 | 16,2 | 0,013 | 111 | 29 |
| 3 | Донецьк | 13,2 | 0,760 | 26,6 | 0,345 | 176 | 40 |
| 4 | Євпаторія | 11,7 | 0,013 | 12,9 | 0,004 | 97 | 27 |
| 5 | Житомир | 14,0 | 0,812 | 27,3 | 0,379 | 170 | 41 |
| 6 | Запоріжжя | 13,2 | 0,413 | 23,5 | 0,174 | 156 | 37 |
| 7 | Київ | 13,7 | 0,845 | 27,5 | 0,394 | 176 | 41 |
| 8 | Кіровоград | 13,4 | 0,717 | 25,9 | 0,327 | 170 | 40 |
| 9 | Луганськ | 12,8 | 1,177 | 27,7 | 0,586 | 189 | 44 |
| 10 | Луцьк | 14,4 | 0,355 | 24,2 | 0,146 | 148 | 36 |
| 11 | Любашівка | 13,7 | 0,421 | 24,2 | 0,178 | 155 | 37 |
| 12 | Львів | 14,2 | 0,243 | 22,4 | 0,096 | 139 | 35 |
| 13 | Одеса | 13,1 | 0,185 | 20,3 | 0,071 | 135 | 34 |
| 14 | Полтава | 13,0 | 1,424 | 29,3 | 0,729 | 197 | 45 |
| 15 | Ужгород | 12,5 | 0,098 | 17,4 | 0,036 | 122 | 32 |
| 16 | Феодосія | 11,1 | 0,011 | 11,9 | 0,003 | 94 | 27 |
| 17 | Херсон | 13,2 | 0,162 | 20,2 | 0,061 | 134 | 33 |
| 18 | Чернівці | 13,6 | 0,442 | 23,9 | 0,190 | 154 | 38 |
| 19 | Чернігів | 13,6 | 1,238 | 29,2 | 0,616 | 188 | 44 |
| 20 | Ялта | 7,1 | 1,9E-04 | 5,3 | 4,7E-05 | 65 | 21 |
| | Мінімум | 7,1 | 1,9E-04 | 5,3 | 4,7E-05 | 65 | 21 |
| | Максимум | 14,4 | 1,424 | 29,3 | 0,729 | 197 | 45 |

Імовірність перебування температури повітря нижче встановленої детермінованої межі X протягом повного річного циклу визначається, з урахуванням нормального розподілу ординати та річного періоду нестационарності, за формулою

$$P(X) = \frac{1}{1 \text{ рік}} \int_{t=0}^{1 \text{ рік}} F(X) dt = \frac{1}{1 \text{ рік}} \sum_{i=1}^{12} F_i(X) , \quad (4)$$

де F_i – значення функції нормального розподілу ординати випадкового процесу температури повітря для i -того місяця року.

Обчислені за формулою (4) ймовірності перебування температури повітря нижче обраних раніше меж $X=0^{\circ}\text{C}$ та $X=-18^{\circ}\text{C}$, виражені для зручності аналізу у відсотках від загального часу спостереження, наведені в таблиці 1. Аналіз цих даних вказує на закономірності, подібні до виявлених вище. Загалом на території України від'ємні температури повітря реалізуються протягом 17–30% часу (60-110 днів у рік) і лише для кримських метеостанцій цей показник є дещо меншим: від 5% для Ялти до 13% для Євпаторії. Сумарні тривалості перебування температури повітря нижче рівня -18°C мають подібний характер, але значно більший розкид по території.

Середня тривалість одного випадку переходу температури повітря нижче встановленої межі X дорівнює

$$\tau(X) = 8760 \times P(X) / n(X), \quad (5)$$

де $n(X)$ і $P(X)$ – кількість переходів та ймовірність перебування температури повітря нижче рівня X , обчислені за (3) й (4);

8760 – тривалість року в годинах.

З таблиці 1 видно, що один випадок реалізації від'ємної температури (що може бути близьким до тривалості одного циклу заморожування поверхневого шару виробів) у середньому триває від 122 до 197 годин (5-8 днів), а на приморських метеостанціях Криму – від 65 до 97 годин.

Слід відмітити, що усі наведені дані щодо кількості $n(X)$ та середньої тривалості $\tau(X)$ випадків реалізації низьких значень температури атмосферного повітря отримані за результатами статистичного аналізу середньодобових температур і не враховують добові коливання температури повітря. Результати [2] та інших досліджень показують, що при оцінюванні довговічності будівельних матеріалів і виробів за критерієм втрати морозостійкості зазвичай немає потреби в урахуванні добових коливань температури повітря. Значна теплова інерція будівельних конструкцій призводить до того, що при нетривалій дії від'ємної температури повітря температура самих конструкцій залишається додатною і замерзання води в порах матеріалу не спостерігається.

Результати дослідження дозволяють зробити такі **висновки**:

1. Запропонована методика дозволяє визначати частоти й тривалості реалізації заданих від'ємних значень температури повітря, необхідні для оцінювання довговічності будівельних матеріалів за критерієм втрати морозостійкості.

2. Частоти й тривалості реалізації від'ємних значень температури повітря близькі для усієї території України, окрім приморських метеостанцій Криму з більш м'якими характеристиками клімату.
3. Отримані раніше результати статистичної обробки метеорологічних даних разом із методикою, наведеною в цій роботі, можуть стати інформаційною базою для оцінювання довговічності будівельних матеріалів і виробів за критерієм втрати морозостійкості.

SUMMARY

Method of determining the frequency and duration of negative values of air temperature, necessary for evaluation of durability of building materials by the criterion of loss of resistance is described. A small variation of these characteristics in Ukraine is revealed.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пашинський В.А., Шульгін В.В. Загальна методика прогнозування довговічності будівельних матеріалів, виробів та конструкцій. //Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. –Вип. 21.– Полтава: ПолтНТУ. – 2008. – с. 88-95
2. Пашинський В.А., Шульгін В.В., Сушко В.О., Карюк А.М. Оцінювання довговічності будівельних матеріалів з урахуванням кліматичних впливів //Бетон і железобетон в Україні. – 2004. – № 4. – с.13-16.
3. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. – К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. – 185 с.
4. Пашинський В.А., Кузьменко А.А., Карюк А.М. Імовірнісний опис процесу температури повітря. //Коммунальное хозяйство городов: Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – Вып. 38. – К.: Техника. – 2002. – с. 60-66.
5. Пашинський В.А. Імовірнісна модель вологості повітря для проектування забудови поселень. //Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Вип. 18. – Полтава: ПолтНТУ. – 2006. – с. 158-166.
6. Карюк А.М., Пашинський В.А. Територіальне районування України за статистичними характеристиками температури повітря. //Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. – Выпуск 60. Серія: Технические науки и архитектура. – К.: Техника. – 2004. – с.123-129.
7. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций/ Свешников А.А. – М.: Наука, 1968. – 464с.