

подальших дослідженнях доцільно уточнити гідротермічний режим у середній частині ВО при регулюванні скидання оборотної води.

1. Макаров И.И. Схема технического водоснабжения тепловых и атомных электростанций из крупных водоемов комплексного использования // Изв. ВНИИГ. – 1981. – Т. 153. – С. 9–18. 4. Шабалин А.Ф. Обратное водоснабжение промышленных предприятий. – М.: Стойиздат, 1972. – 296 с. 2. Макаров И.И. Соколов А.С., Шульман С.Г. Моделирование гидротермических процессов водохранилищ-охладителей ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 184 с. 3. А. с. 2162919 Россия, МПК Е 03 В 1/00, 7/04, В 05, В 1/34. Способ охлаждения циркуляционной воды в пруде-охладителе / Г.В. Виктор, Кобелев Н.С. (Россия). – № 9910829/03; Заявл. 07.05.99; Оpubл. 10.02.01. 4. А. с. 1112214 СССР, МПК 4 В 9/06. Способ охлаждения циркуляционной воды тепловой электростанции энергокомплекса / Ю.А. Ландау, Л.Л. Левицкий, В.М. Лятхер, А.Н. Милитеев (СССР). – № 3590893/24; Заявл. 13.05.83; Оpubл. 07.09.84, Бюл. № 33. – 4 с. 5. Макаров И.И., Каминеров Р.И. Водозабор из стратифицированных водоемов. – Л: Энергия, 1968. – 82 с. 6. А.с. 2023808 Россия, МПК Е 02 В 9/04, Е 02 В 8/08, Водозаборное сооружение / А.А. Чистяков, А.В. Новоайдарский, В.Н. Шкура (Россия). – № 5008148/15; Заявл. 02. 09.91; Оpubл. 30.11.94. 7. А. с. 868011 СССР, МПК Е 03 В 1/00 Обратная система водоснабжения / В.Я. Вайнберг (СССР). – № 93028377/06; Заявл. 24.05.93; Оpubл. 11.10.98. 8. Декларацийний пат. 60737 Україна, МПК 28В9/06. Спосіб охолодження оборотної води у водосховищі-охолоднику / М.П. Босак, В.В. Чернюк, В.М. Каращенко. – Заявл. 15.10.2003; Оpubл. 15.10.2003, Бюл. № 10.

УДК 624.012

С.С. Була

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ НА ПОВЕРХНІ БЕТОНУ ПРИ РІЗНІЙ ІНТЕНСИВНОСТІ МІСЦЕВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

© Була С.С., 2004

Описано дослідження щодо вивчення форми кривих розподілу температури під впливом місцевого температурного навантаження різної інтенсивності у зразках різної ступені вологості та викладені теоретичні передумови розв'язку температурної задачі. Проаналізовано процеси тепломасообміну в бетоні при теплових ударах.

The article is devoted to the investigations connected with the definition the shape and velocity of expending temperature during high-temperature point loading at concrete surface. Due to the decreasing of technological crashes caused by especial temperature loading from equipment to the structures, the problem of definition the internal intentions in building has to be solved.

Вступ. В будівельній практиці нерідко виникає питання оцінки надійності та довговічності конструкцій при дії температурних навантажень. Важливим аспектом даного питання є напружено-деформований стан конструкції під впливом навантаження. При дії на конструкцію температурних навантажень важливим параметром є інформація про розподіл температур в бетоні. Питання розподілу температур в бетоні є достатньо вивченим в праці [1]. Теоретичне вирішення цієї задачі виконується за допомогою рівнянь теплопровідності при заданих граничних умовах. Експериментальні дані щодо розповсюдження температури в бетоні дають змогу визначити певні теоретичні залежності.

Метою даного дослідження є визначення, аналіз та порівняння кривих розподілу температури в бетоні під впливом точкового температурного навантаження різної інтенсивності у бетонних зразках різної вологості.

Методика проведення дослідю. Точковий високотемпературний нагрів створювався за допомогою променя CO₂ лазера ІЛГН-703 та ІЛГН-709. Вимірювання температури проводилися за допомогою інфрачервоної камери SnapShot по всій поверхні зразка. Діапазон заміру температур становить від 0 до 500 °С. Час опромінення становив 5 хв. Відстань від лазера до поверхні зразка становила 50 см (ІЛГН-709) та 20 см (ІЛГН-703). Кубики виготовлялись в інвентарній металевій опалубці за заводською технологією та витримувались в умовах лабораторії до випробувань. У віці 28 діб частина кубів випробовувалась для визначення міцності при одноосьовому стиску, частина насичувалась водою за методикою ДСТУ Б.В.2.7-47-96, частина висушувалась за ГОСТ 12730.2-78. Після цього зразки зважувались з точністю ± 2 г для визначення середньої густини та вологості. Для виготовлення зразків використовувалися портландцемент Миколаївського заводу, щебінь гранітний фракції 5–20 мм Рокосовського кар'єру, пісок кварцовий Тростянецького кар'єру, вода водопровідна. Склад бетону визначався за ГОСТ 27006-86.

На температурне навантаження випробовувались по 2 куби з 3 серій з ребром 7 см з бетону класу В10. Кубики трьох рівнів вологості (0–1, 30–35, 99–100)% піддавалися температурному навантаженню різної інтенсивності від двох лазерів потужністю 30 мВт (ІЛГН-703) та 100 мВт (ІЛГН-709). В камеральних умовах були побудовані графіки кривих розподілу температури на поверхні зразка. Принцип дії інфрачервоної камери SnapShot є порівняно простим: інфрачервоне випромінювання від об'єкта через об'єктив попадає на інфрачервоний модулятор. Цей пристрій забезпечує переривання сигналу, що попадає на матричний піроприймач, з частотою 25 кадрів в секунду, де проходить перетворення теплового сигналу в електричний. Далі сигнал посилюється, перетворюється в цифровий сигнал, і передається на опрацювання в комп'ютер. У відповідності із заданою програмою комп'ютер "малює" термограми в псевдокольорах. Програмне забезпечення SnapView дає можливість побудови графіків з врахування різних параметрів: приведенного коефіцієнта степені чорноти матеріалу, температури фону тощо.

Окрім інфрачервоної камери температура на поверхні зразка вимірювалась за допомогою температурного пірометра Photographic Infrared Thermometer (рис. 2). Температура на поверхні куба вимірювалась в характерних точках з вказаною почерговістю (рис. 1). Інтервал часу між виміром температури в кожній точці складав 3 сек. Температура поверхні бетону в контрольній точці відображалась на дисплеї пірометра та фіксувалась в журналі спостережень. Використання пірометра було зумовлено обмеженістю довжини хвилі, а отже і максимальною температурою, що сприймає інфрачервона камера – не більше 500 °С.

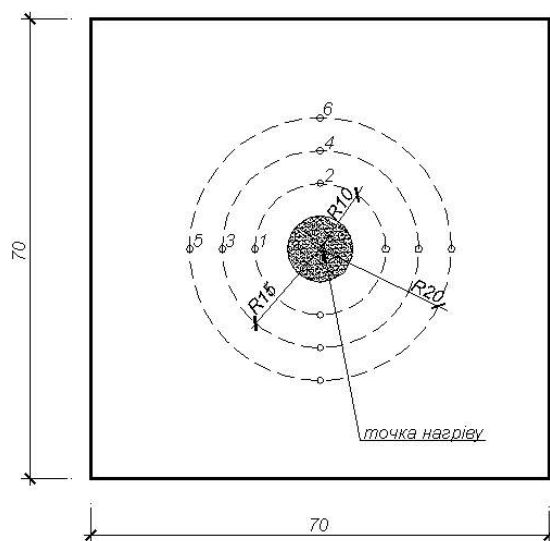


Рис. 1. Схема температурного навантаження

Максимальна температура, що сприймає пірометр складає 1000 °С. Принцип роботи пірометра є подібним до вищезгаданого принципу роботи інфрачервоної камери. Програмне забезпечення дозволяє будувати залежність зміни температури в часі в контрольних точках. Лазерний приціл дозволяє з достатньою точністю навести пірометр на необхідну точку.



Рис. 2. Вимірювання температури за допомогою пірометра

Результати експериментальних досліджень. Крива розподілу температури будувалася по центральній осі зразка (точки 1, 3, 5) при різних рівнях навантаження на першій хвилині місцевого температурного нагріву. Криві розподілу для зразка з вологістю $W = 100\%$ зображено на рис.3. Верхня крива відповідає розподілу температури на поверхні зразка від більш потужного джерела випромінювання (100 мВт). Нижня – від менш потужного (30 мВт). Вісь абсцис відповідає поверхні зразка-куба із стороною 70 мм. Вертикальні лінії на графіку є межами плями нагріву, що має еліпсоподібну форму і в даних дослідженнях становить 8–10 мм (потужність джерела нагрівання 100 мВт) та 5–6 мм (потужність джерела 30 мВт). Такі ж графіки були складені для зразків вологістю 0 % та 30–35 % (рис. 4 та 5 відповідно).

Аналізуючи наведені графічні залежності можна зробити висновки про особливості розподілу температури на поверхні зразків різного ступеня вологості. Як видно з графіків, вологість має значний вплив на розподіл температурних полів. Характерними з даної точки зору є температура в точках на відстані 10 мм від центра температурного навантаження (т. 1, рис.1). У водонасиченому зразку вона становить 789 °С, у висушеному - 589 °С, у зразку нормальної вологості – 897 °С (при потужності джерела нагріву 100 Вт). Якщо прийняти до уваги той факт, що температура на межі плями нагріву (5 мм від центру прикладання температурного навантаження) є у всіх випадках майже однаковою (коло 900 °С), то найбільшому градієнту температур піддається висушений зразок, найменшому – нормальної вологості. На відстані 15 мм від центра температурного навантаження (т. 3, рис. 1) температура у зразках вологістю $W = 100\%$, $W = 0\%$, $W = 30\text{--}35\%$ складала відповідно 517, 189, 565 °С. Як видно, така картина розподілу зберігається.

Явище такого розподілу температур можна пояснити з точки зору наявності та міграції вологи в капілярно-пористому тілі, яким є бетон. Зокрема, описані явища співставляються з теорією яка викладена в [3].

З початком інтенсивного нагріву при точковому температурному навантаженні бетонного елемента починається сильне випаровування води в поверхневому шарі бетону. Значна частина пари знову конденсується на наступних ще не нагрітих поверхнях бетону. Такий процес відбувається до тих пір, поки між висушеною зоною та тілом бетону не утвориться насичений шар з пари, яка випаровується при нагріванні. Коли тиск насиченої пари не дозволить волозі далі

рухатися в тіло бетону вона мігрує назад до поверхні нагріву. Якщо тиск насиченого шару не перевищить межу міцності бетону, розтріскування не відбувається і випаровування стримує розповсюдження температури на поверхні, відбираючи значну кількість тепла, яке могло йти на нагрівання бетону.

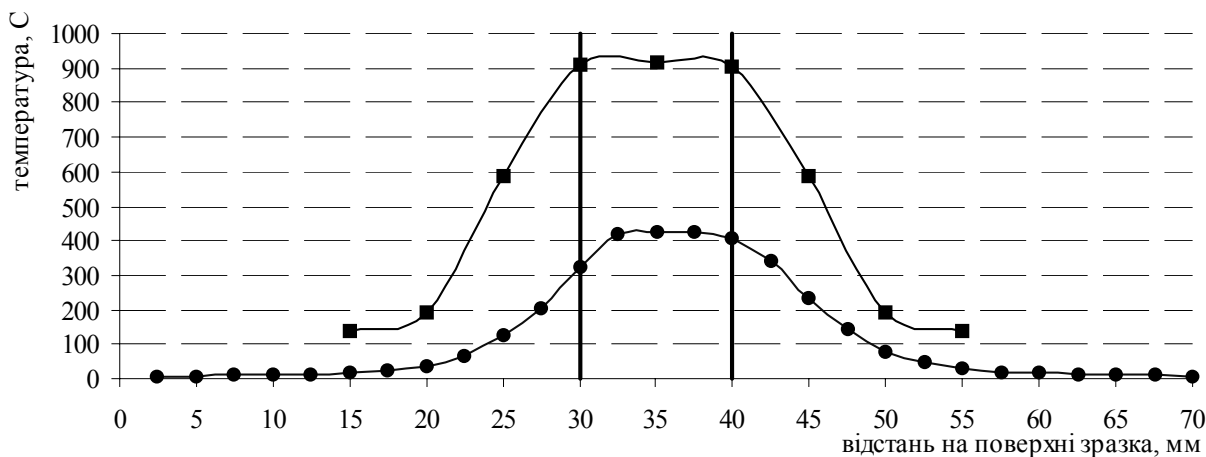


Рис. 3. Розподіл температури по поверхні зразка з вологістю $W = 100\%$:
 —●— при потужності випромінювання 30 Вт; —■— те саме, при 100 Вт;
 — границя плями нагрівання

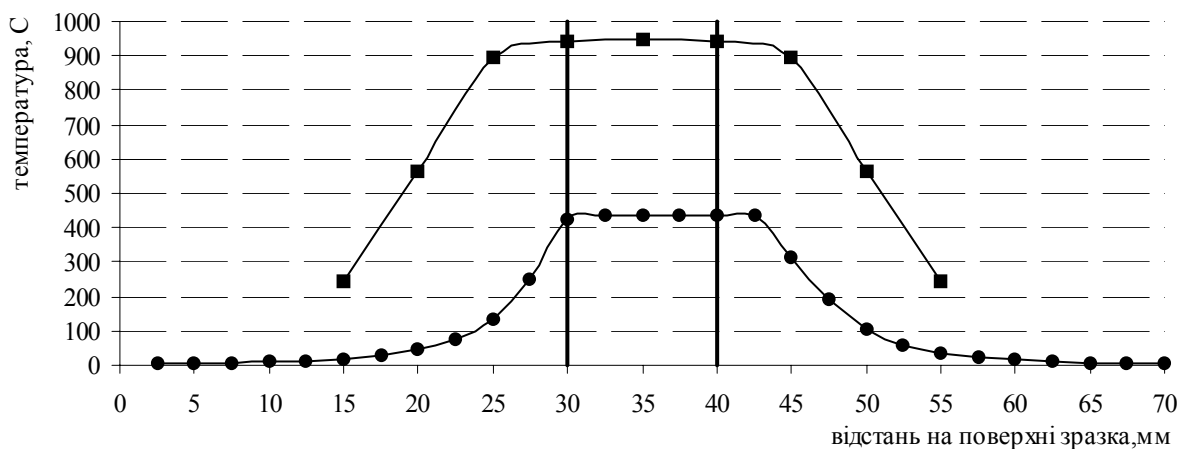


Рис. 4. Розподіл температури по поверхні з вологістю $W = 0\%$:
 —●— при потужності випромінювання 30 Вт; —■— те саме при 100 Вт;
 — границя плями нагрівання

За умовою проведення експерименту зразок піддавався місцевому високотемпературному навантаженню і дії різкого градієнту температури, що викликає значні напруження, тобто мало місце явище теплового удару. При швидкому нагріві виникають поверхневі стискуючі напруження і руйнування поверхні може відбутися через викришування, проте можливий випадок, коли мають місце деструктивні процеси всередині елемента від розтягуючих напружень. Значення вищезгаданих напружень залежить від часу нагріву та теплопровідності матеріалу. Якщо матеріал має погані теплопровідні властивості, то дія теплового удару впливає лише на поверхневі волокна, найближчі до поверхні. В такому випадку виникають поверхневі стискуючі зусилля, але вони можуть і не викликати руйнування.

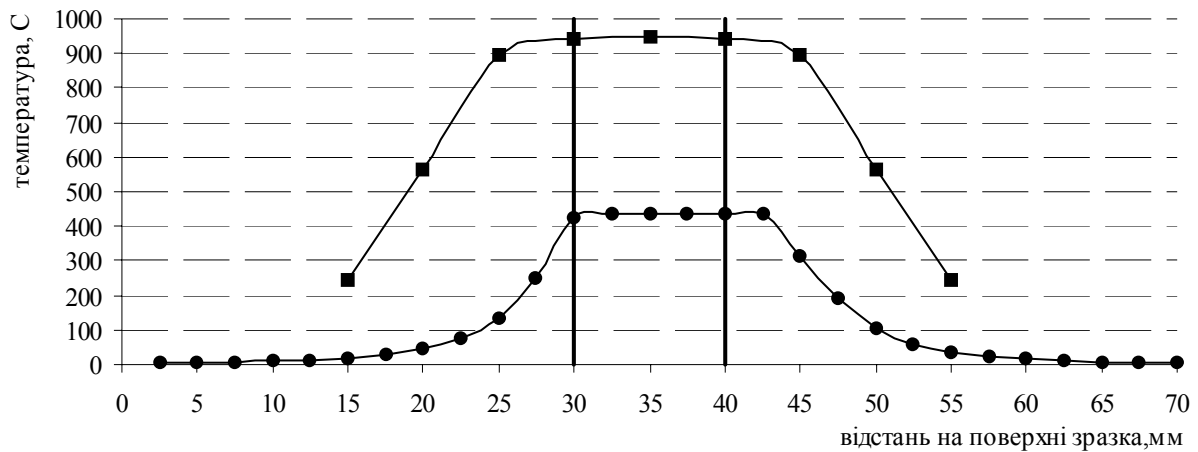


Рис. 5. Розподіл температури по поверхні зразка на поверхні з вологістю $W = 30\text{--}35\%$:
 —●— при потужності випромінювання 30 Вт; —■— те саме при 100 Вт;
 — границя плями нагрівання

Якщо матеріал є хорошим провідником, то хоча в певний момент стискуючі зусилля на поверхні будуть нижчими, проте стиску буде піддаватися більша кількість волокон, внаслідок чого розтягуючі зусилля в середній частині елемента будуть більшими. Отже, в певних умовах матеріал, що має хорошу теплопровідність з погляду теплового удару, є гіршим, ніж матеріал з гіршою теплопровідністю. Напруження в елементах під дією теплового удару також залежать і від часу нагрівання, тому потрібно зважати на призначення та умови застосування матеріалу, що може піддаватися тепловим ударами.

Суттєвим також є той факт, що фізичні властивості матеріалу, У цьому випадку виникає проблема визначення температурних полів при дії теплового удару як одного з основних факторів впливу на роботу конструкції загалом. Саме з цих міркувань було проведено випробування з зразками різного ступеня вологості для визначення та аналізу розподілу температурних полів по поверхні зразка.

Передумови теоретичного розрахунку розподілу температурних полів. Визначення температурних полів є задачею теорії теплопровідності. При цьому під температурним полем розуміють сукупність значень температури в досліджуваній області в певний момент часу [2]. Основним рівнянням теорії теплопровідності є диференціальне рівняння Фур'є

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{c\gamma} f(x, y, z, t), \quad (1)$$

де $a = \lambda / c\gamma$ – коефіцієнт температуропровідності; c – питома теплоємність; γ – густина матеріалу; λ – коефіцієнт теплопровідності; $f(x, y, z, t)$ – густина внутрішніх джерел тепла; x, y, z – прямокутні декартові координати.

Загальний розв'язок диференційного рівняння теплопровідності має безліч коренів, тому для розв'язання конкретних задач накладаються крайові умови, що обмежують їх кількість і приводять до єдиності розв'язання задачі теплопровідності. Відповідно до умов експерименту існує двовимірне однорідне температурне поле. У перші дві-три хвилини температурне поле при випромінюванні даного лазера є стаціонарним. Стаціонарне однорідне лінійне рівняння теплопровідності для двовимірного температурного поля подане в такому вигляді:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

Необхідно зауважити, що в загальному випадку рівняння теплопровідності при тепловому ударі може описуватись іншим рівнянням, залежно від конкретних умов температурного навантаження. Теоретичне визначення розподілу температур проводиться за допомогою числових методів шляхом інтегральних перетворень (принцип суперпозиції, метод розділення змінних, метод кінцевих різниць тощо), за допомогою ЕОМ. Рівняння (1) є лінійним, оскільки вважається, що коефіцієнт теплопровідності λ не залежить від температури.

Врахування ж цієї залежності призводить до нелінійності рівняння (1) і як наслідок до складності його розв'язання в математичній формі. При температурних навантаженнях залежність теплопровідності від температури за дослідженнями [3] є досить суттєвою і впливає на розподіл температурних полів як в глибині, так і на поверхні конструкцій.

Висновки. Враховуючи отримані дані, можна зробити висновок, що на першій хвилині тиск насиченої пари не досяг граничних значень, що призвело би до розтріскування бетону, а отже, і до збільшення температури нагрівання, і випаровування гальмувало нагрівання водонасиченого зразка порівняно з зразком нормальної вологості. Дослідження довели, що при даному температурному навантаженні з усіх трьох зразків найшвидше нагрівся зразок з вологістю $W = 30\text{--}35\%$, найповільніше – з вологістю $W = 0\%$. Відсутність фізично зв'язаної та вільної води в сухому зразку очевидно зменшили його загальну теплопровідність, а наявність вільної води у водонасиченому зразку зменшила швидкість його прогрівання порівняно із зразком нормальної вологості.

Криві розподілу температур меншої потужності мають таку саму форму, як і крива розподілу більшої потужності, що свідчить про сумісність експериментальних даних для двох джерел випромінювання.

Загалом дослідження показують, що отримані експериментальні результати потребують підтвердження теоретичними розрахунками температурних полів. Подальша робота буде спрямована на теоретичне підтвердження отриманих результатів з врахуванням впливу вологості на форму та швидкість розподілу температурних полів.

1. Милованов А.Ф. *Огнестойкость железобетонных конструкций при пожаре.* – М.: Стройиздат, 1986. – 223 с. 2. Плят Ш.Н. *Расчеты температурных полей бетонных гидросооружений.* – М.: Энергия, 1974. – 406 с. 3. Бартелеми Б., Крюппа Ж. *Огнестойкость строительных конструкций.* – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.