

14. ППБО 130-85. Правила пожарной безопасности для строящихся и ремонтируемых судов. – НПО «Ритм», 1986.
15. Правила классификации и постройки морских судов. Российский Морской Регистр судоходства. Том 1. Часть VI «Противопожарная защита». – С.-Пб.: РМРС, 1999.
16. Слєпченко В. К вопросу о конструктивной противопожарной защите судов, строящихся в Украине. Бюл. Пожежної безпеки. – К.: Академія наук пожежної безпеки України, 1999. - №1. – С.42-43.
17. Романчук Н.П., Мартыненко В.И., Рашковский А.С. Анализ национальных и международных требований к огнезащите судостроительных материалов. Зб. Наук. Праць УДМТУ. Миколаїв: УДМТУ.-2001. - №1 (373). – С.39-47.

УДК 691.32.699.81

Ю.Е.Павлюк (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

## ВПЛИВ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ БЕТОНІВ

У статті описана методика оцінки крихкого руйнування бетону при пожежі, мета дослідження, методика визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень при нормальному відриві  $K_{1C}$  та поперечному зсуві  $K_{1CS}$ . Дослідження проведені на взірцях двох видів бетону – важкому звичайному та керамзитобетоні і дозволяють виконати рекомендації по нормуванню коефіцієнтів інтенсивності напружень, котрі входять до формули визначення критерію крихкого руйнування бетону ( $K_{1C}$ ), та критеріїв, що використовуються при розрахунку залізобетонних елементів ( $K_{1C}$  та  $K_{1CS}$ ) з позицій методів механіки руйнування твердих тіл.

### І. Загальна оцінка крихкого руйнування бетону при пожежі

Дослідження, пов'язані з впливом високих температур на бетон та залізобетон проводяться у зв'язку з будівництвом атомних електростанцій, стартових ракетних майданчиків, покриттів злітних смуг аеродромів, вогнестійкості конструкцій у випадку пожежі.

Відомі результати широких досліджень, що стосуються зміни фізико-механічних характеристик бетону та його початкового напруженого стану на міцність та деформативність конструкцій та споруд в процесі підвищення температури [1-8].

Питання тріщиностійкості бетонних та залізобетонних конструкцій, що підлягають дії високих температур, в теперішній час не знайшли належного місця в дослідженнях.

Тенденція використання в будівництві арматурних сталей та бетонів з більш підвищеною міцністю, особливо з модифікованими структурами, здатних до крихкого, а не в'язкого руйнування, обумовлює постановку широких експериментальних досліджень по визначенню параметрів тріщиностійкості бетону та залізобетону.

В теперішній час розроблено багато нових видів бетонів різного складу та призначення (бетонів нової генерації) з використанням мінеральних домішок та хімічних добавок, особливо суперпластифікаторів. Тому питання оцінки крихкого руйнування цих бетонів є найбільш актуальними оскільки цей вид руйнування залежить від багатьох факторів: структури бетону, його складу, вологості, температури, граничних умов конструкції та зовнішнього навантаження, тобто він залежить як від бетону, так і від виду конструкцій та умов їх експлуатації.

Найбільше крихке руйнування бетону при пожежі спричиняють: власні температурні напруження, що виникають від градієнта температури по перерізу елемента, напруження від статичної невизначеності конструкцій, зовнішні навантаження та фільтрація пари через

структуру бетону. Особливо небезпечним є крихке руйнування бетону в тонкостінних конструкціях, несучих колонах, панелях нижніх поверхів і підвалів багатопверхових будівель.

Причиною крихкого руйнування бетону при пожежі є перехід вже існуючих до нагрівання та знову створених при нагріванні тріщин в структурі бетону з врівноваженого стану в невірноважений та спонтанний їх розвиток під дією напружень.

Крихкість бетону можна охарактеризувати величиною  $\Delta R_x$ , котра дорівнює різниці відносних напружень в параметричних точках по О.Я.Бергу [9] на діаграмі стану бетону, яку можна прийняти за характеристику крихкості бетону

$$\Delta R_x = R_{\text{Т}}^{\nu} - R_{\text{Т}}^0, \quad (1)$$

де  $R_{\text{Т}}^{\nu}$  і  $R_{\text{Т}}^0$ , відповідно, відносні напруження на початку утворення нових і на початку утворення магістральних тріщин.

Чим меншою є величина  $\Delta R_x$ , тим більша ймовірність крихкого руйнування бетону при пожежі. Отже, чим раніше в бетоні з'являться нові тріщини, тобто чим менша величина  $R_{\text{Т}}^0$ , тим бетон менш крихкий. Дослідження показали, що найбільш крихкою складовою бетону є цементний камінь. Заповнювачі знижують крихкість бетону, оскільки сприяють появі дрібних тріщин на стадії виготовлення, транспортування та зберігання конструкцій та перешкоджають розвитку крупних магістральних тріщин при зовнішніх навантаженнях та нагріванні.

При аналізі крихкого руйнування бетону при пожежі використовуються основні положення механіки руйнування твердих тіл [10]. В цьому випадку характеристикою бетону при його крихкому руйнуванні є коефіцієнт псевдопластичності напружень в гирлі тріщини, що дорівнює

$$K_{\text{Т}}' = K_{\text{Т}} + b, \quad (2)$$

де  $K_{\text{Т}}$  – коефіцієнт інтенсивності напружень однорідного матеріалу,  $\text{МН} \cdot \text{м}^{-3/2}$ ;  $K_{\text{Т}}'$  – коефіцієнт псевдоінтенсивності напружень неоднорідного матеріалу,  $\text{МН} \cdot \text{м}^{-3/2}$ ;  $b$  – позитивна функція, що враховує вплив заповнювачів в бетоні на розвиток тріщини (аналогічно впливу зони пластичності в пластичних матеріалах),  $\text{МН} \cdot \text{м}^{-3/2}$ .

Чим більше значення  $K_{\text{Т}}'$ , тим матеріал краще опирається тріщиноутворенню. Коефіцієнт псевдоінтенсивності напружень пропорційний характеристиці крихкості бетону і ці обидва показники пов'язані з ефективною поверхневою енергією та в'язкістю руйнування бетону.

Розрахункова модель руйнування бетону будується з використанням підходів механіки руйнування. В залежності від температури та вологості бетону капіляри, пори та тріщини можуть бути заповнені водою, парою чи льодом, що визначає поля напружень та деформацій в зонах перенапружень в їх вершинах.

Інтенсивність напружень, а також напружено-деформований стан бетону поблизу тріщин та капілярів визначається узагальненим критерієм тріщиностійкості

$$K_{\text{С}} = \sqrt{K_{\text{IC}}^2 + K_{\text{IIC}}^2 + K_{\text{IIIC}}^2}, \quad (3)$$

де  $K_{\text{IC}}$ ,  $K_{\text{IIC}}$ ,  $K_{\text{IIIC}}$  – коефіцієнти інтенсивності напружень відповідно при нормальному відриві, поперечному та поздовжньому зсувах.

Можливість крихкого руйнування бетону нормального твердіння при пожежі згідно [11] оцінюється критерієм, котрий визначається за формулою:

$$F = a \frac{\alpha_{bt} \cdot E_{bt} \cdot \rho \cdot W_0^3}{K'_1 \cdot \lambda \cdot \Pi} \quad (4)$$

де  $\alpha_{bt}$  - коефіцієнт лінійної температурної деформації бетону,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $E_{bt}$  - модуль пружності нагрітого бетону,  $\text{МН}/\text{м}^2$ ;  $\rho$  - щільність бетону в сухому стані,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $a$  - коефіцієнт пропорційності, що дорівнює  $1,16 \cdot 10^{-2}$ ,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{5/2} / \text{кг}$ ;  $K'_1$  - коефіцієнт псевдоінтенсивності напружень неоднорідного матеріалу,  $\text{МН} \cdot \text{м}^{-3/2}$ ;  $\Pi$  - загальна пористість,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності бетону,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $W_0^3$  - об'ємна експлуатаційна вологість бетону,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

За значенням критерію  $F$  встановлюється можливість крихкого руйнування бетону при пожежі. Так, при  $F \leq 4$  бетон не буде руйнуватися; при  $F > 4$ , але не менше 6 бетон може руйнуватися в конструкціях, що мають напруження стиснення від тривалого навантаження в крайньому стиснутому волокні бетону чи в елементах товщиною менше 4 см; при  $F \geq 4$  бетон буде руйнуватися. Висновок про можливість крихкого руйнування бетону при пожежі в не несучих конструкціях можна зробити також на основі середніх величин об'ємної критичної вологості бетонів, що обчислюється за формулою:

$$W_0^{kp} = \frac{cR_p^h \cdot \Pi}{\lambda \cdot (1 + 0,15 \frac{\sigma_{cm}}{\dots})} \quad (5)$$

де  $c$  - коефіцієнт пропорційності, що дорівнює  $0,58 \text{ Вт} \cdot \text{м} / \text{МН} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;  $R_p^h$  - нормативний опір бетону осьовому розтягуванню  $\text{МН}/\text{м}^2$ ;  $\sigma_{cm}$  - стискує розрахункове напруження від тривалого нормативного навантаження на поверхні конструкції, котра при пожежі може опинитися під впливом вогню,  $\text{МН}/\text{м}^2$ .

Якщо експлуатаційна вологість бетону  $W_0^3$  буде меншою за критичну по масі, помноженій на щільність бетону в сухому стані, то бетон не буде крихко руйнуватись.

Для практичної оцінки критерію  $F$ , поряд з фізико-механічними та теплофізичними характеристиками бетону, що змінюються в залежності від величини поточних температур, необхідно знати величини коефіцієнтів інтенсивності напружень. Згідно з [11] ці коефіцієнти орієнтовно приймають по табл.1, на основі досить обмеженої кількості експериментальних даних, причому без урахування впливу температури. Однак, на основі нечисленних дослідів В.В.Жукова та В.Ф.Гуляєвої [12], Г. Prokopskego [13], С.Н.Леоновича [14] однозначно встановлено, що коефіцієнт інтенсивності  $K_{1C}$  із збільшенням температури бетону значно знижується, тобто у формулі (4) його слід приймати диференційовано.

## 2. Мета досліджень та методика випробувань.

Метою досліджень, що проводяться автором, є уточнення характеристик та параметрів важкого бетону та керамзитобетону, що входять до формули (4) для оцінки критерію крихкого руйнування бетону та більш обґрунтованого їх призначення.

Якщо фізико-механічні та теплофізичні характеристики бетонів при підвищених та високих температурах вивчені досить повно, то банк даних про величини коефіцієнтів інтенсивності напружень бетону при підвищенні температури практично відсутній. З метою наповнення цього банку інформацією про коефіцієнти інтенсивності напружень  $K_{1C}$  та  $K_{1C}$ ,

були проведені експериментальні дослідження на збірках розмірів та схем випробувань, показаних на рис.1.

Дослідні збірці у вигляді кубів розміром 0,1x0,1x0,1 м з двома боковими надрізами-ініціаторами тріщин випробовувались за схемою позacentрового стиснення на пресі за допомогою двох опор з металевих брусків розміром поперечного перерізу 0,06x0,06 м. Величина коефіцієнта інтенсивності напружень при нормальному відриванні  $K_{IC}$  обчислювались за формулами [15] з використанням результатів досліджень:

$$K_{IC} = \frac{P}{Bd^{3/2}} \left[ 18,3 \left( \frac{a}{d} \right)^{1/2} - 430 \left( \frac{a}{d} \right)^{3/2} - 3445 \left( \frac{a}{d} \right)^{5/2} - 11076 \left( \frac{a}{d} \right)^{7/2} + 12967 \left( \frac{a}{d} \right)^{9/2} \right], \quad (6)$$

де  $P$  – руйнуюче навантаження, МН;  $B$  – товщина збірця, м;  $d$  – висота або ширина збірця, м; глибина надрізу, м.

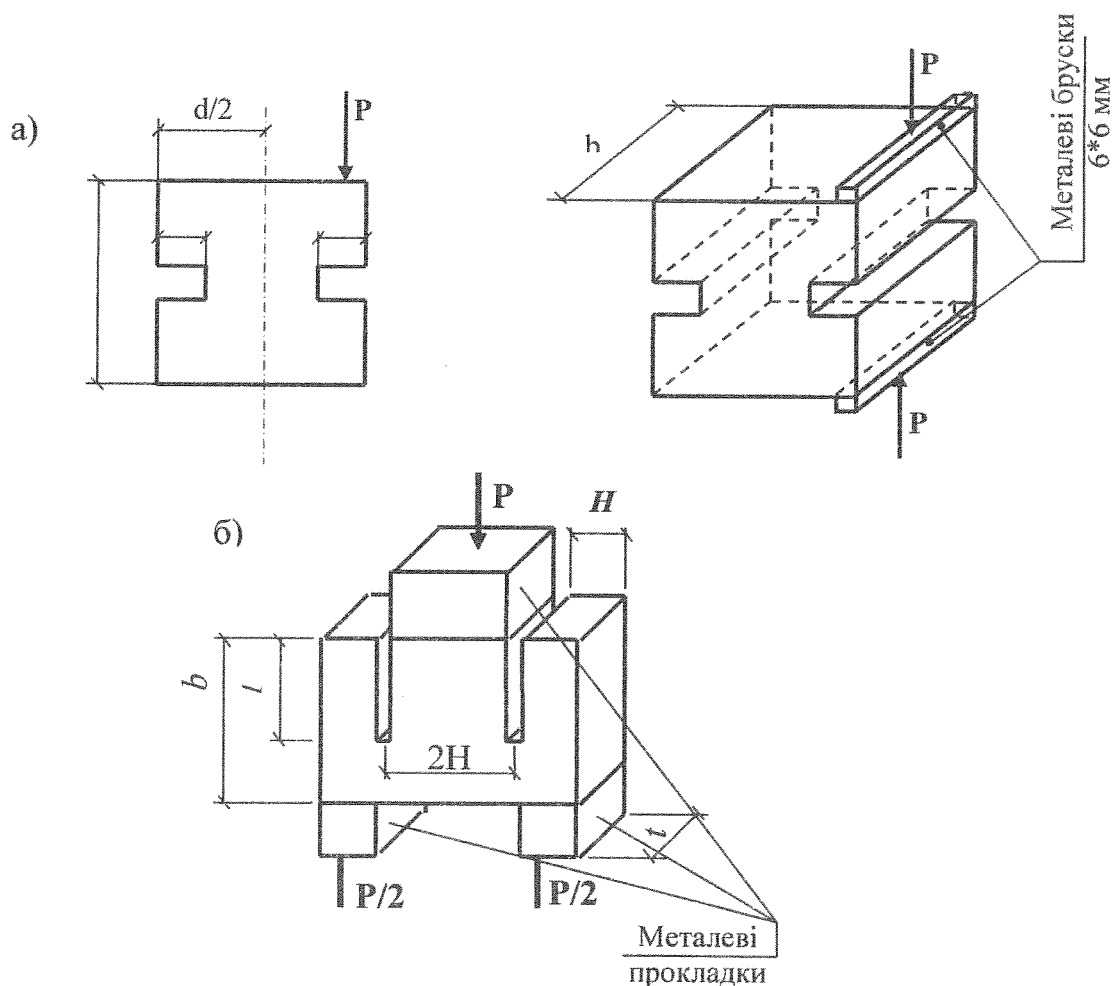


Рис.1. Розміри збірок та схеми випробувань збірок

Для визначення тріщиностійкості бетону при поперечному зсуві було взято збірку з двома штучними паралельними тріщинами, що випробовувались на зріз за допомогою опор та металевих прокладок. При цьому величина  $K_{IC}$  визначалась за формулою [16]

$$K_{IC} = \frac{P}{2tH} \sqrt{IY(l,b)}, \quad (7)$$

де  $Y(l,b)$  – поправочний коефіцієнт чи К-тарування;  $l,b,t,H$  - розміри взірця, показані на рис.1 б.

За результатами експериментальних робіт [18,19] доцільними рекомендуються розміри взірця  $b=0,15$  м,  $l=0,05$  м,  $t=0,05$  м,  $H=0,04$  м.

Величини  $Y(l,b)$  наведені в табл.1 для деяких значень ширини  $H$ . Слід відмітити, що методика, розроблена авторами роботи [17], єдина для визначення величини  $K_{IC}$ . Необхідність визначення коефіцієнта  $K_{II}$  викликана тим, що останнім часом розробляються методи розрахунку залізобетону за параметрами механіки руйнування [18,19].

Таблиця 1. Значення функції  $Y(l,b)$

l / b	Y (l, b)		
	0,037	0,025	0,012
0,1	1,20	1,10	1,07
0,2	1,26	0,99	0,90
0,3	1,30	0,95	0,76
0,4	1,32	0,95	0,65

На рис.2 показана схема дослідної установки для дослідження тріщиноутворення бетону в залежності від температури нагріву дослідних взірців. Температура в камері (2) створюється за допомогою електронагріву та автоматично контролюється за допомогою терморегулятора ЭВП2-11А (7) та потенціометра ЭВР-0,9МЗ (8).

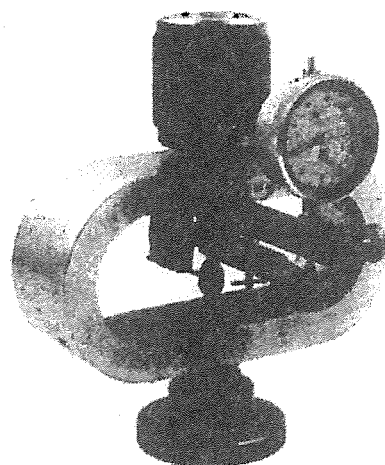
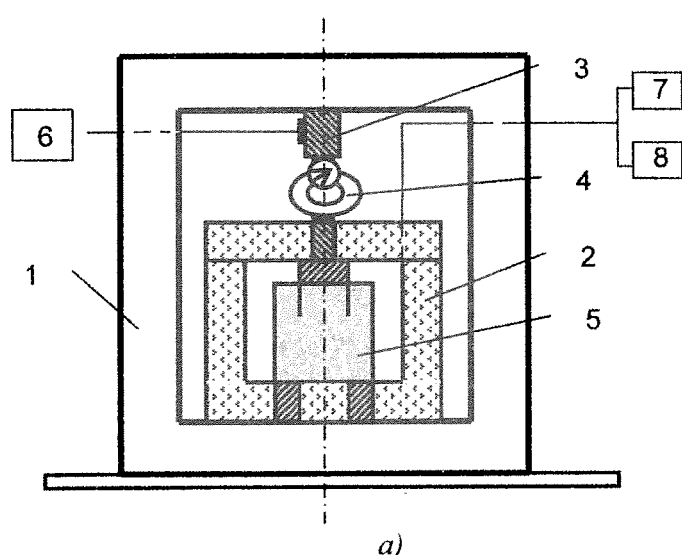


Рис.2. Схема установки для дослідження коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_{IC}$  та  $K_{II}$  (а) та загальний вигляд динамометра (б):

1- силова рама; 2- температурна камера; 3- гідродомкрат; 4- динамометр; 5- дослідний взірець; 6- насос; 7- регулятор температури ЭВП2-11А; 8- автоматичний потенціометр ЭВР-0,9МЗ

### 3. Характеристика матеріалів та бетону взірців.

В якості в'язучого при виготовленні дослідних взірців використовується портландцемент. Хімічний склад:  $C_3S$  – 51%,  $C_2S$  – 26,2%,  $C_3A$  – 7,8%,  $C_4AF$  – 13,5%. Мінералогічний склад:  $SiO_2$  – 21,35%,  $Al_2O_3$  – 7,38%,  $Fe_2O_3$  – 4,54%,  $CaO$  – 59,50%,  $MgO$  – 2,45%,  $SO_3$  – 1,52%, інші – 1,49%. В якості мінеральної гідралічної добавки при виготовленні портландцементу використовувалась опока – осадова гірська порода, котра складається в основному з дрібнозернистого та аморфного кремнезему з середньою щільністю 2350 кг/м<sup>3</sup>. Хімічний склад опоки, %:  $SiO_2$  – 82,  $Al_2O_3$  – 8,43,  $Fe_2O_3$  – 3,2,  $CaO$  – 3,55,  $MgO$  – 1,15.

Питома поверхня цементу (за приладом В.В.Товарова) складала 298 м<sup>2</sup>/кг, марка 400 (активність на 28-у добу – 40,9 МПа), тонкість помелу (залишок на ситі 008) – 86,5%.

В якості дрібного заповнювача використовувався кварцовий пісок з модулем крупності  $M_{кр} = 1,95$ , насипною щільністю 1530 кг/м<sup>3</sup>, пустотністю – 40,1% та щільністю зерен 2650 кг/м<sup>3</sup>.

Крупні заповнювачі – гранітний щебінь та керамзитовий гравій. Характеристика щебеню: розмір фракцій 5-10 мм, щільність – 2685 кг/м<sup>3</sup>, пустотність – 43%, подрібненість – 8%, вологість – 1,5%, водопоглинання за масою – 0,1%, міцність на стиснення – 142 МПа.

Характеристики керамзиту: розмір фракцій 5-10 мм, марка за насипною щільністю – 450 кг/м<sup>3</sup>, пустотність – 38,5%, подрібненість – 40%, вологість – 1,5%, водопоглинання за 1 год. – 12,4%, міцність на стиснення – 21,3 МПа.

Дослідні взірці виготовлялись на лабораторному обладнанні; ущільнення бетонної суміші виконувалось на вібромайданчику з навантаженням 0,1 МПа, твердіння – в камері нормального твердіння.

Всього було виготовлено 2 серії взірців з важкого бетону на гранітному щебені (серія ВБ) та легкого бетону на керамзитовому гравію (серія КБ), що призначались для випробувань при температурі 20-800 °С. Для кожної серії було виготовлено по 27 кубів з розміром грані 0,1 м з надрізами для визначення величини  $K_{IC}$  (рис. 3а) та взірців з розмірами, зображеними на рис.3б. Крім цього, для визначення початкових характеристик бетонів (при температурі 20 °С) та визначення характеристик при встановлених температурах з інтервалом 100 °С, були виготовлені по 6 кубів 0,1x0,1x0,1 м для визначення кубикової міцності ( $R_m$ ) та міцності бетону на розтяг при розколюванні ( $R_{bt}$ ) за методикою М.З.Симонова-Т.Г.Матузова [20, 1958], а також по 3 призми розміром 0,1x0,1x0,4 м для контролю призмової міцності ( $R_b$ ) та модуля пружності ( $E_b$ ). Склади бетонів та їх характеристики наведені в табл.2 та 3.

Таблиця 2. Витрата матеріалів на 1 м<sup>3</sup> бетону

Шифр серії	Витрата матеріалів, кг				Витрата води, л	В/Ц	Ц/В	$\gamma_{28}$ кг/м <sup>3</sup>	Вид бетону
	цемент	пісок	щебінь	керамзит					
ВБ	410	520	1190	-	185	0,45	2,23	2195	Важкий звичайний
КБ	500	305	-	402	230	0,46	2,17	1310	Легкий керамзитобетон

Таблиця 3. Характеристики бетону дослідних взірців при 20 °С

Шифр серії	Міцність бетону, МПа			Модуль пружності, МПа $E_b$	$K_{IC}$ , МН·м <sup>-3/2</sup>	$K_{Ics}$ , МН·м <sup>-3/2</sup>
	$R_m$	$R_b$	$R_{bt}$			
ВБ	35,4	30,2	2,11	32150	0,395	4,65
КБ	27,3	19,8	0,85	12500	0,322	3,57

### 4. Результати експериментів та їх аналіз

В табл.4 та 5 наведені результати розрахунків коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_{IC}$  і  $K_{Ics}$  за залежностями (6) та (7); на рис.3,4 – графіки залежності  $K_C = f(t)$ . У всіх випад-

ках спостерігається зниження величин коефіцієнтів як для взірців з важкого, так і з легкого бетону. Це зниження, відповідно, складало 40 та 55%, 30 та 45%. Таке значне зниження  $K_C$  можна пояснити деструктивними процесами, що протікають в структурі бетону при нагріві. На графіках (рис.3) має місце температурний перелом в діапазоні 100-150<sup>0</sup> С, котрий поділяє криву  $K_C = f(t)$  на дві ділянки, першу з інтервалом температур 20-150<sup>0</sup> С, другу – 150-800<sup>0</sup> С. На першій ділянці спостерігається інтенсивний вологоперенос, пов'язаний з явищами тепловологопровідності. При підвищенні температури інтенсивність випаровування з поверхні бетону знижується та з'являються мікронапруження (наслідок підвищеного тиску пари), а також значні мікронапруження, обумовлені температурними та вологісними градієнтами [6]. Поряд з власними напруженнями від усадки бетону, градієнтом температури по перерізу взірця та фільтрацією пари крізь структуру бетону діють напруження, викликані зовнішнім навантаженням.

На другій більш пологій ділянці проходить подальше зниження коефіцієнтів  $K_C$ , що супроводжується зниженням міцності бетону. Залежність  $K_C$  від температури як на першій, так і на другій ділянках має прямолінійний характер і може бути описана рівнянням прямої  $K_C = a - bt$ . Коефіцієнти „а” і „в” визначаються відомими методами математичної статистики та наведені в табл.6. Експериментальні значення  $K_{IC}$  та  $K_{IIC}$  отримані для інтервалу температур 20-800<sup>0</sup> С, тому вони є діапазоном, в якому дійсні встановлені прямолінійні залежності.

Зниження коефіцієнтів  $K_C$  та міцності бетону під дією температури пояснюється зростанням тангенціальних розтягуючих напружень спричинених збільшенням різниці коефіцієнтів температурного розширення цементного каменю та заповнювачів, яка найбільше проявляється в інтервалі температур 200-250<sup>0</sup> С.

При аналізі результатів використані також дані експериментів першого етапу досліджень автора, опубліковані в роботі [21]. Результати випробувань міцнісних та деформативних характеристик досліджуваних складів бетонів та їх аналіз, у зв'язку з обмеженим обсягом статті, будуть наведені в наступних публікаціях автора.

Таблиця 4. Величини коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_{IC}$ ,  $MH \cdot m^{-3/2}$ .

Шифр та номер взірця	Значення коефіцієнта $K_{IC}$ при температурі, <sup>0</sup> С								
	20	100	200	300	400	500	600	700	800
ВБ-1	0,384	0,254	0,211	0,184	0,173	0,165	0,154	0,138	0,123
ВБ-2	0,401	0,248	0,214	0,201	0,185	0,176	0,168	0,148	0,132
ВБ-3	0,400	0,245	0,223	0,209	0,190	0,172	0,160	0,141	0,128
КБ-1	0,319	0,147	0,160	0,137	0,118	0,112	0,112	0,096	0,083
КБ-2	0,325	0,138	0,150	0,130	0,125	0,118	0,107	0,098	0,088
КБ-3	0,321	0,137	0,148	0,132	0,121	0,112	0,095	0,093	0,077

Таблиця 5. Величини коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_{IIC}$ ,  $MH \cdot m^{-3/2}$ .

Шифр та номер взірця	Значення коефіцієнта $K_{IIC}$ при температурі, <sup>0</sup> С								
	20	100	200	300	400	500	600	700	800
ВБ-1	4,73	3,92	3,41	3,08	2,46	2,37	2,41	2,27	2,21
ВБ-2	4,60	3,59	3,06	2,73	2,32	2,21	2,15	2,07	1,99
ВБ-3	4,62	3,60	3,10	2,82	2,35	2,30	2,35	2,17	2,03
КБ-1	3,81	2,20	2,21	1,83	1,61	1,52	1,48	1,33	1,23
КБ-2	3,48	1,85	2,01	1,72	1,48	1,32	1,29	1,15	1,04
КБ-3	3,42	1,88	1,95	1,73	1,40	1,37	1,33	1,16	1,03

Таблиця 6. Величини емпіричних коефіцієнтів  $a$  і  $b$  в діапазоні 20-800 °C

Бетон	$\gamma_{28}$ , кг/м <sup>3</sup>	$K_{IC}$				$K_{IIC}$			
		Ділянка I		Ділянка II		Ділянка I		Ділянка II	
		a	b	a	b	a	b	A	B
Важкий	2195	0,40	0,0015	0,25	0,00015	4,7	0,010	3,7	0,0020
Легкий	1310	0,33	0,0019	0,15	0,00075	3,6	0,016	2,6	0,0019

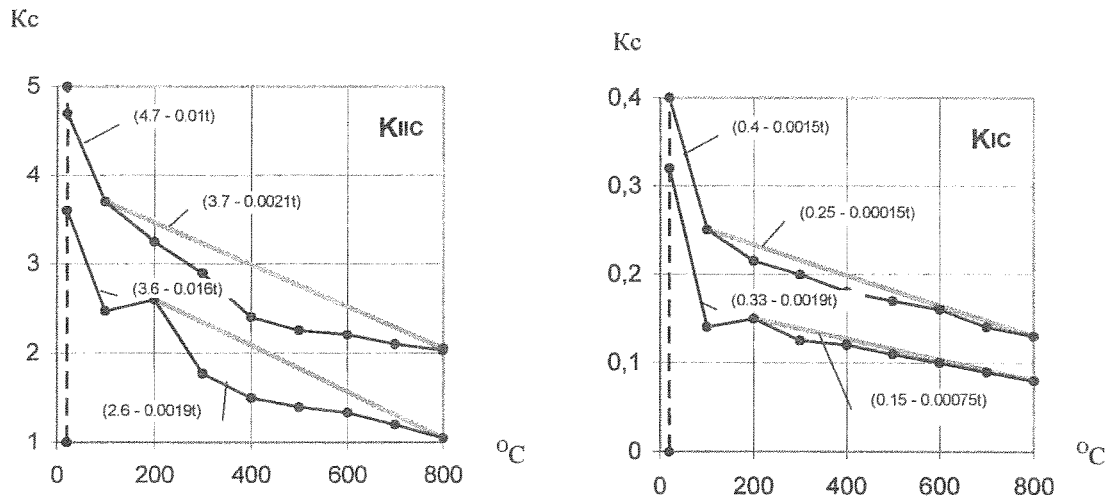


Рис.3 Залежність коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_{IC}$  та  $K_{IIC}$  від температури нагріву бетону.

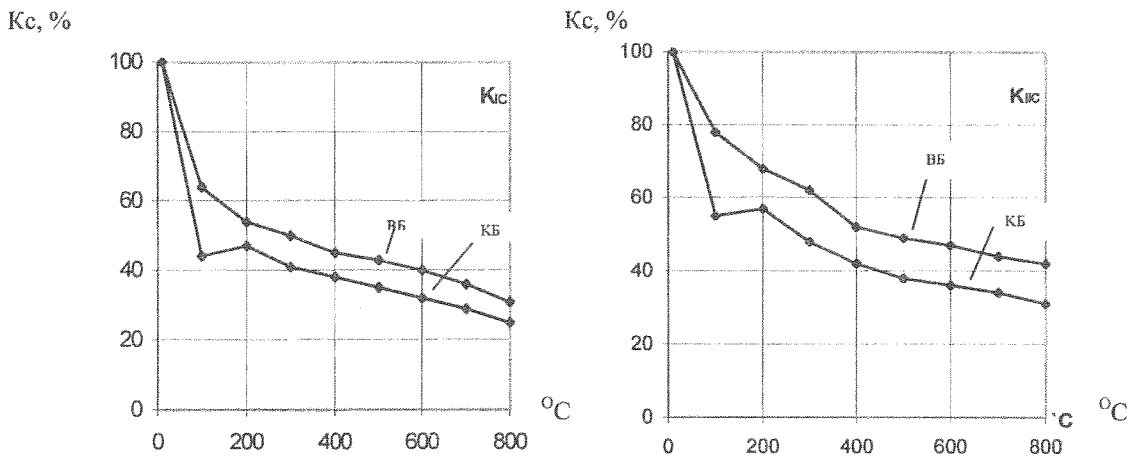


Рис.4. Відсоткове зниження коефіцієнтів  $K_{IC}$  та  $K_{IIC}$  в залежності від температури бетону



### Висновки

Аналіз результатів випробування зрізів з позицій механіки руйнування твердого тіла показав, що інтенсивний високотемпературний нагрів бетону під час пожежі призводить до розвитку присутніх в структурі та зародженню нових тріщин, до зменшення пружної енергії, що накопичується в бетоні до моменту його руйнування, зниження тріщиностійкості, міцності та модуля пружності при збільшенні загальної пористості бетону.

При 20 °С значення коефіцієнтів  $K_C$  залежить в основному від складу та міцності бетону. Збільшення В/Ц та концентрації цементного тіста призводить до зниження  $K_C$ . Із збільшенням концентрації наповнювача ступінь неоднорідності бетону збільшується, що з однієї сторони призводить до зниження його міцності, а з іншої – до збільшення в'язкості руйнування.

При підвищенні температури у всіх випадках знижувались коефіцієнти  $K_C$ , причому найбільше зниження спостерігалось в інтервалі 20-150 °С, що свідчить про тенденції бетону до крихкого руйнування при високих температурах.

При нагріві керамзитобетону однакового за міцністю з важким на гранітному щебеню спостерігалось більш інтенсивне зниження коефіцієнтів  $K_C$ . Це свідчить про більш низьку опірність до тріщиноутворення легкого бетону на керамзитовому гравію.

Що стосується аналізу результатів показників міцності та деформації досліджуваних складів бетону, то у зв'язку з обмеженим обсягом статті, це буде здійснено в наступних публікаціях автора.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Некрасов К.Д., Жуков В.В., Гуляева В.Ф. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур. – М.: Стройиздат, 1972. -128 с.
2. Жуков В.В. Основы стойкости бетона при действии повышенных и высоких температур : Дис... д-ра техн.наук: 05.23.05.- М., НИИЖБ, 1981.-437 с.
3. Шевченко В.И. Трещиностойкость и долговечность жаростойких бетонов: Автореф. дис... д-ра техн.наук: 05.23.05. НИИЖБ.-М., 1987.- 47 с.
4. Милованов А.Ф., Камбаров Х.У. Расчет железобетонных конструкций на воздействие температуры. – Ташкент: «Укитувчи», 1994.- 360 с.
5. Harmathy T. Effect of moisture on the fire endurance of building elements. Amer. Soc. For Testing and Materials, 1965, STP 385, p.74-94.
6. Kordina K., Schneider U. Zum mechanischen Verhalten von Normalbeton unter instationarer Wärmebeanspruchung. Beton, 1975, -N.1 – s.19-25.
7. Schneider U. Festigkeits und Verformungsverhalten von Beton unter stationarer und instationarer Temperaturbeanspruchung. Die Bautechnik, 1977, Heft 4,- s.123-132.
8. Schneider U., Diederich. Physikalische Eigenschaften von Beton von 20 C bis zum Schmelzen. Betonwerk + Fertigteil - Technik, 1981, Heft 3, - s.141-149; Heft 4,- s.223-230.
9. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. –М.: Госстройиздат, 1961. -96 с.
10. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. –М.: «Наука», 1974. -640 с.
11. Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от разрушения при пожаре. –М.: Стройиздат, 1979. -21 с.
12. Гуляева В.Ф., Гусева Е.И. Методика определения коэффициента интенсивности напряжений нагретого бетона. // Материалы семинара «Пути повышения огнестойкости строительных материалов и конструкций». – М.: Общество «Знание», РСФСР, 1982. –с.113-116.
13. Prokopski G. Analiza związku struktury z odpornością betonów na pękanie. – Czestochow: Wyd. Politechniki Czestochowskiej, 1990. -165 s.
14. Гузев Е.А., Леоневич С.Н., Милованов А.Ф., Пирадов К.А., Сейланов Л.А. Разрушение бетона и его долговечность. –Минск: Изд-во журнала «Тыдзень». – 170 с.
15. Swamy R.N. Linear elastic fracture mechanics parameters of concrete.// In: Fracture mechanics of concrete. Amsterdam. Elsevier, 1983. – p.441-461.

16. Партон В.З., Морозов Е.М. *Механика упругопластического разрушения*. –М.: «Наука», 1985.- 502 с.
17. Пирадов К.А., Гузев Е.А., Мамаев Т.Л., Абдуллаев К.У. *Критический коэффициент интенсивности напряжений железобетона // Бетон и железобетон*. – 1995.- № 5. с.12-14.
18. Пирадов К.А. *Расчет железобетонных элементов на основе методов механики разрушения : Дис...д-ра техн.наук: 05.23.01*. –М., НИИЖБ, 1995. -298 с.
19. Пирадов К.А., Гузев Е.А. *Механика разрушения железобетона*. –М.: НИИЖБ, 1998. -190 с.
20. Симонов М.Э., Матузов Т.Г. *Методика определения прочности бетона на сжатие и растяжение на бетонных призмах // Изв.вузов. Строительство и архитектура*.- 1958.- № 3. – с.17-23.

**УДК 621.315.592**

*Л.І. Ярицька, канд. ф.-м. н.*

*(Львівський інститут пожежної безпеки МНС України),*

*І. М. Матвійшин, к. ф.-м. н.*

*(Львівський Національний університет ім. Івана Франка),*

*С.С. Новосад, к. ф.-м. н.*

*(Львівський Національний університет ім. Івана Франка)*

## **КООРДИНАТНА ЧУТЛИВІСТЬ ФОТОВОЛЬТАЇЧНОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВІ ЙОДИСТОГО КАДМІЮ**

В роботі досліджено залежність розподілу генерованої електрорушійної сили кристалів йодистого кадмію, отриманих з різною орієнтацією зразків відносно кристалографічної осі  $C_6$ , від розміщення зондуючого рентгенівського променя. Виявлено, що максимальна електрорушійна сила спостерігається в центральній частині зразків з 45-градусним зрізом. На основі отриманих результатів зроблено висновок, що дані кристали можуть бути використані в якості детекторів електромагнітних випромінювань.

При загоранні об'єктів і появі полум'я значна частина енергії виділяється у вигляді електромагнітного випромінювання в широкому діапазоні спектра. На відміну від теплоти, звуку або світла, органи відчуттів людини не реєструють дії іонізуючих випромінювань і не можуть попередити про небезпеку опромінення. Тому для створення реєструючих пристроїв іонізуючих випромінювань актуальним є пошук матеріалів, чутливих до дії різних типів випромінювання, зокрема, у рентгенівській, ультрафіолетовій та видимій областях спектра.

Попередні дослідження фотоелектричних властивостей шаруватих кристалів йодистого кадмію показали, що на основі цієї сполуки можна отримувати детектори випромінювань із спектральною чутливістю 340-440 нм [1, 2]. В цих анізотропних кристалах, при опроміненні однієї із граней зразка світлом, з області власного і домішкового поглинання генеруються носії заряду, які мають складову міграції, паралельну до освітленої поверхні. Для вивчення можливості застосування кристала  $CdJ_2$  в якості позиційно чутливого приймача випромінювань важливим є дослідження розподілу генерованої іонізуючим випромінюванням електрорушійної сили (е.р.с.) вздовж зразка.

В даній роботі приведені результати дослідження координатної чутливості зразків, виготовлених з неактивованих кристалів  $CdJ_2$  у вигляді паралелепіпедів розміром  $6Ч10Ч12$  мм<sup>3</sup> з різною орієнтацією осі  $C_6$  до їх граней. Кут між кристалографічною віссю  $C_6$  кристалів, перпендикулярною до площин спайності, і нормаллю до опромінюваної поверхні зразка, змінювали в межах від 0 до 90 градусів. Дослідження проводили в поперечній конфігурації: вимірні електроди розміщувалися на бічних гранях перпендикулярно до напрямку