

3. Вайнберг А.И. Особенности применения метода статистических испытаний при оценке надежности и безопасности гидротехнических сооружений в рамках параметрической теории надежности // Наукowy вісник будівництва. Вип.47. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2008. – С.269-277.

4. Вайнберг А.И. Применение метода статистической параболлизации для оценки надежности и безопасности гидротехнических сооружений // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Зб.наук. праць. Вип.30. – Рівне: НУВГП, 2005. – С.38-57.

5. Векслер Ф.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. – СПб.: ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 2002. – 590 с.

6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк. 1998. – 576 с.

7. ДБН В.1.1-12:2006. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво в сейсмічних районах України. / Мінбуд України. – К.: ДП “Укрархбудінформ”, 2006. – 84 с.

8. Ермолаев Н.Н., Михеев В.В. Надежность оснований сооружений. – Л.: Стройиздат, 1976. – 152 с.

9. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.

10. СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 32 с.

11. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 40 с.

12. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений. – М.: Госстрой СССР, 1986. – 48 с.

13. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения / Госстрой России. – М., 2004. – 24 с.

14. Сольский С.В., Стефанишин Д.В., Финагенов О.М., Шульман С.Г. Надежность накопителей промышленных и бытовых отходов. – СПб.: ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 2006. – 302 с.

Получено 14.05.2008

УДК 678.049.92 : 691.421

В.А.ПАШИНСЬКИЙ, д-р техн. наук, О.С.ХМАРА

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОРОЗОСТІЙКОСТІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ

Обґрунтовується доцільність проведення досліджень морозостійкості кераміки на малих зразках і визначено необхідну тривалість циклу їх заморожування-розморозування. Отримано формули для оцінювання невизначеності непрямих вимірювань основних технічних характеристик будівельних матеріалів, які дозволили обґрунтувати вибір засобів вимірювань для проведення експериментальних досліджень морозостійкості.

Прогнозування довговічності стінових конструкцій за критерієм морозостійкості є актуальним завданням, при розв’язанні якого необ-

хідно враховувати залежності показників морозостійкості стінових матеріалів від ступеню насичення пор водою.

Проблема полягає в тому, що для отримання таких залежностей необхідно провести масові випробування на морозостійкість серій зразків при декількох контрольованих значеннях вологості. Враховуючи збільшення кількості циклів заморожування-розморозжування при неповному насиченні пор водою, а також потребу в отриманні статистичних характеристик показників морозостійкості, необхідно випробувати сотні зразків. Такий експеримент можна поставити лише на малих зразках кераміки (наприклад, розміром $2 \times 2 \times 2$ см). При цьому можна скоротити тривалість одного циклу заморожування-розморозжування порівняно зі стандартними [1] випробуваннями цілої цегли, але необхідно забезпечити більш точне вимірювання характеристик.

Нормативні документи [1, 2] не містять вказівок щодо тривалості циклів випробування малих зразків, але відомо [3], що швидкість зміни температури залежить від розмірів виробу. Час, необхідний для охолодження та прогрівання зразка, можна розрахувати за загальною методикою [3], але такі розрахунки є досить складним завданням, яке вирішується чисельними методами. В [4, 5] викладена загальна методика оцінювання невизначеності результатів непрямих вимірювань, на базі якої можна отримати робочі формули для прогнозування точності кінцевих результатів і таким чином вибрати оптимальні засоби вимірювання.

Мета даної роботи полягає в метрологічному обґрунтуванні способів і засобів вимірювання основних технічних характеристик у процесі випробувань малих зразків кераміки на морозостійкість. Для цього необхідно:

- експериментальним шляхом встановити час, потрібний для охолодження й нагрівання зразків кераміки обраного розміру;
- отримати формули для оцінювання невизначеності результатів непрямих вимірювань вологості, середньої густини та межі міцності при стиску;
- шляхом аналізу невизначеностей за отриманими формулами обрати засоби вимірювань, що забезпечать необхідну точність результатів.

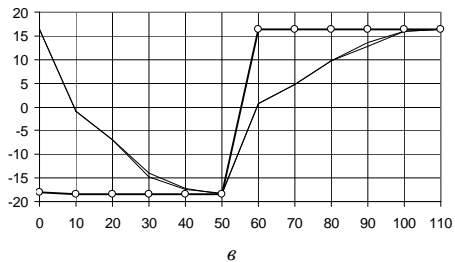
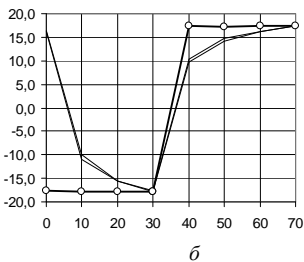
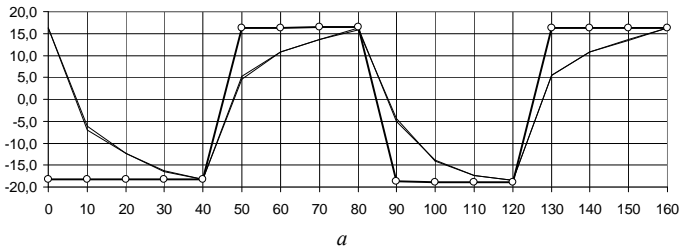
Необхідна тривалість циклу заморожування-розморозжування малих зразків встановлена експериментальним шляхом за наступною методикою:

1. Виготовлені два зразки з пористого цементно-піщаного розчину розміром $2 \times 2 \times 2$ см із закладеними в центри зразків хромель-копелевими термопарами. Після твердіння розчину зразки вису-

шені й упаковані в поліетиленову плівку, що відповідало умовам випробувань при фіксованій вологості.

2. Зразки поміщалися в морозильну камеру з температурою близько -18°C , після чого з інтервалом у 10 хвилин за допомогою потенціометра ПП-63 вимірювалися температури обох зразків та оточуючого повітря.
3. Після вирівнювання температури в серединах зразків (термопари 1 і 2) з температурою повітря в морозильній камері (термопара 3) охолодження зразків припинялося. Зразки виймалися з морозильної камери й починали нагріватися в повітряному середовищі лабораторії, причому кожні 10 хвилин також виконувалося вимірювання температури зразків та оточуючого повітря.
4. Аналогічні експерименти проведені також на сухих і насичених водою відкритих зразках (у цьому випадку розморожування відбувалося у воді).

Результати експериментів, проведених за викладеною методикою, наведено на рисунку, що відображає зміни температури у процесі заморожування-розморожування. Час, необхідний для вирівнювання температури зразків з температурою навколишнього середовища, визначає мінімально необхідну тривалість циклу випробування.



Зміни температури зразків у процесі заморожування-розморожування:
a – упаковані сухі зразки; *б* – відкриті сухі зразки; *в* – відкриті насичені зразки.

З рисунка, *a* видно, що графіки зміни температури обох зразків практично зливаються, а повторення циклу заморожування-відтавання дає ідентичні графіки з точністю 0,5 °С. Як охолодження, так і нагрівання зразків до температури середовища відбувається протягом 40 хв., тобто один цикл випробувань може дорівнювати 80 хв. Результати випробування відкритих сухих зразків (рисунок, *б*) показують, що відсутність упаковки поліпшує теплопередачу і зменшує мінімально необхідну тривалість циклу випробувань до 70 хв. Відкриті зразки, насичені водою (рисунок, *в*), потребують більшого часу для охолодження на повітрі та відтавання у воді. Це можна пояснити збільшенням теплоємності вологого матеріалу та маси зразка, насиченого водою.

Проведені дослідження дозволяють прийняти тривалість одного циклу випробувань малих зразків рівною 2 год. (1 год. заморожування і 1 год. відтавання). Така тривалість циклу достатня для випробувань сухих і насичених водою, упакованих і відкритих зразків. Порівняно зі стандартами [1, 2], якими встановлена 6-годинна тривалість циклу заморожування-розморожування, досягається прискорення випробувань у три рази. З фізичної точки зору це пояснюється меншою відстанню від поверхні до центра зразка (1 см замість 3,5 см), а також набагато більшим відношенням площі зовнішньої поверхні, через яку передається тепло, до об'єму зразка, який необхідно нагріти чи охолодити (0,554 1/см для цілої цеглини і 3,0 1/см для малого зразка).

Невизначеність результатів непрямих вимірювань технічних характеристик оцінюється на основі загальної методики [4, 5], яка базується на відомому методі лінеаризації функцій випадкових величин [6]. Прийнятий нами спосіб оцінювання невизначеності зводиться до такої послідовності дій:

1. Стандартні невизначеності вхідних параметрів (безпосередньо вимірних величин) визначаються шляхом статистичної обробки результатів вимірювань [6], або через ціну поділки приладу D . При рівномірному розподілі результату вимірювання середнє квадратичне значення вхідного параметра дорівнює

$$S_k = D / (2\sqrt{3}) = 0,3D . \quad (1)$$

2. Рівняння вимірювань, за яким обчислюють результат непрямого вимірювання Y через L вимірних вхідних параметрів X_k , записується у вигляді

$$Y = \varphi (X_1, \dots, X_k, \dots, X_L) . \quad (2)$$

3. За формулою (2) для кожного i -го дослідженого зразка обчис-

люються оцінки результуючого параметра Y_i через значення вхідних параметрів $X_{K,l}$, після чого визначається середнє та стандарт отриманої вибірки Y_i .

4. Сумарна невизначеність S_p результату непрямого вимірювання, обчисленого за рівнянням вимірювань (2), визначається шляхом його лінеаризації згідно із загальною формулою [4-6], яку зручно подати у вигляді:

$$S_p = \sqrt{\sum_{K=1}^L \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X_K} \right)_M^2} S_K^2, \quad (3)$$

де S_K – стандартна невизначеність вимірювання K -го вхідного параметра; L – кількість вхідних параметрів у формулі (2); $\left(\frac{\partial \varphi}{\partial X_K} \right)_M$ – частинні похідні рівняння вимірювань (2) за кожним із вхідних параметрів X_K при його середньому значенні M .

5. Підстановка до (3) конкретного рівняння вимірювань (2) дає робочу формулу для обчислення сумарної стандартної невизначеності S_p результату непрямого вимірювання шуканого параметра, обумовленої випадковими похибками вимірювань вхідних параметрів.

6. Порівняння обчисленого значення сумарної стандартної невизначеності з середнім значенням вимірюваного непрямым способом параметра якості або зі стандартом його природного статистичного розкиду дозволяє зробити висновок щодо точності виконаного непрямого вимірювання, а також встановити необхідні точності безпосередніх вимірювань вхідних параметрів.

7. Природна статистична мінливість досліджуваних технічних характеристик матеріалів, виробів чи конструкцій описується і враховується окремо.

Виходячи з викладеного вище загального рішення, було отримано робочі формули для обчислення сумарних невизначеностей результатів непрямих вимірювань середньої густини, вологості та межі міцності при стиску зразків кубічної форми, які наведено в табл.1.

У формулах табл.1 використані такі позначення: a , b , c – розміри ребер кубічного зразка; F – руйнуюче зусилля при випробуванні на стиск; m_c і m_H – маси сухого і вологого (насиченого водою) зразка; D_F , D_m , D_a – ціни поділок засобів вимірювання зусилля, маси та розмірів зразка.

Виходячи із закону нормального розподілу, імовірна відносна похибка при забезпеченості 0,9 (у 90% випадків похибка не перевищує

цієї межі) дорівнює

$$\Delta = 164 S/M (\%), \quad (4)$$

де M – середнє значення досліджуваного параметра; S – сумарна стандартна невизначеність його вимірювання за табл.1.

Таблиця 1 – Формули для обчислення сумарних невизначеностей технічних характеристик

Технічні характеристики	Рівняння вимірювань у формі (2)	Сумарна невизначеність технічної характеристики
Межа міцності при стиску	$R = \frac{F}{a \times b}$	$S_R = \frac{0,3}{a^3} \sqrt{a^2 D_F^2 + 2 F^2 D_a^2}$
Середня густина	$\rho = \frac{m_c}{a \times b \times c}$	$S_\rho = \frac{0,3}{a^4} \sqrt{a^2 D_m^2 + 3 m^2 D_a^2}$
Вологість (за масою)	$W = \frac{m_H - m_C}{m_C} \times 100\%$	$S_W = 30 \frac{D_m}{m_C^2} \sqrt{m_C^2 + m_H^2}$

Вибір засобів вимірювання здійснено шляхом аналізу імовірних похибок результатів. Значення основних технічних характеристик, необхідних для прогнозування невизначеності вимірювань, встановлені за результатами попередніх випробувань 112 кубічних зразків розмірами 2×2×2 см, вирізаних з облицювальної керамічної цегли. Гістограми розподілу мають симетричну форму, близьку до нормального закону розподілу, що робить правомірним використання формули (4). Статистичні характеристики досліджених параметрів наведено в табл.2.

Таблиця 2 – Результати попередніх випробувань кераміки

Технічні характеристики	N	M	S	V
Маса зразка, г	112	14,6	1,13	0,078
Середня густина, г/см ³	112	1,79	0,115	0,064
Водопоглинання за масою, %	112	17,4	1,37	0,079
Руйнуюче навантаження, Н	20	5580	1740	0,312
Межа міцності при стиску, МПа	20	13,95	4,40	0,316

За даними табл.2 для подальших розрахунків було прийнято такі значення технічних характеристик: маса зразка – 15 г, середня густина – 1,8 г/см³; водопоглинання за масою – 17%; руйнуюче навантаження при випробуваннях на стиск – 5600 Н = 560 кГс, межа міцності при стиску – 14 МПа = 140 кГс/см².

Невизначеність результуючих технічних характеристик проаналізована при використанні різних засобів вимірювання вхідних параметрів, а саме:

- розміри зразка можуть вимірюватися лінійкою з ціною поділки 1 мм або штангенциркулем з ціною поділки 0,1 мм;
- маса зразка може визначатися за допомогою технічних терезів з градацією важків 0,2 г або аналітичних терезів з ціною поділки 0,01 г;
- випробування на стиск проводяться на ручній універсальній випробувальній машині, яка на шкалі 1000 кгс має ціну поділки 5 кгс.

За таких умов відносні похибки оцінювання вхідних параметрів не перевищують 5% (розмір зразка при вимірюванні лінійкою). Стандартні невизначеності результуючих технічних характеристик, обчислені за формулами з табл.1, а також їх відносні похибки (4) наведені в табл.3.

Таблиця 3 – Результати оцінювання невизначеності вимірювань

Вимірювані технічні характеристики	Стандартна невизначеність	Відносна похибка
Середня густина (лінійка, технічні терези)	0,0493	4,49 %
Середня густина (штангенциркуль, технічні терези)	0,0089	0,81 %
Середня густина (штангенциркуль, аналітичні терези)	0,0049	0,45 %
Водопоглинання (технічні терези)	0,566	5,46 %
Водопоглинання (аналітичні терези)	0,028	0,27 %
Межа міцності (лінійка, РМ-5, на шкалі 1000 кгс)	3,204	3,75 %
Межа міцності (штангенциркуль, РМ-5)	0,492	0,58 %

Дані табл.3 показують, що при використанні лінійки та технічних терезів імовірні похибки визначення межі міцності, середньої густини та водопоглинання перевищують 3%, отже, ці засоби вимірювання не забезпечують достатньої точності результатів експерименту. Значно точнішими є результати вимірювання із застосуванням штангенциркуля та аналітичних терезів.

Висновки за результатами дослідження:

1. Масові експериментально-статистичні дослідження характеристик морозостійкості керамічної цегли доцільно проводити на зразках розміром 2×2×2 см.
2. На базі відомої загальної методики отримані робочі формули для оцінювання невизначеності вимірювань середньої густини, водопоглинання та межі міцності при стиску зразків кубічної форми.
3. Аналіз невизначеності результатів непрямих вимірювань вказаних технічних характеристик на малих зразках свідчить, що для утримання відносних похибок у межах 1% необхідно вимірювати роз-

міри зразків з точністю до 0,1 мм, а їх зважування виконувати за допомогою терезів з ціною поділки 0,01 г.

4. Експериментальні дослідження змін температури зразків у процесі випробувань на морозостійкість показали, що тривалість циклу заморожування-розморожування можна прийняти рівною 2 год.

1.ДСТУ Б В.2.7-42-97. Державний стандарт України. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.

2.ДСТУ Б В.2.7-61-97. Державний стандарт України. Будівельні матеріали. Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови.

3.Лариков Н.Н. Теплотехника.– М.: Стройиздат, 1985. – 432 с.

4.РМГ 43-2001. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение "Руководства по выражению неопределенности измерений".

5.Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

6.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576с.

Отримано 03.09.2008

УДК 69.2

В.П.СЕМЕНИХИНА

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ СКАТНОГО ПОКРЫТИЯ СОВМЕЩЕННОГО ТИПА

Выполнена разработка, расчет и анализ конструктивных схем покрытия над мансардами, позволяющие повысить эффективность работы ограждающей конструкции и снизить затраты на ее эксплуатацию и ремонт.

Актуальность данной работы обусловлена неудовлетворительным состоянием ограждающих конструкций над мансардами после нескольких лет эксплуатации. Конструктивные слои покрытия работают неэффективно в традиционно принятых схемах, что снижает гидро- и теплозащитные свойства ограждения. При этом помещения мансард требуют повышенных затрат энергоресурсов на поддержание заданных микроклиматических параметров жилых или офисных помещений.

Целью настоящей работы является разработка новых конструктивных схем скатного покрытия совмещенного над мансардами, конструктивные слои которого оптимально взаимодействуют между собой и с окружающей средой, что позволяет повысить защитные свойства ограждения и снизить затраты энергетических, материальных и трудовых ресурсов на ремонт покрытия.