

*В.М. Нуянзін, ад'юнкт, АПБ імені Героїв Чорнобиля,
С.В. Цвіркун, к.т.н., заст. нач. каф., АПБ ім. Героїв Чорнобиля,
В.І. Осипенко, д-р техн. наук, професор, АПБ ім. Героїв Чорнобиля,
С.В. Поздєєв, к.т.н., доц., нач. кафедри, АПБ ім. Героїв Чорнобиля*

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОЛОНИ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ВПЛИВУ ПРИРОДНИХ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ

(представлено д-ром техн. наук О.С. Беліковим)

Визначено коефіцієнт теплопровідності та питому теплоємність зістареного бетону залізобетонної колони з квадратним перерізом 300×300 мм виготовленої з важкого бетону класу В20 густиною $\rho = 2330 \text{ кг/м}^3$, яка знаходилась під впливом природних кліматичних факторів більше 30 років. Порівняно отримані значення зі з відповідними значення свіжого бетону.

Постановка проблеми. Все більшого розмаху в нашій країні набуває розбудова так званих «довгобудів», тобто будівель і споруд, будівництво яких було зупинено більше 20 років тому. Існуюча нормативна база не вимагає визначення вогнестійкості та несучої здатності будівельних конструкцій даних об'єктів. Залізобетонні будівельні конструкції, можуть тривалий час зберігати свої експлуатаційні якості, проте під дією агресивних факторів оточуючого середовища вони поступово змінюють свої фізико-хімічні та структурно-фазові властивості [1]. З часом зі зміною властивостей залізобетонних конструкцій, зміниться і їх вогнестійкість. Докладне вивчення характеру зміни вогнестійкості та несучої здатності залізобетонних будівельних конструкцій є актуальним для підвищення рівня пожежної безпеки при експлуатації будівель, зведених на їх базі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних даних показав, що питання зміни вогнестійкості та несучої здатності залізобетонних будівельних конструкцій після тривалого впливу агресивних кліматичних факторів вивчено недостатньо. В роботі [2] автор пропонує розраховувати зміну фактичної межі вогнестійкості залізобетонної конструкцій, враховуючи величину експлуатаційного навантаження, товщину захисного шару бетону, площу поперечного перерізу арматури чи її діаметр. Величину експлуатаційного навантаження розраховують на основі проектних даних, товщину захисного шару бетону визначають дослідним шляхом, а зміну

розмірів арматури - за допомогою поправочного коефіцієнта на корозію арматури (ω_γ), який в свою чергу визначається співвідношенням діаметру арматури при початкових (проектних) перерізах до діаметру арматури з врахуванням її корозії в умовах експлуатації. Недоліками даного методу, по-перше, є те, що він не дозволяє точно визначити величину втрати межі вогнестійкості будівельних конструкцій, оскільки враховані не всі фактори, що впливають на вогнестійкість, зокрема не враховано зміну теплофізичних та механічних характеристик бетону. По-друге, даний метод не враховує особливості експлуатації залізобетонних конструкцій та особливості клімату, які суттєво впливають на характер та швидкість зміни вогнестійкості залізобетонних конструкцій.

Постановка завдання та його вирішення. Методика дослідження властивостей зістареного бетону викладена в [3] дозволяє розраховувати значення вогнестійкості несучих залізобетонних будівельних конструкцій після тривалого кліматичного впливу. Згідно з викладеною методикою, було проведено вогневі випробування елемента залізобетонної колони з квадратним перерізом 300×300 мм виготовленої з важкого бетону класу В20 густиною $\rho = 2330 \text{ кг/м}^3$, яка знаходилась під впливом природних кліматичних факторів більше 30 років (рис. 1).



а



б

Рисунок 1 - Елемент залізобетонної колони квадратного поперечного перерізу розміром 300×300 (а), а також зразки для проведення експериментальної частини дослідження, які були вирізані з даного елемента колони (б)

Загальна схема випробування складалася з одnobічного нагрівання досліджуваного зразка у вогневій печі при стандартному температурному режимі нагрівання (рис. 1).

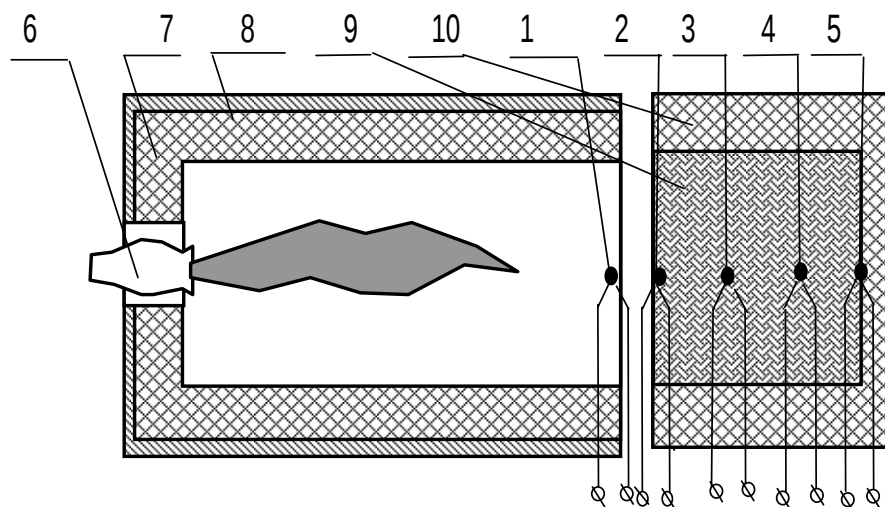


Рисунок 2 - Схема установки для визначення ТФХ зістареного бетону: 1-5 – термопары та їх розташування в досліджуваному зразку; 6 – пальник; 7 – футеровка; 8 – сталевий корпус; 9 – бетонний зразок; 10 – теплоізоляційний матеріал

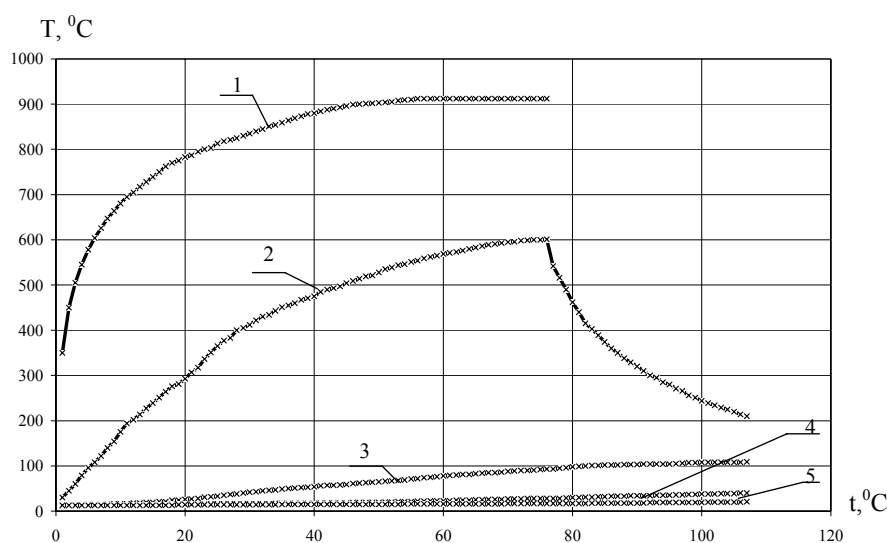


Рисунок 3 - Експериментально отримані значення температур в місцях розташування термопар (див. рис. 2) (типовий вигляд)

Залізобетонний зразок при вогневих випробуваннях був ізолюваний негорючою ізоляцією Rockwool, крім тієї сторони, що піддавалась нагріванню. Показання хромель-алюмелевих термопар у відповідності з [4, 5] знімалися з градуйованого комбінованого вимірювального пристрою через кожну хвилину в точках, зазначених на рис. 2.

За поданою методикою було проведено 3 випробування. За результатами дослідження отримані залежності температури від часу випробування, типовий вигляд яких поданий на рис.3.

Для визначення вогнестійкості зразка необхідно розв'язати теплотехнічну задачу, зв'язану з знаходженням температурного поля в перерізі елемента. Рішення задачі ґрунтується на розв'язку рівняння теплопровідності Фур'є, що дає залежність між температурою, часом та координатою та представлено у вигляді:

$$C_v(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda(T) \operatorname{grad}(T)), \quad (1)$$

де C_v – об'ємна теплоємність, що залежить від температури T , Дж/(м³·К); $\lambda(T)$ – коефіцієнт теплопровідності, що залежить від температури T , Вт/(м·К).

Тепловий процес нагріву та остигання залізобетонних елементів є нестационарним і для рівняння Фур'є застосовуються граничні умови III роду [3-5]

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_w = \alpha(T) (T_{\text{ext}} - T). \quad (2)$$

де α – коефіцієнт пропорційності, що називають коефіцієнтом теплообміну, Вт/(м²·град); T_{ext} - температура камери печі, °С.

Для рішення рівняння теплопровідності Фур'є необхідно визначити коефіцієнт теплопровідності $\lambda(T)$ та питому об'ємну теплоємність C_v зістареного бетону, що являються суттєво залежними від температури, тому рівняння Фур'є буде нелінійним. Для реалізації поставленої задачі було використано спеціальний ітераційний метод і програму, описану в [6], що дозволяє знаходити теплофізичні характеристики (ТФХ) як функції, що залежать від температури і одночасно одержувати розрахункові криві температур у точках розміщення термопар. Дана процедура рішення оберненої задачі теплопровідності (ОЗТ), дозволяє використати результати декількох випробувань одночасно (в нашому випадку 3). Така особливість даної методики дозволяє різко підвищити стійкість і точність рішення оберненої задачі, що вирізняє її на фоні інших.

$\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$

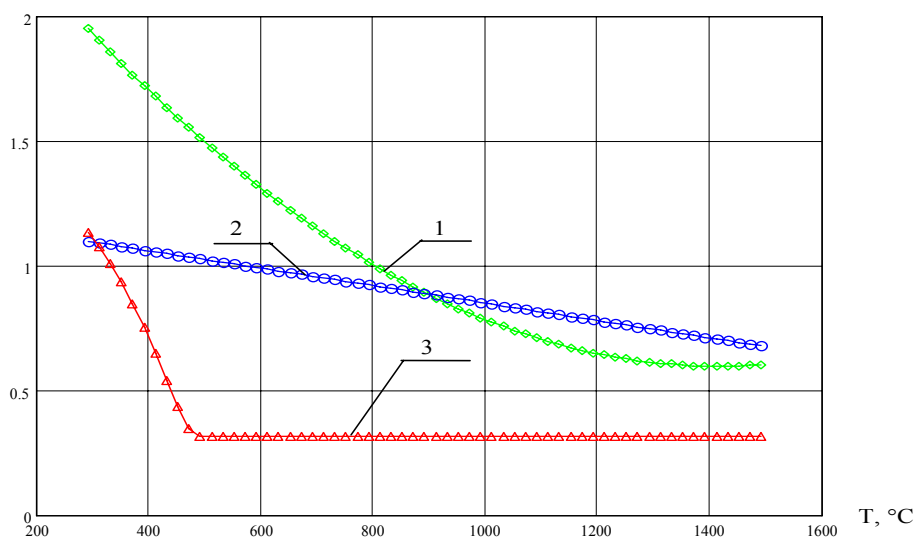


Рисунок 4 - Залежність ефективних коефіцієнтів теплопровідності зістареного (крива 3) (знайдені рішенням оберненої задачі) та свіжого бетону (крива 1, 2) від температури

В результаті розв'язку ОЗТ отримано значення коефіцієнта теплопровідності $\lambda(T)$ та питомої теплоємності C зістареного бетону (рис. 4, 5, крива 3).

$C, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$

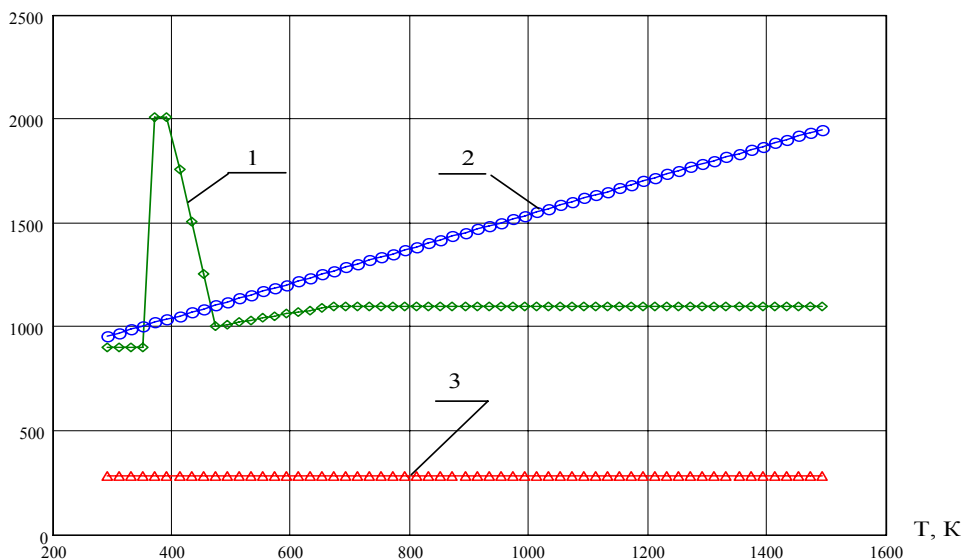


Рисунок 5 - Залежність питомої теплоємності зістареного (крива 3) (знайдені рішенням оберненої задачі) та свіжого бетону (крива 1, 2) від температури

На рис. 4, 5 представлено порівняння коефіцієнта теплопровідності та питомої теплоємності зістареного бетону (крива

3) з коефіцієнтами теплопровідності та питомої теплоємності свіжого бетону (крива 1-2). Коефіцієнт теплопровідності та питому теплоємність свіжого бетону було розраховано за даним наведеними в [7] (крива 1), що являються Європейським нормами щодо розрахунку конструкцій на вогнестійкості (4, табл. 1) та за даними наведені в рекомендаціях ВНДІПО (крива 2), що в свою чергу являються регламентуючими вітчизняними нормами (5). Вологість бетону приймалась рівною 3%.

$$\lambda(T) = 2 - \frac{0.2451 \cdot T}{100} + 0.0107 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (4)$$

Таблиця 1 – Формули для визначення теплоємності в залежності від температури

№ п/п	Вираз для визначення коефіцієнта теплоємності, Дж/кг·К	Температурний діапазон, °С
1.	$C(T) = 900$	$20 \leq T \leq 100$
2.	$C(T) = 2020 + (T - 100)$	$100 \leq T \leq 200$
3.	$C(T) = 1000 + \frac{(T - 200)}{2}$	$200 \leq T \leq 400$
4.	$C(T) = 1000$	$400 \leq T \leq 1200$

$$\lambda(T) = 1,2 - 0.00035 \cdot T, \quad C(T) = 710 + 0,83 \cdot T. \quad (5)$$

В нашому випадку ОЗТ розв'язується за допомогою багатократного рішення прямої задачі з підбиранням таких теплофізичних параметрів, при яких має мінімум цільовий функціонал середньоквадратичної нев'язки. Цільовий функціонал має такий вигляд [6]

$$\Phi = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [T_{iM} - T_{iE}]^2} = \delta, \quad (6)$$

де m – кількість просторово-часових контрольних точок; T_{iE} T_{iM} , - експериментальне та модельне значення температури в i -тій просторово-часовій контрольній точці, δ - задана точність.

В результаті розв'язку ОЗТ середньоквадратичне відхилення значень температур (експериментальних та розрахункових) склало 7,743 °С, що свідчить про достатньо високу збіжність отриманих експериментальних даних з розрахунковими. Порівняння

температурних кривих в місцях установки термопар Т3-Т5 (див. рис. 2) представлено на рис. 6.

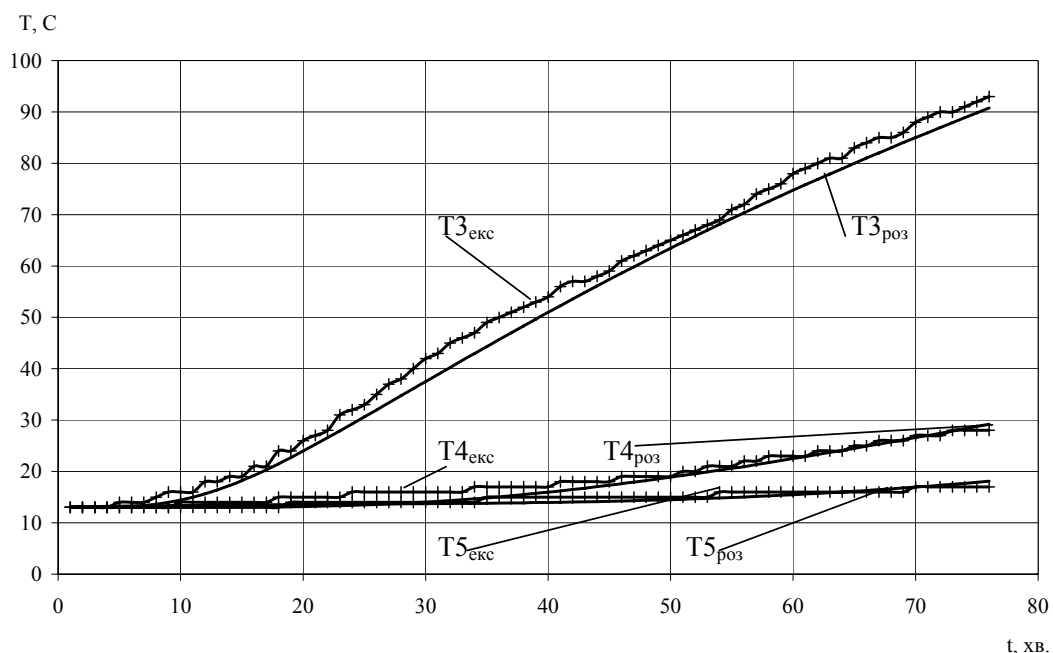


Рисунок 6 - Залежність експериментальних температур Т3-Т5 (суцільна тонка лінія) та розрахункових температур Т3-Т5 (штрихована лінія) від часу для досліджу вальних зразків

Висока збіжність значень температур (експериментальних та розрахункових), як видно з рис. 6, дозволяє нам використати отримані значення коефіцієнта теплопровідності та питомої теплоємності для подальшого рішення теплотехнічної задачі.

Висновки. Знайдено значення коефіцієнта теплопровідності та питомої теплоємності бетону залізобетонної колони з квадратним перерізом 300×300 мм виготовленої з важкого бетону класу В20 густиною $\rho = 2330 \text{ кг/м}^3$, яка знаходилась під впливом природних кліматичних факторів більше 30 років. Отримані значення коефіцієнта теплопровідності та питомої теплоємності відрізняються від відповідних значень свіжого бетону. Відмінність значень коефіцієнта теплопровідності та питомої теплоємності зістареного та свіжого бетону вплине на розподіл температур в перерізі колони при температурному впливі, що в свою чергу призведе до відмінності межі вогнестійкості досліджуваної будівельної конструкції від нормативної, тому подальші дослідження є актуальними та важливими.

ЛІТЕРАТУРА

1. Руфферт Г. Дефекты бетонных конструкций/ Пер. с нем. И.Г. Зеленцова; По ред. В.Б. Семенова. - М.: Стройиздат, 1987. - 111 с.
2. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука». 2001. – 382 с.
3. Поздеев С.В., Осипенко В.І., Поздеев А.В., Нуянзін В.М. Методика вивчення властивості бетону в умовах нагріву після штучного старіння.// Пожежна безпека: теорія і практика. Збірник наукових праць. Черкаси:АПБ. – Випуск 1.– 2008. – С. 94-98.
4. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. – Київ: Укрархбудінформ, 2005.
5. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. - 2000.
6. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса (Общий инженерный подход). - К.: НАНУ Институт технической теплофизики. 1998. - 224 с.
7. EN 1992-1-2:2004 “Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design” - European Committee for Standardization, Brussels 2004.

Стаття надійшла до редакції 19.03.2009 р.