

УДК 624.012.82:81.81.07

В.М.Сідей, В.А.Пашинський
Кіровоградський національний технічний університет
ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ЦЕГЛИ ЗА
МЕТЕОРОЛОГІЧНИМИ ДАНИМИ

За результатами експериментального дослідження та статистичного аналізу метеорологічних даних розроблена методика визначення статистичних характеристик температури й ступеню насичення вологою пор поверхневого шару цегляних стін в заданих кліматичних умовах експлуатації.

Ключові слова: цегляні стіни, сорбційна вологість, температура, морозостійкість, довговічність

Рис 4. Форм 4. Літ 12

В.Н.Сидей, В.А.Пашинский
ПОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА КИРПИЧА ПО
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

По результатам экспериментального исследования и статистического анализа метеорологических данных разработана методика определения статистических характеристик температуры и степени насыщения влагой пор поверхностного слоя кирпичных стен в заданных климатических условиях эксплуатации.

Ключевые слова: кирпичные стены, сорбционная влажность, температура, морозостойкость, долговечность

V.Sidei, V.Pashynskiy
METEOROLOGICAL DATA FORCASTING OF TEMPERATURE AND HUMIDITY MODE
OF BRICKS

Based on the results of the experiment it is specified that the temperature of the surface layer of brick walls is close to the temperature of the air. Brick sorption humidity is linearly dependent on the relative humidity of air, averaged over half of the month. Statistical analysis of long-term observations of temperature and humidity of air in Kirovograd weather station confirmed the possibility of the probabilistic description of the climatic parameters in the form of quasi-stationary random processes. Ordinates temperature distributions are described by normal distribution law and those of relative humidity and degree of saturation of the pore ceramics with moisture sorption – by the sliced normal distribution law. It is established that the process of change of temperature and humidity in the winter months can be considered practically independent. We found the average annual variation and temperature conversions through zero degrees Celsius in different geographic regions of Ukraine, which can be regarded as the number of cycles of freezing and thawing of the surface layer of the brick walls. Working formulas to determine the statistical characteristics of the degree of the ceramics pore saturation with sorption moisture through the statistical characteristics of the random process of humidity changes of air were obtained. A large inertia of moisture exchange between the wall and the ambient air causes significant smoothing of random process changes of humidity. The obtained results and working formulas are an important element of forecasting methodology of brick walls durability on the criterion of frost resistance loss of the surface layer.

Keywords: brick walls, sorption humidity, temperature, frost resistance, durability

Постановка проблеми. Довговічність цегляних стін значною мірою визначається морозостійкістю цегли в реальних кліматичних умовах експлуатації. Ресурс кераміки при дії циклів заморожування-відтавання залежить не лише від кількості таких циклів та властивостей матеріалу, але й від ступеню заповнення його пор водою. Тому для достовірного прогнозування показників довговічності необхідно розробити методику визначення температури й вологості поверхневого шару цегляних стін, у якому відбувається морозна деструкція, за метеорологічними даними про температуру й вологість атмосферного повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вимоги до технічних характеристик керамічної цегли встановлені стандартом [2], а методи їх експериментального визначення регламентовані [1]. На підставі результатів випробувань понад 400 зразків будівельної кераміки в роботі [5] встановлена стохастична залежність її ресурсу від ступеню насичення пор водою. В роботі [7] на підставі статистичного аналізу опублікованих в [9] результатів метеорологічних спостережень розроблена імовірнісна модель температури атмосферного повітря, за якою в [6] проаналізовані середні кількості переходів температури через нуль градусів. Опубліковані в

©В.М.Сідей, В.А.Пашинський

[10] узагальнені статистичні дані дозволяють здійснити імовірнісне подання змін вологості атмосферного повітря на території України. Загалом наявні статистичні дані [7, 9, 10] та результати раніше виконаних досліджень [5, 6] дозволяють перейти до оцінювання показників довговічності цегляних стін за критерієм втрати морозостійкості.

Невирішені частини проблеми. Однією з нерозв'язаних частин задачі прогнозування довговічності кераміки за критерієм морозостійкості є перехід від температури й вологості атмосферного повітря до температури та ступеню насичення пор поверхневого шару цегляних стін атмосферою вологою. Для цього необхідно пов'язати метеорологічні параметри атмосферного повітря з температурою та сорбційною вологістю поверхневого шару стіни.

Мета дослідження полягає в розробленні методики визначення характеристик температури й вологості поверхневого шару цегляної стіни в режимі нормальної експлуатації за кліматичними параметрами атмосферного повітря.

Експериментальні дослідження тепловологісного режиму керамічної цегли зводилися до систематичних синхронних вимірювань температури й вологості повітря та тих же параметрів зразків цегли, викладених на відкритому повітрі під навісом, який захищав їх від прямого впливу атмосферних опадів. У період з лютого по квітень, для якого характерні часті зміни вологості й температури повітря, проводилися восьмистрокові вимірювання температури повітря, а також поверхневого шару цегли за допомогою вмонтованих термопар. Фіксувалися середньодобові значення вологості повітря, встановлені за результатами вимірювань на метеостанції, та з інтервалом в 1 – 2 доби виконувалося зважування зразків цегли з метою визначення її вологості.

Статистичний аналіз експериментальних даних показав, що температура поверхневого шару цегли на глибині 1–2 см досить близька до температури атмосферного повітря. Як правило, температура цегли перевищує температуру повітря в межах 1°C. Оскільки ця різниця більш помітна вдень і наближається до нуля вночі, додаткове нагрівання цегли можна пояснити дією розсіяної сонячної радіації. Незначна теплова інерція системи "атмосферне повітря – поверхня цегли" дозволяє вважати температуру поверхневого шару цегляних стін рівною температурі атмосферного повітря, визначеній за результатами стандартних восьмистрокових вимірювань.

Аналіз експериментальних даних показав, що вологість цегли приблизно у п'ять разів менша за вологість атмосферного повітря та змінюється досить синхронно зі змінами вологості повітря. Згладженість та затримка в часі порівняно з вологістю повітря обумовлена інерційністю процесу міграції вологи між атмосферним повітрям і цеглою. За експериментальними даними встановлена залежність ступеню насичення пор цегли водою (відсоткове відношення вологості W до водопоглинання цегли за масою W_{\max} , $H = 100 \times W / W_{\max}$) від вологості атмосферного повітря

$$H = 1,15 \times W_{16} - 42, \quad (1)$$

де W_{16} – середня протягом попередніх 16 діб відносна вологість повітря у %.

За результатами статистичної обробки значень ступеню насичення пор окремих цеглин стандарт ступеню насичення пор керамічної цегли можна вважати рівним 16%. Ця величина та формула (1) дозволяють за наявними метеорологічними даними визначати середнє значення та стандарт випадкової величини ступеню насичення пор керамічної цегли.

Метеорологічні параметри атмосферного повітря досліджені за даними багаторічних спостережень на метеостанції м. Кіровоград. Зміни температури й вологості повітря можна описати запропонованою в [4] імовірнісною моделлю квазістаціонарного випадкового процесу з річним періодом нестационарності математичного сподівання й стандарту, для чого слід визначити такі характеристики:

- річні функції математичного сподівання та стандарту в формі апроксимуючих функцій чи послідовностей з 12-ти місячних значень;
- вид і параметри законів розподілу ординати (нормальний – для температури повітря і зрізаний нормальний – для вологості повітря);
- значення ефективної частоти обох процесів та нормовану кореляційну функцію випадкового процесу вологості повітря (у зв'язку з необхідністю його інтегрування).

В дослідженнях [4, 7] показано, що закон розподілу ординати середньодобової температури повітря є близьким до нормального. Цей висновок підтверджується багаторічними даними метеостанції Кіровоград, за якими збудовані приклади гістограм розподілу, наведені на рисунку 1. Не дивлячись на незначну лівосторонню асиметрію, нормальний закон розподілу не суперечить дослідним гістограмам.

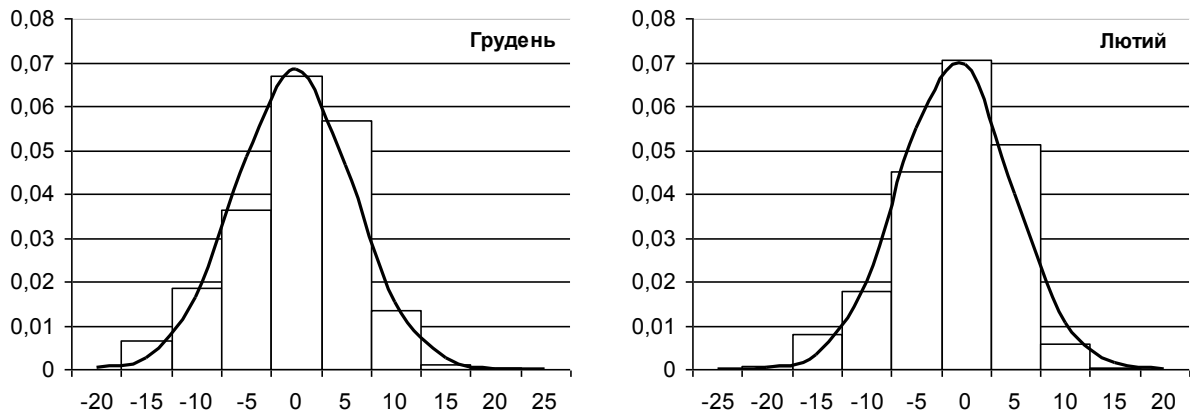


Рис. 1 Гістограми розподілу ординати випадкового процесу температури повітря на метеостанції Кіровоград для зимових місяців року

Закон розподілу ординати випадкового процесу вологості повітря має складнішу форму, обумовлену фізичними обмеженнями області визначення відносної вологості $0 \leq W \leq 100\%$. Гістограми розподілу, наведені на рисунку 2, можуть описуватися зрізаним нормальним розподілом [4, 12], густина якого має вигляд

$$f(k) = \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(k-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

Параметри C , μ , σ визначаються через середні значення та стандарти проаналізованих вибірок шляхом розв'язання системи з трьох нелінійних рівнянь, які встановлюють рівність теоретичних і дослідних числових характеристик з урахуванням вказаної вище області визначення.

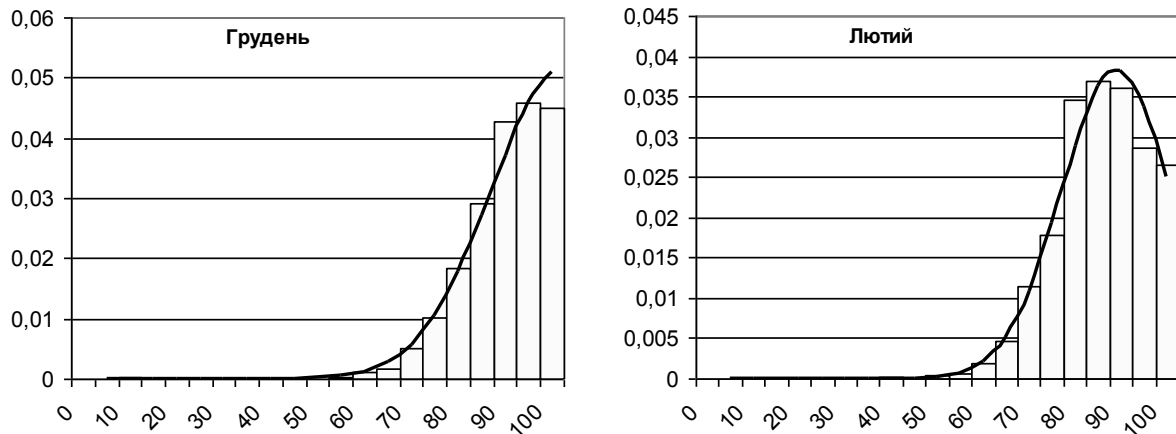


Рис. 2. Гістограми розподілу ординати випадкового процесу відносної вологості повітря на метеостанції Кіровоград

Частотну структуру випадкових процесів температури й вологості атмосферного повітря можна задати незмінними в часі значеннями ефективної частоти. Окрім того, обчислені нормовані кореляційні функції процесу змін вологості повітря в різні місяці року, які мають форму експоненти і в середньому можуть бути описані аналітичним виразом

©В.М.Сідей, В.А.Пашицький

$$R(\tau) = e^{-\alpha\tau} = e^{-0,7\tau} \quad (3)$$

Наявність нормованої кореляційної функції (3) дозволяє осереднювати випадковий процес змін вологості на заданому інтервалі за аналітичною методикою [4, 11].

Кількість циклів заморожування-відтавання поверхневого шару цегляних стін на території України встановлена з урахуванням змін температури атмосферного повітря. Необхідні статистичні характеристики випадкового процесу змін середньодобової температури повітря на багатьох метеостанціях України отримані й наведені в монографії [7]. Це дозволило в роботі [6] на основі формули Райса встановити, що кількість односторонніх переходів через нуль середньодобової температури повітря на різних метеостанціях України коливається в межах від 11 до 14 циклів на рік. Ці результати відображають тривалі (понад добу) відлиги й заморозки, які слід урахувати при прогнозуванні температурного режиму масивних конструкцій. Оскільки зміни температури поверхневих шарів цегли практично повторюють зміни процесу температури повітря, кількість циклів заморожування-відтавання може бути дещо більшою за рахунок добових коливань температури. За даними довідника [9], де наведені середньомісячні кількості днів з переходом температури через нуль, отримані середньомісячні кількості циклів заморожування-відтавання поверхневого шару цегли для 51-ї метеостанції України.

Річний хід кількості циклів заморожування-відтавання для північних районів України характеризується максимальними місячними значеннями весною та восени. Для південних метеостанцій, де морози бувають тільки посеред зими, характерний один зимовий максимум. Такий характер зміни середньомісячної кількості циклів заморожування-відтавання протягом зими ілюструється рисунком 3, збудованим за даними п'яти метеостанцій з різних географічних районів України: Ялта, Одеса, Кіровоград, Семенівка, Руська Мокра.

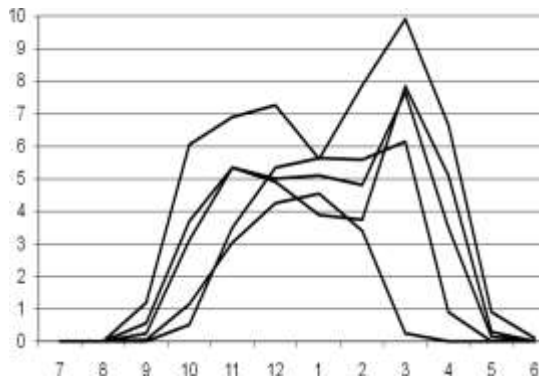


Рис. 3. Сезонні зміни середньомісячної кількості циклів переходу температури повітря через нуль

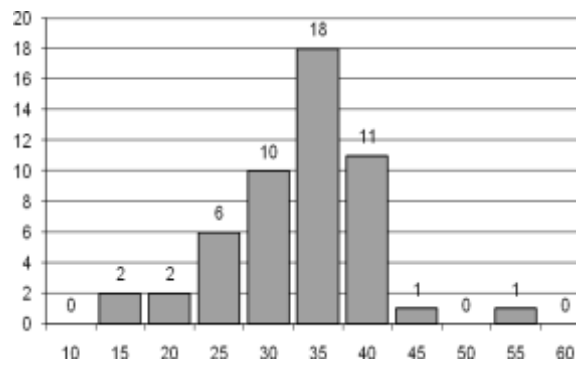


Рис. 4. Розподіл метеостанцій за річною кількістю циклів переходу температури повітря через нуль

Сумарна річна кількість циклів має значний розкид, відображений на гістограмі з рисунка 4. На переважній більшості метеостанцій протягом року спостерігається від 20 до 40 циклів, на 4 метеостанціях – менше 20 циклів, а на двох – більше 40 циклів. Найменша кількість циклів (до 30) спостерігається на метеостанціях, розташованих безпосередньо біля моря, що можна пояснити теплоакуючим впливом великих мас води зі значною теплоємністю, який згладжує добові перепади й тим самим стабілізує температуру повітря. На південних метеостанціях, де восени й весною звичайно бувають плюсові температури, спостерігається 30 – 34 цикли на рік, а в інших зонах України – до 80 циклів переходу температури повітря через нуль. Найбільші кількості циклів спостерігаються на гірських метеостанціях (Ай-Петрі, Руська Мокра, Стрий) для яких характерні значні добові перепади температури повітря. На кількість циклів переходу температури через нуль істотно впливають мікрокліматичні параметри, про що свідчить, наприклад, велике значення для південної метеостанції Сімферополь і набагато менше для Конотопа, розташованого на півночі України. Стандарти кількостей циклів заморожування-відтавання поверхневого шару стін можна орієнтовно визначити через

коефіцієнт варіації $V=0,5$ кількості переходів через нуль температури повітря, який за даними метеостанції Кіровоград.

Процес змін вологості стінового матеріалу є згладженим випадковим процесом змін вологості повітря при виявленому вище інтервалі згладжування $Z=16$ діб. При наявності первинних даних згладжування процесу температури повітря можна виконати шляхом осереднення відповідних відрізків реалізації. Якщо наявні лише статистичні характеристики випадкового процесу вологості повітря, визначені за даними довідника [10] чи за іншими згрупованими даними, слід застосувати методику інтегрування випадкових процесів, викладену в загальному вигляді в [9, 11] і адаптовану в [4] до розв'язання аналогічної задачі визначення температури масивних конструкцій. З урахуванням методики [4, 9, 11], залежності (1), ефективної частоти та нормованої кореляційної функції (3), а також додаткового розкиду ступеню насичення пор внаслідок мінливості властивостей цегли, зі стандартом 12%, отримані робочі формули для визначення статистичних характеристик випадкового процесу ступеня насичення пор цегли:

$$M_H(t) = 1,15 \times M_{II}(t) - 42; \quad S_H(t) = \sqrt{0,28 \times S_{II}^2(t) + 144}; \quad \omega_H = 0,36 \text{ 1/добу}, \quad (4)$$

де $M_{II}(t)$ і $S_{II}(t)$ – математичне сподівання й стандарт випадкового процесу вологості повітря;

$M_H(t)$ і $S_H(t)$ – відповідні характеристики випадкового процесу ступеню насичення пор керамічної цегли.

Розподіл ординати випадкового процесу ступеню насичення пор стінового матеріалу в заданий період року описується зрізаним нормальним законом розподілу (2) з параметрами C , μ , σ , визначеними через статистичні характеристики (4).

За результатами проведеного експерименту, а також багаторічних спостережень на метеостанції м. Кіровоград проаналізовано зв'язок між температурою та відносною вологістю атмосферного повітря, а також між температурою та ступенем насичення пор цегли водою. Близькі до нуля коефіцієнти кореляції в зимовий період дозволяють вважати ці випадкові величини практично незалежними.

Висновки за результатами дослідження:

1. Зміни температури й вологості атмосферного повітря можна описати імовірнісною моделлю квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу, причому розподіл ординати температури в зимові місяці року близький до нормального, а вологості – описується зрізаним нормальним законом розподілу.
2. За результатами синхронних вимірювань встановлено, що температура поверхневого шару цегли близька до температури повітря, визначеної за результатами восьмистрокових спостережень, а ступінь насичення пор керамічної цегли сорбційною вологою можна визначити через вологість атмосферного повітря, осереднену за попередню половину місяця.
3. За даними довідника по клімату встановлено середньомісячні та середньорічні кількості переходів температури повітря через нуль та показано, що їх стандарти можна наближено визначати з урахуванням коефіцієнта варіації 0,5.
4. Отримані робочі формули для переходу від статистичних характеристик випадкового процесу вологості атмосферного повітря до статистичних характеристик випадкового процесу ступеню насичення пор цегли сорбційною вологою.
5. Температуру й вологість повітря протягом зимових місяців року можна вважати незалежними випадковими процесами.

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука. - 1969. – 576 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Державний стандарт України. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.
3. ДСТУ Б В.2.7-61-97. Державний стандарт України. Будівельні матеріали. Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови.
4. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України.– К.: УкрНДПроекстальконструкція, 1999.- 185 с.

©В.М.Сідей, В.А.Пашинський

5. Пашинський В.А. Вплив вологості на характеристики морозостійкості будівельної кераміки / Пашинський В.А., Сідей В.М. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Збірник наукових праць.– Рівне, 2013. – Випуск 26. – С. 331–337.
6. Пашинський В.А. Температура атмосферного повітря як чинник довговічності будівельних матеріалів / В.А.Пашинський, А.М.Карюк. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.– Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012 – Випуск № 47, частина 2. – С. 282-287.
7. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель / Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. – Одеса : ОДАБА, 2012. – 180 с.
8. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций.- М.: Наука, 1968.- 464 с.
9. Справочник по климату СССР. Часть II. Температура воздуха и почвы. Выпуск 10.- Л.: Гидрометеоздат, 1967.- 608 с.
10. Справочник по климату СССР. Часть IV. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. Выпуск 10.- Л.: Гидрометеоздат, 1969.- 696 с.
11. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов.- М.: Наука, 1970.- 392 с.
12. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности.- М.: Советское радио, 1962.- 552 с.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2014.