

1. ДСТУ Б В.1.1-4-98\* *Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.* – 2005. – 43 с. 2. Шналь Т.М. *Характеристика моделей розвитку пожеж [Текст] / Т.М. Шналь, І.П. Синенько, М.І. Стасюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва».* – 2011. – № 697. – С. 252–256. 3. *Моделирование пожаров и взрывов: [монография] / [Астахова И.Ф., Беляцкий В.П., Брушлинский Н.Н. и др.]; под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко; Ассоц. "Пожнаука". Пожар. безопасность и наука.* – М. : Ассоц. "Пожнаука", 2000. – 482 с. 4. *Математичне моделювання та дослідження термонапруженого стану огорджувальних конструкцій, обумовленого пожежею /*

*М.М. Семерак, Т.Б. Юзьків // Пожежна безпека: зб. наук. праць.* – Л.: ЛППБ, 2005. – № 7. – С. 128–132. 5. *Теплові потоки, зумовлені випромінюванням факела пожежі / М.М. Семерак, А.М. Домінік, А.В. Субота // Пожежна безпека: зб. наук. праць.* – Львів: ЛДУ БЖД, 2011. – № 19. – С. 131–136. 6. EN 1991-1-2 (2002). *Eurocode 1: Actions and Structures. Part 1-2: General Actions on Structures Exposed to Fire.* 7. Люценко В. І., Туяхов А. І., Саф'яніц С.М. *Вимірювання в енергетиці.* – Донецьк: Норд-Прес, 2008. – 352 с. 8. Прохоренко С., Кашипор К., Микитин І., Мац К., Возний М., Панас А. *Оцінювання рівня неоднорідності матеріалу шляхом аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження // Вимірювальна техніка та метрологія.* – 2012. – Вип. 73. – С. 41–44.

УДК 624.012, 621.317.3

## **ВИПРОБУВАННЯ БЕТОННИХ КУБІВ ТА ПРИЗМ З ТЕПЛОВІЗІЙНИМ СПОСТЕРЕЖЕННЯМ ЗРАЗКІВ ТА РЕЄСТРАЦІЄЮ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ РУЙНУВАННІ**

© Коваль Петро<sup>1</sup>, Солодкий Сергій<sup>2</sup>, Прохоренко Сергій<sup>3</sup>, Ковальчик Ярослав<sup>4</sup>, 2013

<sup>1</sup> Національна академія образотворчого мистецтва та архітектури, кафедра архітектурних конструкцій, вул. Смирнова-Ласточкина, 20, Київ

<sup>2,3</sup> Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів 79013,

<sup>2</sup> кафедра автомобільних шляхів, <sup>3</sup> кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,

<sup>4</sup> Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів та хімії, вул. Суворова 1, Київ, 01010.

koval\_pm@meta.ua, solodkyy@mail.ru, siergiej.prokhorenko@gmail.com, kovalchik\_yaroslav@ukr.net

*Розглянуто результати випробування бетонних кубів та призм на стиск з реєстрацією температури та сигналів тріщиноутворення акустичною емісією при руйнуванні зразків на пресі. Визначено можливість використання тепловізійного методу для технічної діагностики стану бетонних конструкцій.*

*Рассмотрены результаты испытания бетонных кубов и призм на сжатие с регистрацией температуры и сигналов трещинообразования акустической эмиссии при разрушении образцов на прессе. Определена возможность использования тепловизионного метода для технической диагностики состояния бетонных конструкций.*

*The results with registration temperature in the destruction of samples and crack acoustic emission signals of the test compression of concrete cubes and prisms presented on stand. The possibility of using thermal method for technical diagnostics of concrete structures shown.*

**Вступ.** У вітчизняній практиці під час обстежень залізобетонних конструкцій споруд для виявлення та фіксації дефектів а також для візуального спостереження за їх утворенням і розвитком використовують

візуальне спостереження, фотофіксацію тощо [1]. Але, використовуючи вищезгадані способи, не завжди можна виявити дефекти бетону й арматури в поверхневому шарі конструкції.

Для їх виявлення можна використати тепловізійний метод (IR-діагностика). Цей метод обстеження конструкцій є одним з сучасних методів оцінки стану конструкції споруди та визначення деяких її внутрішніх дефектів бетонування та армування, які важко виявити візуально [1]. Він полягає в аналізі тепловізійних зображень елементів конструкції з урахуванням різної температури матеріалу дослідної ділянки (рис. 1) [2].

Для реєстрації сигналів утворення та поширення мікротріщин у залізобетоні на різних етапах роботи конструкцій використовують акустичну емісію (АЕ) [3]. Прикладом застосування тепловізійного методу є дослідження поверхні попередньо напруженої плити прогонової будови моста [1].

На дослідній ділянці (рис.1) показано чітку різницю температури бетону та арматури, котра (з огляду на недотримання технології будівництва та робочої документації) опинилась назовні, без захисного шару бетону (зона-1). Також чітко спостерігається зона (зона-2) пошкодженого бетону з температурою, що відрізняється від температури нормального бетону.

**Метою цього дослідження** було визначення можливості реєстрації напружено-деформованого стану бетонних конструкцій тепловізійним методом під час їх руйнування. Зокрема, проведено практичну пе-

ревірку якості реєстрації тепловізійним методом процесів утворення та розвитку тріщин у залізобетонних конструкціях. Перспективним завданням було оцінювання доцільності використання IR-методики аналізу для здійснення технічної діагностики стану бетонних конструкцій, які працюють під навантаженням.

Температуру зразка фіксували тепловізійною камерою Fluke Ti25 (теплова чутливість (NETD) – 0.1°C при 30°C, інфрачервоний спектральний діапазон від 7.5 мкм до 14 мкм).

Дослідження з використанням методу тепловізії та акустичної емісії (АЕ) проведено під час руйнівного випробування (осьове навантаження) стандартних залізобетонних зразків без їхнього попереднього нагріву. Визначалось збільшення температури бетону в разі руйнування.

Виготовлено сім бетонних кубів розмірами 100×100×100 мм та три призми 100×100×400 мм з важкого бетону класу В30.

Випробування бетонних кубів та призм відбувалося на пресі МС-2000 згідно з нормами [4, 5] за схемами, вказаними на рис. 2, а, б. Рівень навантаження контролювали за шкалою преса (рис. 4).

Процес реєстрації сигналів АЕ у часі здійснювався притиснутим до вигладженої поверхні досліджуваного зразка широкопосмовим (0,5–1,5 мГц)

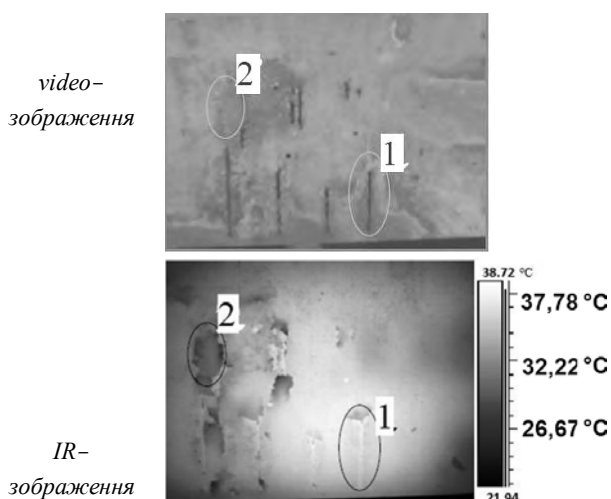


Рис. 1. Дослідна ділянка.  
1, 2 – різні зони дефектів [2]

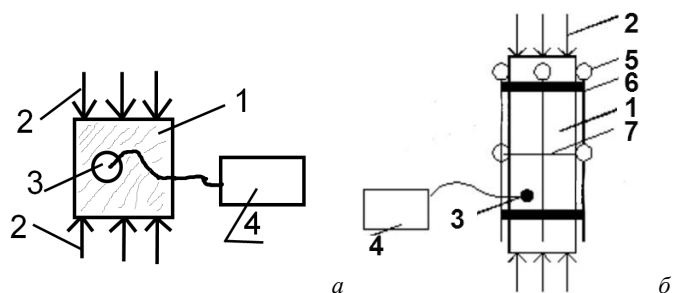


Рис. 2. Схема випробування на осьовий стиск:  
а – бетонного куба: 1 – дослідний зразок, 2 – прикладене зусилля; 3 – приймач АЕ; 4 – програмно-технічний комплекс “АКЕМ”;  
б – бетонної призми: 1 – зразок марки ПР; 2 – прикладене зусилля; 3 – датчик АЕ; 4 – програмно-технічний комплекс “АКЕМ”; 5 – мікроіндикатори; 6 – металева рамка для вимірювання поздовжніх деформацій; 7 – база з мікроіндикаторами для вимірювання поперечних деформацій





Рис. 4. Випробування призми П-2: а – загальний вигляд випробування (1 – прес з призмою, 2 – тепловізор з реєстратором відео, 3 – ПК «АКЕМ», 4 – шкала преса), б – відеозапис тепловізора, в – вигляд призми з мікроіндикаторами (5) та датчиком АЕ (6), г – вигляд розподілу температурного поля в момент перед руйнуванням, д – момент руйнування призми

акустичним сенсором. Дотримання вимог збереження акустичного контакту забезпечувалось стабільністю сили притиску та встановленням сенсорної головки на акустично прозору пасту. Підсилювали сигнал АЕ попереднім підсилювачем з чутливістю на вході 10 мкВ, частотним діапазоном 100–2000 кГц, коефіцієнтом підсилення 70÷90 дБ і з динамічним діапазоном 40÷65 дБ. Смуга зрізу фронту низьких частот 9 кГц. Попередньо нормований аналоговий сигнал надходив на встановлену плату DAQ L-154 для подальшої обробки за допомогою програмно-технічного комплексу «АКЕМ». Ця схема експерименту дала змогу синхронізувати процес реєстрації АЕ з динамікою зміни навантаження на досліджуваній зразок. Запис АЕ відбувся в один етап. Як характеристичний параметр представлено часову залежність параметра катастрофічності процесу ( $K_p$ ).

Міцність кубів на стиск вказана в таблиці. Під час руйнування бетонного куба К-4 виділення температура становила 2,64 °С (рис. 3). До випробування куба

температура становила 17,44 °С (рис. 3, б), після – 20,13 °С (рис. 3, в). Найбільше виділення тепла фіксувалось на частинках щебеню.

Куб	Міцність на стиск, т
К-1	41,7
К-2	39,8
К-3	43,1
К-4	39,6
К-5	38,8
К-6	40,9
К-7	42,8
Кубикова міцність бетону, МПа	38,9

Під час руйнування призми П-2 зареєстроване поверхнєве пікове виділення температури становило 1,5 °С (рис. 4, г). Після руйнування найбільша температура зафіксована також на частинках щебеню. На рис. 4 показано реєстрацію сигналів  $K_p$  під час ос-

таннього привантаження призми П-2 до її руйнування. Процеси тріщиноутворення ( $K_r > 6$ ) активно проходили після навантаження в 35 т.

**Висновки.** Зафіксовано виділення температури під час руйнування бетонних кубів та призм класу В30. Показано можливість поєднання енергетичних критеріїв АЕ руйнування зразків з виділенням температури при руйнуванні. Для остаточного поєднання необхідна достатньо напрацьована база випробування аналогічних зразків. Проведені дослідження свідчать про можливість використання тепловізійного методу після його доопрацювання для діагностики технічного стану бетонних конструкцій.

1. Лучко Й.Й. *Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів та конструкцій* / Й.Й. Лучко, П.М. Коваль, М.Л. Дем'ян. – Львів: Каменяр,

2001. – 436 с. 2. *Research Report/Project DTFH61-05-C-00008, Task No. 8 / Detection of voids in prestressed concrete bridges using thermal imaging and ground-penetrating radar* / David G. Pollock, Kenneth J. Dupuis, Benjamin Lacour, Karl R. Olsen, Washington State Transportation Center (TRAC), Washington State University, Department of Civil & Environmental Engineering, Pullman, WA 99164-2910, 2008. 3. Скальський В.Р. *Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій* / В.Р. Скальський, П.М. Коваль – Львів: Сполом, 2005. – 396 с. 4. ДСТУ Б В.2.7-223:2009 *Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій*. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 5. ДСТУ Б В.2.7-217:2009 *Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона*. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.