

ДОВГОВІЧНІСТЬ ЦЕГЛЯНИХ СТІН В КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ

За розробленою методикою, що базується на методі статистичного моделювання, визначені гамма-відсоткові строки служби керамічної цегли за критерієм втрати морозостійкості поверхневого шару в кліматичних умовах усіх регіонів України.

Постановка задачі. Забезпечення довговічності є однією з важливих умов тривалої нормальної експлуатації будівельних конструкцій, будівель та споруд. Довговічність цегляних стін значною мірою визначається процесом втрати морозостійкості поверхневого шару, інтенсивність якого залежить як від технічних характеристик цегли, так і від кліматичних умов експлуатації. Випадковий характер показників морозостійкості цегли, змін температури й вологості атмосферного повітря обумовлює необхідність застосування імовірнісного підходу до прогнозування довговічності.

Аналіз останніх досліджень. Методи випробувань та вимоги до показників морозостійкості стінових матеріалів встановлені стандартами [1, 2]. Статистичні характеристики показників морозостійкості будівельної кераміки та їх залежність від ступеню насичення пор водою досліджені в роботах [3, 4], а температура й вологість атмосферного повітря та поверхневого шару цегляних стін – в статтях [5, 6]. Показники довговічності будівельних матеріалів і виробів встановлені нормами [7]. Найбільш ефективним і прийнятним для інженерної практики показником довговічності є гамма-відсотковий строк служби T_γ , рівний терміну експлуатації, протягом якого забезпечується надійна робота $\gamma\%$ виробів. Цей показник можна також вважати гарантованим строком служби виробу із забезпеченістю $\gamma\%$. В статті [8] запропонована методика оцінювання гамма-відсоткового строку служби шляхом зіставлення випадкового процесу накопичення деструктивного впливу експлуатаційного середовища з випадковим значенням опору матеріалу цьому впливові. Методика [8] та результати попередніх досліджень [3–6] дозволяють визначити й проаналізувати гамма-відсотковий ресурс керамічної цегли в кліматичних умовах різних регіонів України.

Мета дослідження полягає в оцінюванні й аналізі показників довговічності цегли різних марок, яка експлуатується в кліматичних умовах різних регіонів України.

Методика досліджень базується на статистичному моделюванні процесу накопичення пошкоджень при циклічному заморожуванні-відтаванні. Моделювання реалізує імовірнісний аналіз граничної нерівності

$$K(t) \leq F, \quad (1)$$

де $K(t)$ – неспадаючий випадковий процес накопичення стандартних циклів заморожування-відтавання;

F – випадкова величина показника морозостійкості (випадкова кількість стандартних циклів, які може витримати матеріал).

В якості вихідних даних для статистичного моделювання задаються:

- кількість змодельованих реалізацій накопичення пошкоджень N , кожна з яких відображає роботу одного зразка з конкретним детермінованим значенням показника морозостійкості;
- математичне сподівання M_K та стандарт S_K річної кількості циклів заморожування-відтавання, визначені за метеорологічними даними;
- математичне сподівання M_W та стандарт S_W ступеню насичення пор кераміки сорбційною вологою, визначені за методикою [4];
- математичне сподівання M_F і стандарт S_F показника морозостійкості кераміки, визначені за методикою [6] через марку за морозостійкістю.

Програма моделювання на ПК реалізує такі основні операції:

1. За нормальним розподілом з характеристиками M_F і S_F моделюється випадкова величина показника морозостійкості конкретного зразка F_i .
2. Починаючи з першого року експлуатації, за заданими статистичними характеристиками моделюються випадкові величини середньорічного ступеню насичення пор кераміки W_p та річної кількості реальних циклів заморожування-відтавання $K_{ФР}$.
3. За формулою з [4] обчислюється еквівалентна кількість стандартних циклів заморожування-відтавання протягом поточного року

$$K_{EP} = K_{ФР} \times \exp(0,2 \times W_p - 20) \quad (2)$$

і накопичена кількість стандартних циклів заморожування-відтавання протягом реалізованого терміну експлуатації $K_{ET} = K_{ET} + K_{EP}$.

4. Доки накопичена кількість стандартних циклів не перевищує ресурс i -того зразка $K_{ET} < F_i$, відбувається моделювання наступного року експлуатації за пунктами 2, 3. Коли досягається $K_{ET} \geq F_i$, фіксується втрата морозостійкості і-тим зразком при досягнутому значенню строку служби T_i .
5. Моделювання повторюється з пункту 1 до завершення аналізу усіх N зразків, у результаті чого формується вибірки з N строків служби T_i .
6. Статистична обробка вибірки T_i дає числові характеристики та гістограму розподілу строку служби. Окремі значення T_i , порядкові номери яких у відсортованій вибірці відповідають заданим рівням забезпеченості γ , дорівнюють шуканому гамма-відсотковому строку служби T_γ .

Приклад розрахунку з детальним аналізом результатів виконано для кліматичних умов м. Кіровоград. За метеорологічними даними та методикою [6] встановлені числові характеристики ступеню насичення пор кераміки водою $M_W = 50,9\%$ і $S_W = 14,84\%$, а також річної кількості циклів заморожування-відтавання $M_K = 34,5$ і $S_K = 6,76$. Математичне сподівання

показника морозостійкості кераміки M_F приймається рівним марці за морозостійкістю F , а стандарт $S_F=0,3 \times F$. Для кожної з проаналізованих марок кераміки кількість моделювань (розглянутих зразків) дорівнювала $N=10000$.

На рисунку 1 в якості прикладу наведені результати моделювання процесу накопичення стандартних циклів заморожування-відтавання для трьох зразків кераміки з маркою за морозостійкістю $F 25$.

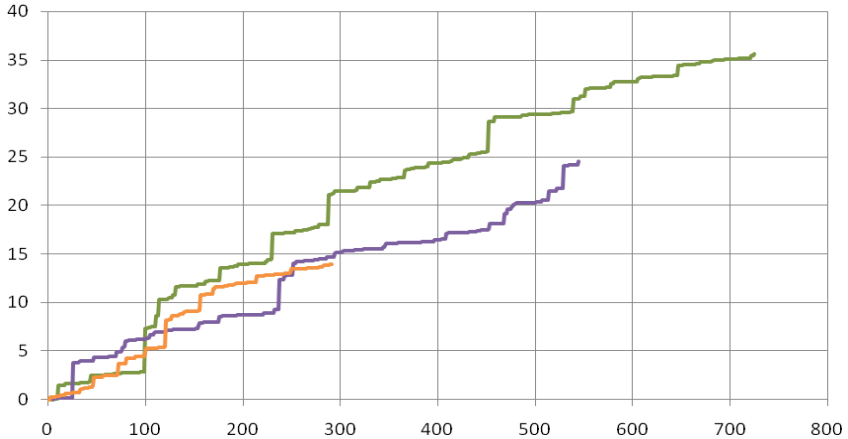


Рис. 1 Реалізації процесів накопичення кількості стандартних циклів заморожування-відтавання для трьох зразків марки $F 25$

Повільне накопичення стандартних циклів заморожування-відтавання обумовлене незначним насиченням пор водою та відповідно невеликими річними еквівалентними кількостями стандартних циклів, отриманими за формулою (2). Істотне зростання еквівалентної кількості стандартних циклів (2 – 5 на рік) спостерігається у ті роки, коли в результаті моделювання були отримані високі (понад 80%) ступені насичення пор. Як реальні показники морозостійкості, так і відповідні строки служби різних зразків мають значний розкид: при змодельованих показниках морозостійкості 14, 25 і 36 циклів зразки мають строки служби 291, 546 і 725 років.

Гістограма розподілу строків служби для усіх 10000 зразків (змодельованих реалізацій) наведена на рисунку 2. Розподіл строку служби має помітну правосторонню асиметрію та досить широку область визначення: від 10 до 1000 років, але більшість зразків можуть служити від 100 до 600 років.

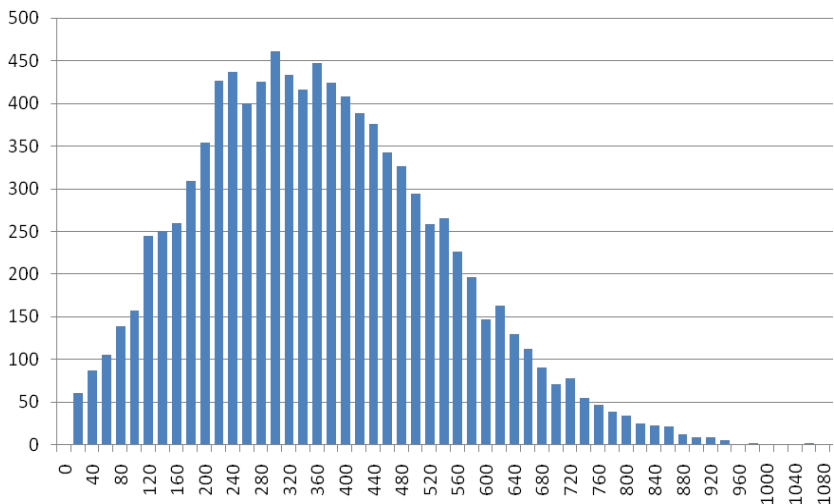


Рис. 2 Гістограма розподілу строку служби зразків кераміки марки F 25 в кліматичних умовах м. Кіровоград

Числові характеристики (середнє значення M_T , коефіцієнт варіації V_T , коефіцієнт асиметрії A_T), а також гамма-відсоткові строки служби T_γ керамічної цегли різних марок за морозостійкістю в кліматичних умовах м. Кіровоград, наведені в таблиці 1. Збільшення марки за морозостійкістю приводить до лінійного зростання середнього строку служби цегли. Коефіцієнт варіації та коефіцієнт асиметрії розподілів строку служби при зростанні марки цегли за морозостійкістю зменшуються.

Таблиця 1

Статистичні характеристики строків служби цегли в кліматичних умовах метеостанції Кіровоград

Марка за морозостійкістю	M_T	V_T	A_T	$T_{0,90}$	$T_{0,95}$	$T_{0,99}$
F 15	217,4	0,475	0,513	90	65	26
F 25	344,9	0,427	0,412	161	119	59
F 35	480,1	0,394	0,345	243	188	95
F 50	673,2	0,374	0,293	359	280	151
F 75	999,9	0,352	0,235	552	441	248
F 100	1329,1	0,341	0,210	758	608	344

Гарантований (гамма-відсотковий) строк служби T_γ також зростає при збільшенні марки кераміки за морозостійкістю, що видно з таблиці 1 та з рисунка 3. При переході від $\gamma=0,90$ до $\gamma=0,99$ гарантований строк служби зменшується приблизно удвічі.

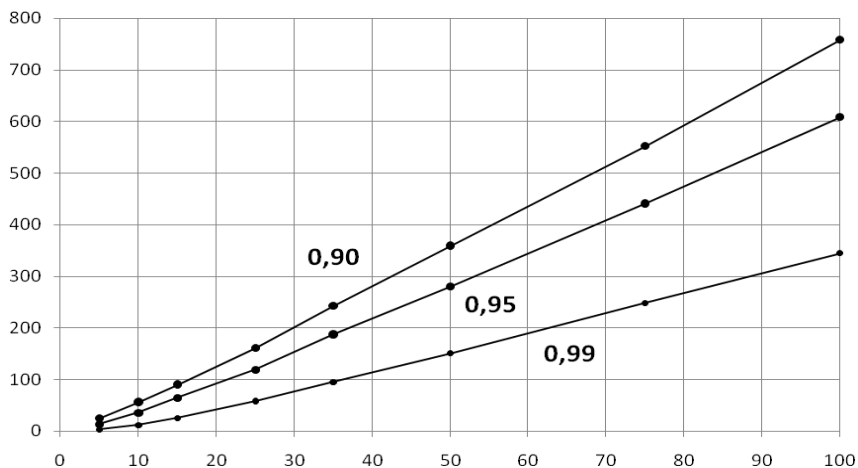


Рис. 3 Залежності гарантованого (гамма-відсоткового) строку служби від забезпеченості (гамма) та марки кераміки за морозостійкістю

Одним з важливих аспектів методу Монте-Карло є вибір кількості моделювань N , необхідної для забезпечення достатньої точності результатів. Аналіз результатів декількох незалежних моделювань однієї й тієї ж задачі при $N=10000$ показав, що середні значення й стандарти змодельованих вибірок усіх розрахункових параметрів досить близькі до заданих значень. Середні строки служби, отримані в результаті незалежних моделювань, відрізняються в межах 0,8%, 90-відсоткові строки служби відхиляються до 3%, а 99-відсоткові строки служби – до 6%. Точність, цілком прийнятна для інженерного аналізу довговічності, дозволяє вважати обсяг моделювання $N=10000$ реалізацій достатнім для отримання достовірних результатів.

Довговічність керамічної цегли на території України досліджена за викладеною методикою з використанням даних 51 метеостанції. На переважній більшості метеостанцій середньорічна кількість циклів заморожування-відтавання поверхневого шару цегляної стіни змінюється від 20 до 45. На континентальній території України спостерігається від 30 до 38 циклів на рік, в районах Причорномор'я та Приазов'я – до 30 циклів на рік, а на метеостанціях Південного берега Криму реалізується менше 20 циклів на рік. Ступінь насичення пор кераміки водою практично на усій території України приймає значення від 46% до 55%. Помітно сушіший режим експлуатації цегляних стін в основному реалізується в Південному Криму, де ступінь насичення пор кераміки становить 39% – 46%.

Втрата морозостійкості верхнього шару цегляної стіни не призводить до більш серйозних наслідків, ніж втрата естетичності зовнішнього вигляду. Тому, виходячи з рекомендацій норм [7] щодо показників надійності

другорядних елементів конструкцій, гамма-відсотковий строк служби визначався при рівні забезпеченості $\gamma=0,99$, для якого й виконані всі подальші розрахунки. Результатами розрахунків є значення гарантованого строку служби цегли марок за морозостійкістю від F 15 до F 100 (гамма-відсоткового строку служби для забезпеченості $\gamma=0,99$) в кліматичних умовах кожної з 51 розглянутих метеостанцій України.

Територіальна мінливість 99-відсоткового гарантованого строку служби цегли марки F 25 відображена на рисунку 4. Загалом гарантований строк служби змінюється від 17 років для умов гірської метеостанції Руська Мокра до 2649 років для умов метеостанції маяк Сарич, але для переважної більшості метеостанцій коливається в межах від 25 до 150 років.



Рис. 4 Територіальна мінливість гарантованих строків служби цегли марки F 25 при забезпеченості $\gamma=0,99$

З рисунка 4 видно, що гарантовані строки служби загалом зростають з півночі до півдня України відповідно до зменшення річної кількості циклів заморозжування-відтавання та ступеню насичення пор водою. Аналіз даних для узбережжя Чорного та Азовського морів вказує на тенденцію до зростання довговічності при наближенні до моря. Спостерігаються також несистематичні відхилення для досить близько розташованих метеостанцій, що особливо помітно на території Криму, для якої характерна велика мінливістю географічних та метеорологічних умов.

Гарантований строк служби цегли марки F 50, яка рекомендована стандартом [2] для використання в якості облицювальної, в усіх випадках перевищує 100 років за винятком метеостанції Руська Мокра, де він склав 50 років. В умовах Криму гарантований строк служби цегли марки F 50 перевищує 400 років, що свідчить про можливість зменшення марки за морозостійкістю облицювальної цегли для цього регіону.

Висновки за результатами досліджень:

1. В якості основного показника довговічності керамічної цегли доцільно прийняти гамма-відсотковий строк служби із забезпеченістю $\gamma=99\%$, який також можна вважати гарантованим строком служби.
2. Розроблена методика оцінювання довговічності цегляних стін за критерієм втрати морозостійкості, заснована на використанні методу статистичного моделювання, забезпечує визначення гамма-відсоткового строку служби з урахуванням властивостей кераміки та температурно-вологісного режиму її експлуатації.
3. Найбільші гамма-відсоткові строки служби цегли різних марок за морозостійкістю отримані для умов Південного берега Криму, а найменші – для гірських районах Карпат.
4. Отримані результати вказують на можливість використання в окремих регіонах України облицювальної керамічної цегли з марками за морозостійкістю, меншими порівняно з чинними нормами проектування.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 22 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-61:2008. Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.– 45 с.
3. Пашинський В.А. Експериментально-статистичні дослідження характеристик морозостійкості керамічної цегли / Пашинський В.А., Сідей В.М. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.– Одеса: ОДАБА, 2013 – Випуск № 49, ч. 2. – С. 198-204.
4. Пашинський В.А. Вплив вологості на характеристики морозостійкості будівельної кераміки / Пашинський В.А., Сідей В.М. // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. : Збірник наукових праць.– Рівне, 2013. – Випуск 26. – С. 331–337.
5. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. – Одеса : ОДАБА, 2012. – 180 с.
6. Сідей В.М. Прогнозування температурно-вологісного режиму цегди за метеорологічними даними / В.М. Сідей, В.А. Пашинський // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Випуск 46 (травень-червень). – Луцьк: ЛНТУ, 2014. – С. 491–496.

7. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.- К.: Мінрегіонбуд України, 2009.– 30 с
8. Пашинський В.А., Шулгін 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