

УДК 666.972.53

ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МОРОЗОСТІЙКОСТІ СИЛКАТНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

С. В. ПІДДУБНИЙ, Г. О. ТАТАРЧЕНКО, В. М. СОКОЛЕНКО

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Северодонецьк

Проаналізовано існуючі базові і прискорені методи визначення морозостійкості будівельних матеріалів та показано їх переваги і недоліки. Запропоновано прискорений метод, який дає змогу визначити довговічність каменю з найменшою трудомісткістю і високою оперативністю. Він базується на введенні критерію морозостійкості, який обчислюють за водопоглинанням (mass%) і міцністю на стиск у водонасиченому стані. Отримані результати добре корелюють з відомими базовими і прискореними методами.

Ключові слова: морозостійкість, силікатні будівельні матеріали, водопоглинання, міцність на стиск, критерій морозостійкості.

Вступ. Морозостійкість будівельних матеріалів є однією з основних характеристик, що забезпечують довговічність споруд. Під морозостійкістю розуміють здатність матеріалу у водонасиченому стані витримувати багаторазову дію знакових температур і зберігати при цьому основні фізико-механічні властивості в заданих межах. Вплив мінусових температур на будівельні конструкції знижує тривалість служби будівель і споруд, скорочує терміни міжремонтних циклів, призводить до додаткових матеріальних, трудових і енергетичних витрат на ремонт і відновлення зруйнованих конструкцій. Визначення морозостійкості в стислі терміни під час виготовлення силікатних будівельних матеріалів дає змогу уникнути появи браку при зведенні конструкцій недостатньої морозостійкості, особливо у кліматичних зонах з різким перепадом температур.

На сьогодні в Україні для визначення морозостійкості за Державними стандартами існує два базових і два прискорених методи [1, 2]. Крім цього, стандарт передбачає ще два додаткових прискорених методи: дилатометричний [3] та структурно-механічний [4].

Формулювання задачі. Базові методи дають можливість визначити морозостійкість безпосередньо за кількістю циклів. За надійних експериментальних результатів основним недоліком базових методів встановлення морозостійкості будівельних матеріалів є значна трудомісткість, тривалість випробування і необхідність у громіздкому обладнанні.

Прискорені методи визначення морозостійкості вимагають застосування складного і дорогого обладнання. Наприклад, диференційний об'ємний дилатометр ДОД-100К/3 [4] або дефектоскоп ультразвуковий для визначення морозостійкості ультразвуковим методом [5] на сьогодні коштують понад 100 тис. грн. Прискорені методи мають деякі обмеження [6–8], наприклад, дилатометричний експрес-метод придатний тільки для портланд- і шлакопортландцементного бетону без поверхнево-активних речовин, які, здебільшого, додають до бетонної суміші. Крім цього, існуючі прискорені методи ґрунтуються на залежностях, отриманих базовим методом, і під час випробування нового складу матеріалів необ-

хідне встановлення цих залежностей, що не дає можливості отримати достовірні результати, особливо, якщо змінилася їхня структура [8]. Слід відзначити, що більшість праць з оцінки морозостійкості за скороченим терміном визначення F стосуються саме цементобетону [9–11]. Силікатні та керамічні матеріали менше досліджені.

Окремо для силікатних і керамічних будівельних матеріалів існують декілька прискорених методів визначення морозостійкості за структурно-механічними характеристиками [12, 13]. Перший спосіб [12], хоч і вважають прискореним, але він потребує одноразового заморожування однієї частини силікатних зразків, а для цього необхідна морозильна камера. В керамічних зразках визначають капілярно-відкриту пористість [13]. Морозостійкість за циклами встановлюють з допомогою різних формул, використовуючи коефіцієнти підвищення міцності за одноразового заморожування, які залежать, своєю чергою, від капілярно-відкритої пористості. Одним з недоліків цього способу є недостатньо висока достовірність результатів через застосування розрахункових формул з емпіричними коефіцієнтами. За розбіжності результатів між базовим методом [13] і прискореним, як остаточний приймається результат, отриманий базовим.

Другим прискореним способом для керамічних будівельних матеріалів є метод визначення сорбційного водопоглинання зразка, витриманого у середовищі вологого повітря [14], в якому морозостійкість прогнозується за одним параметром (кількістю сорбційної вологи). За цим методом морозостійкими вважають зразки, які сорбують вологу в межах 0,05...0,1%, а в межах 0,9% і вище не є такими. Цим методом не встановлюємо точного значення морозостійкості як це передбачено стандартною методикою [1], а отримуємо відповідь якісного характеру: матеріал явно морозостійкий (тобто витримує більше 15 cycles) за сорбційного водопоглинання $<0,1$ і явно неморозостійкий (не витримує 15 cycles) за водопоглинання $>0,9\%$. Інтервал від 0,1 до 0,9% достатньо широкий і не охоплює матеріали, які потрапляють у ці межі [14].

Європейські стандарти [8, 15, 16] визначення морозостійкості бетонів дещо відрізняються від тих, які прийняті в країнах пострадянського простору, однак вони також є трудомісткими і недостатньо оперативними.

Можна припустити, що властивості силікатних матеріалів, в т.ч. морозостійкість, є прогнозованішими на відміну від цементних бетонів. Їх структура однорідніша і не змінюється з плином часу. Структура бетону досить неоднорідна і утворюється у вигляді просторової ґратки з цементного каменю, зерен дрібного і крупного заповнювачів різних розмірів і форми, пронизаної великою кількістю мікропор і капілярів, що містять хімічно непов'язану воду, водяну пару і повітря. Фізично бетон – це капілярно-пористий матеріал, в якому порушена суцільність маси і присутні всі три фази – тверда, рідка і газоподібна. Цементний камінь має неоднорідну структуру і складається з пружного кристалічного зростка і гелю. Дослідження показали [17, 18], що теорії міцності, запропоновані для інших матеріалів, для бетону непридатні. Залежність між складом, структурою бетону, його міцністю і деформативністю формулює задачу, над якою досі працюють дослідники.

Морозостійкість цементних бетонів суттєво залежить від порового простору цементного каменю, який, своєю чергою, залежить від мінералогічного складу, тонкості помелу, ступеня гідратації портландцементів, наявності хімічних та активних мінеральних додатків у цементі, умов твердіння. Залежно від співвідношення цих чинників формується конкретна мікроструктура цементного каменю. Крім цього, загальна пористість бетону з плином часу суттєво зменшується, змінюючи властивість бетону, в т.ч. міцність. Наприклад, за один рік твердіння загальна пористість зменшується в два рази порівняно з 28-миденним терміном, при цьому капілярна пористість зменшується в 4 і більше разів [19]. Для оцінки струк-

тури матеріалу часто використовують водопоглинання, яке насамперед залежить від відкритої (капілярної) пористості. Таким чином, є підстави вважати, що існує кореляційні залежності між морозостійкістю, водопоглинанням і міцністю на стиск зразків силікатних і керамічних будівельних матеріалів у водонасиченому стані.

Мета досліджень – розробити прискорений експериментально-розрахунковий метод визначення морозостійкості для встановлення довговічності каменю з найменшою трудомісткістю і високою оперативністю.

Методи досліджень. Для досліджень з визначення морозостійкості прискореним методом в умовах лабораторії будівельних матеріалів виготовили зразки цегли автоклавного твердіння на основі шахтної породи з додатком кварцового піску та вапна методом сухого пресування. Готували формувальну суміш помелом шахтної породи, кварцового піску і вапна в лабораторному млині МЛ-1. Тонкість помелу визначали залишком на ситі № 008 (8 мікрон) – не більше 15%. Вологість суміші 9...10%. Питомий тиск пресування під час формування цегли 17 МПа. Автоклавному обробку зразка-сирцю здійснювали за температури ~180°C і тиску 8...9 atm. Крім зразків, виготовлених у лабораторних умовах, дослідили вироби, виготовлені в умовах підприємства: керамічну повнотілу цеглу пластичного формування, силікатний автоклавний бетон, а також керни з щільного метаморфізованого вапняку і блок, випиляний з вапняку.

Водопоглинання зразків (mass%) визначали як середньоарифметичне значення результатів для всіх зразків, розрахованих з точністю до 1% (арбітражний метод) [1]. Границю міцності зразків за стиску у водонасиченому стані визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7-248:2011 [20]. Випробовували силікатні будівельні матеріали на морозостійкість у сертифікованій лабораторії, зразки встановленої форми і розмірів [1].

Результати та їх обговорення. Проаналізовано існуючі методи визначення морозостійкості і встановлено основні параметри, які впливають на цю характеристику силікатних і керамічних будівельних матеріалів. Виявлено, що за насичення матеріалу водою істотно змінюються його властивості: підвищується середня щільність, відбуваються структурні зміни, що призводить до зниження міцності. Згідно зі сучасними уявленнями, причиною руйнування будівельних матеріалів за мінусових температур є розширення води в порах під час її замерзання.

Методи прогнозування морозостійкості можна розділити на експериментально-розрахункові і розрахункові. Перші передбачають встановлення відповідних параметрів експериментально, а потім знаходження за допомогою рівнянь зв'язку або графічно кількості циклів морозостійкості.

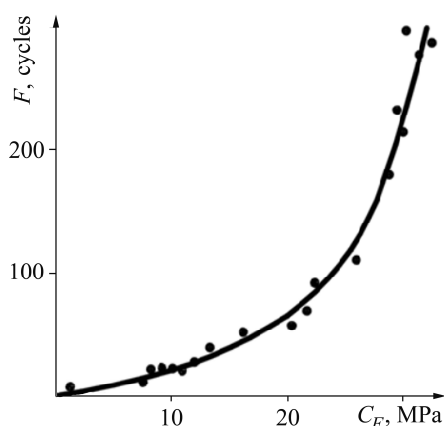
Для прогнозування морозостійкості відомі регресійні рівняння, які враховують основні впливові чинники як диференційовано, так і через деякі інтегральні параметри або критерії [21]. Пов'язуючи такі параметри, як міцність на стиск після насичення зразка водою, водопоглинання за масою і морозостійкість за циклами “заморожування–розмерзання”, для силікатних і керамічних будівельних матеріалів та осадових гірських порід ввели критерій морозостійкості C_F , який розраховують за емпіричною залежністю

$$C_F = 10 \frac{R_B}{W_i}, \quad (1)$$

де R_B – міцність матеріалу у водонасиченому стані; W_i – водопоглинання за масою.

Щоб отримати експериментальні результати залежності морозостійкості (у циклах) від критерію морозостійкості (C_F), виконали лабораторні випробування на зразках різних видів силікатних, керамічних будівельних матеріалів та осадових гірських порід. Морозостійкість за циклами встановлювали за ДСТУ Б В.2.7-

42-97, для іншої частини зразків визначали водопоглинання і міцність на стиск у водонасиченому стані для обчислення C_F запропонованим методом.



Залежність кількості циклів морозостійкості силікатних, керамічних будівельних матеріалів та осадових гірських порід від критерію морозостійкості C_F .

Dependence of the number of cycles of frost resistance of silicate building materials, building ceramics and sedimentary rocks on the criterion of frost resistance C_F .

Під час експериментальних досліджень виявили, що, пов'язуючи такі параметри, як міцність на стиск у водонасиченому стані та водопоглинання за масою, можна побудувати залежність кількості циклів морозостійкості (F) від критерію морозостійкості у вигляді однієї універсальної кривої (див. рисунок).

Після статистичної обробки експериментальних результатів встановили, що залежність морозостійкості силікатних, керамічних матеріалів та осадових гірських порід від критерію морозостійкості можна описати функцією виду

$$F = f(C_F) = 0,173 \cdot 10 C_F + 0,950 \cdot C_F + 0,103 \cdot C_F - 0,615 \cdot 10^{-1} \cdot C_F + \\ + 0,890 \cdot 10^{-2} \cdot C_F^5 - 0,633 \cdot 10^{-3} \cdot C_F^6 + 0,244 \cdot 10^{-4} \cdot C_F^7 - 0,486 \cdot 10^{-6} \cdot C_F^8 + \\ + 0,392 \cdot 10^{-8} \cdot C_F^9, \quad (2)$$

а критерій C_F відповідає морозостійкості за циклами поперемінного заморожування та розмерзання. Завдяки випробуванню різних видів силікатних, керамічних будівельних матеріалів та осадових гірських порід вдалося охопити увесь діапазон від 0 до 300 cycles морозостійкості.

Для розрахунку морозостійкості запропонованим методом необхідно визначити водопоглинання і міцність на стиск у водонасиченому стані зразків матеріалу, а потім за цими параметрами обчислити C_F за формулою (1). Далі за значенням C_F , використовуючи графік (див. рисунок) або математичну формулу (2), визначити відповідне значення морозостійкості за циклами поперемінного заморожування та розмерзання.

Наприклад, для зразка з силікатного автоклавного бетону спочатку визначили водопоглинання, яке становить $W_i = 8,2 \text{ mass\%}$. Потім зразок у водонасиченому стані випробовували на стиск. Міцність на стиск становить $R_B = 21 \text{ MPa}$. Використовуючи формулу (1), знаходимо критерій морозостійкості $C_F = 25,6$. Далі знаходимо відповідну до цього критерію морозостійкість зразка в стандартних циклах. За графіком морозостійкість за поперемінного заморожування та розмерзання дорівнює 80 cycles, а за математичною формулою 79,8 cycles. Отже, значення критерію морозостійкості відповідає морозостійкості за циклами.

Для перевірки відповідності результатів визначення морозостійкості за розробленою методикою і стандартним методом [1] виконали лабораторні випробування (див. таблицю). Як бачимо, запропонований спосіб дає змогу обчислювати морозостійкість за циклами різних силікатних матеріалів, які мають як низьку (4 cycles для блоку з пиляного вапняку), так і високу морозостійкість (300 cycles для щільного метаморфізованого вапняку).

Результати випробувань на морозостійкість

Вироби та матеріали	Міцність на стиск у водонасиченому стані, МПа	Водопоглинання W_i , mass%	Критерій морозостійкості C_F	Морозостійкість, cycles		
				За ДСТУ Б В.2.7-42-97	За ф-лою	За графіком
Керни з щільного метаморфізованого вапняку	22,4	6,9	32,5	300	298	314
Блок, випиляний з вапняку	3,5	16,7	2,1	4	3,8	4
Керамічна повнотіла цегла пластичного формування	9,9	12,0	8,2	15	15,5	15
Силікатний автоклавний бетон	21,0	8,2	25,6	50	79,9	80
Автоклавна цегла на основі шахтної породи	11,4	10,7	10,6	20	19,8	21

Визначення морозостійкості за розробленою методикою забезпечує результати з досить високою точністю, розбіжність з базовим методом 5,3%, що дає підставу використовувати цей метод як прискорений.

ВИСНОВКИ

Розроблений прискорений метод визначення морозостійкості силікатних будівельних матеріалів базується на встановленні критерію морозостійкості, який обчислюють за водопоглиненням та міцністю на стиск у водонасиченому стані. Грунтуючись на порівнянні результатів численних випробувань зразків на морозостійкість стандартним методом з визначеними за результатами лабораторних випробувань критерієм морозостійкості, встановили відповідні співвідношення між кількістю циклів і критерієм морозостійкості C_F . Запропонований метод характеризується підвищеною оперативністю, економічністю і малою трудомісткістю. Крім того, він забезпечує результати з досить високою точністю, розбіжність з базовим методом – 5,3%.

РЕЗЮМЕ. Проанализированы существующие базовые и ускоренные методы определения морозостойкости строительных материалов и показано их преимущества и недостатки. Предложен ускоренный метод, который позволяет определять долговечность камня с наименьшей трудоемкостью и высокой оперативностью. Он основан на введении критерия морозостойкости, который рассчитывают по водопоглощению (mass%) и прочности на сжатие в водонасыщенном состоянии. Полученные результаты хорошо коррелируют с известными базовыми и ускоренными методами.

Ключевые слова: морозостойкость, силікатные и керамические строительные материалы, водопоглощение, прочность на сжатие, критерий морозостойкости.

SUMMARY. The available basic and accelerated experimental methods of determining the frost resistance of silicate building materials and ceramic products are analyzed. The technique of accelerated determination of the frost resistance of silicate building materials without direct freezing and thawing of samples is developed. This technique allows us to determine the durability of stone with minimum labor consumption and high efficiency. The method is based on the determination of the criterion of frost resistance C_F , which is calculated by the value of water absorption (mass%) and compression strength in the water-saturated state. The obtained results correlate well with the basic and accelerated methods.

Keywords: *frost resistance, silicate and ceramic building materials, water absorption, compression strength, criterion of frost resistance.*

1. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів. – Введ. 18. 03. 1997.
2. ДСТУ Б В.2.7-47-96. Бетони. Методы определения морозостойкости. Общие требования. – Введ. 01.01.1997.
3. ДСТУ Б В.2.7-50-96. Бетони. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости. – Введ. 01.04.1997.
4. ДСТУ Б В.2.7-51-96. Бетони. Структурно-механический метод ускоренного определения морозостойкости. – Введ. 01.04.1997.
5. ГОСТ 26134-2016. Бетоны. Ультразвуковой метод определения морозостойкости. – Введ. 01.07.2017.
6. Liisma E. and Raado L. M. Internal and external damages of concrete with poor quality of coarse limestone aggregate // Europe towards Sustainable Building 2013: Sustainable Building and Refurbishment for Next Generations. – Prague, 2013. – P. 1–4.
7. Evaluation of the critical air-void system parameters for freeze-thaw resistant ternary concrete using the manual point-count and the flatbed scanner methods / M. Radlinski, J. Oleic, Q. Zhang, and K. Peterson // ASTM Int. – 2010. – 7, № 4. – P. 64–85.
8. Антонова М. В., Глушко Д. В., Беляева С. В. Сравнительный анализ Европейской и Российской технической документации строительных материалов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 4 (19). – С. 34–50.
9. Test methods of frost resistance of concrete: CIF-Test: Capillary suction, internal damage and freeze thaw test – Reference method and alternative methods A and B – Materials and Structures / M. J. Setzer, P. Heine, S. Kasperek, S. Palecki, R. Auberg, V. Feldrappe, and E. Siebel // Matériaux et Constructions. – 2004. – 37. – P. 743–753.
10. Applicability of freeze-thaw resistance testing methods for high strength concrete at extreme -52.5°C and standard -18°C testing conditions / G. Bumanis, L. Dembovska, A. Korjakins, and D. Bajare // Case Studies in Construction Materials. – 2018. – 8. – P. 139–149.
11. Destructive and non-destructive assessment of the frost resistance of concrete with different aggregate – IOP / D. Kocáb, B. Kucharczyková, P. Daněk, T. Vymazal, P Hanuš, and R Halamová // Conf. Series: Mat. Sci. and Eng. – 2018. – 379, № 1. – P. 012–022.
12. МИ 2490-98 ГСИ. Материалы силикатные. Методика ускоренного определения морозостойкости по структурно-механическим характеристикам. – Введ. 01.08.1998.
13. ГОСТ 379-2015. Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия. – Введ. 01.10. 2015.
14. Пащенко О. Д., Шульга А. С., Валешко К. А. Контроль качества строительных материалов. – К.: Будівельник, 1985. – С. 61.
15. BS EN 206:2013. Concrete – specification, performance, production and conformity (+A1:2016) (incorporating corrigendum May 2014).
16. RILEM Technical Committee. TDC, CDF Test, Test Method for the Freeze-Thaw-Resistance of concrete with sodium chloride solution. – Germany, 2001. – 27 p.
17. Железобетонные конструкции: уч. пос. / Г. М. Грушевский, О. О. Иваев, С. К. Романов, В. В. Ходыкин. – Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2006. – 88 с.
18. Васильев А. С. Математическое моделирование и исследования композитных материалов в области предельной прочности: дис. ... канд. тех. наук. – Комсомольск-на-Амуре, 2016. – 163 с.
19. Нефтегазовая энциклопедия (К-П): в 3-х т. / Под ред. Ю. В. Вадецкого. – М.: Московск. отд. “Нефть и газ” МАИ, ОАО “ВНИИОЭНГ”, 2003. – 2. – 380 с.
20. ДСТУ Б В.2.7-248:2011. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. – Введ. 30.12.2011.
21. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Расчетное прогнозирование свойств и проектирование составов бетона. Уч. пос. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 386 с.

Одержано 18.11.2019