

С.Й.Солодкий, Р.В.Пархоменко\*, Р.С.Яковчук\*  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра автомобільних шляхів

\*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
кафедра ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

## ЗАЛЕЖНІСТЬ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНОГО БЕТОНУ ВІД ЧИННИКА ТЕМПЕРАТУРНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ

© Солодкий С.Й., Пархоменко Р.В., Яковчук Р.С., 2011

В статті наведені результати дослідження тріщиностійкості зразків бетону, що зазнали впливу температур від 200°C до 800°C. Представлені значення силових та енергетичних характеристик в'язкості руйнування та повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону після нагрівання їх до температур 200°C, 400°C, 600°C та 800°C. Побудовані усереднені повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону для зазначених температур.

**Ключові слова:** тріщина, тріщиностійкість, енерговитрати, повністю рівноважні діаграми деформування.

The article deals with the investigation results of fracture strength of concrete samples under the influence of temperature 200°- 800°C. The number of power and energy characteristics of destruction toughness and completely equal diagrams of deformation of concrete samples during their heating to 200°C, 400°C, 600°C and 800°C are considered. The averaged and completely equal diagrams of deformation of concrete samples are oriented for previously mentioned temperatures.

**Key words:** fracture, fracture strength, energy consumption, completely equal diagrams of deformation

**Вступ.** В Україні щорічно виникають десятки тисяч пожеж в будівлях та спорудах, так уже в першому півріччі 2011 року вогнем пошкоджено: 9690 житлових будинків, 393 торговельно-складські споруди, 231 споруду виробничого призначення, 240 соціально-культурних, громадських та адміністративних споруд та більше 5000 споруд іншого призначення. В нормативних документах [1, 2] зазначено, що за умови належної експлуатації споруд основні вимоги до них, в тому числі і щодо забезпечення пожежної безпеки, повинні виконуватися протягом обґрунтованого строку служби споруд з урахуванням передбачуваних впливів. Сьогодні можливість експлуатації конструкцій після пожежі визначають за певними основними та додатковими параметрами. Основні параметри: збереженість і ремонтпридатність, стійкість і залишкова несуча здатність конструкцій, відсутність аварійного стану; додаткові: залишкові деформації матеріалів у вигляді додаткових прогинів, кутів повороту і перекосів конструкцій, а також додаткові тріщини і збільшення ширини їх розкриття. Для оцінки технічного стану конструкцій використовуються суб'єктивні та об'єктивні методи діагностики [3]. До суб'єктивних методів діагностики належать візуальний огляд будівельних конструкцій та оцінка міцності бетону склерометричним методом – простукування молотком. Для об'єктивного технічного діагностування використовуються механічні, оптичні й електричні засоби вимірювання. Цими методами оцінюють стан конструкції на даний момент часу, а можливості передбачити термін надійної роботи конструкції не має.

**Постановка проблеми.** Тому проблема дослідження будівельних конструкцій, які зазнали впливу високих температур, щодо можливостей подальшої їх експлуатації залишається досить актуальною. Для вирішення цього завдання необхідно перейти від концепції руйнування бетону за

міцністю до концепції руйнування за довговічністю, яка враховує інваріантні константи бетону: енергію руйнування та критичні коефіцієнти інтенсивності напружень. За цими параметрами можна оцінити кінетику розвитку тріщин під час силових і несилових впливів до критичного рівня, тобто визначити довговічність бетону [4].

Для дослідження бетонних конструкцій, що зазнали впливу високих температур, так як вони схильні переважно до руйнування через поширення дефектів типу тріщин, пропонується використати метод визначення в'язкості руйнування бетону. В роботі [5] проведено огляд наукових публікацій останніх років щодо використання методів механіки руйнування для дослідження процесів зародження та поширення тріщин в бетонних конструкціях до критичного рівня, а також визначення оптимальних критеріїв тріщиностійкості для оцінки довговічності бетону.

**Матеріали і методи дослідження.** Для проведення досліджень тріщиностійкості бетонів за методикою [6] використовувалась установка кафедри автомобільних шляхів Національного університету "Львівська політехніка", яка забезпечує контрольоване поширення тріщини. Випробування зразків проводилися за схемою триточкового згину за допомогою 200-тонного гідравлічного преса (рис.1). Сама методика дослідження тріщиностійкості бетону, з врахуванням нагрівання зразків до високих температур, детально описана в роботі [7]. Згідно з вимогами ГОСТ 10180 [8], було виготовлено 20 дослідних зразків-призм, з розрахунку - 4 зразки на кожне значення температури: 20°C (серія «000»), 200°C (серія «200»), 400°C (серія «400»), 600°C (серія «600»), 800°C (серія «800»). Марка бетону для дослідних зразків визначалася розрахунковим методом і була прийнята М 300. Склад бетонної суміші марки М 300 на 1 м<sup>3</sup>: цемент – 375 кг (Мц 400); пісок – 630 кг (Мкр – 1,3); щебінь – 1320 кг (фракція 5 – 20 мм); вода - 146 л (В/Ц співвідношення 0,4).



Рис. 1. Загальний вигляд випробувальної установки

Час витримки зразків при досягненні відповідних температур в електричній муфельній печі 200°C, 400°C, 600°C, 800°C - 40 хвилин. Вигляд зразків після нагрівання в електричній муфельній печі (рис. 2).

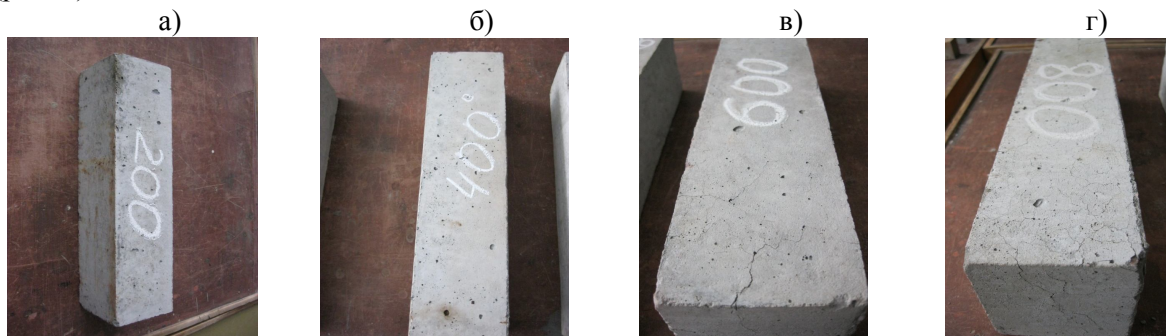
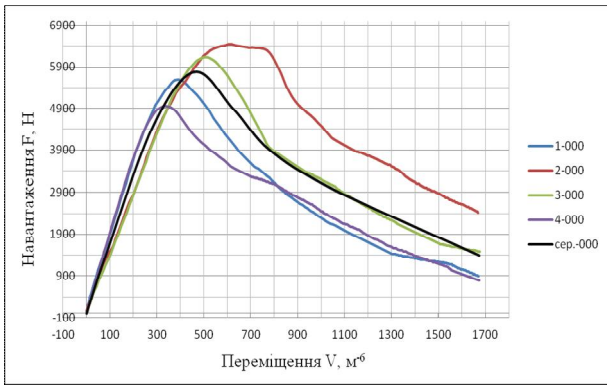
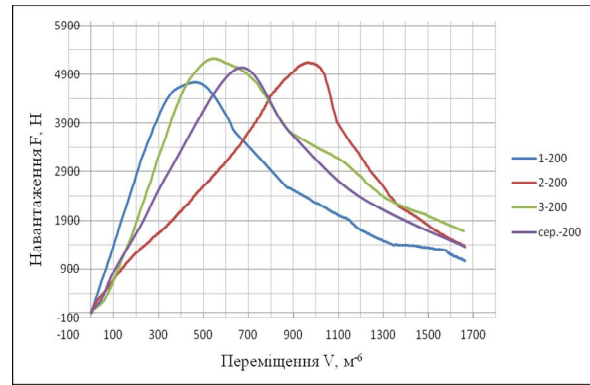


Рис. 2. Вигляд зразків після витримки у електричній муфельній печі при температурах: 200°C (а), 400°C (б), 600°C (в) і 800°C (г)

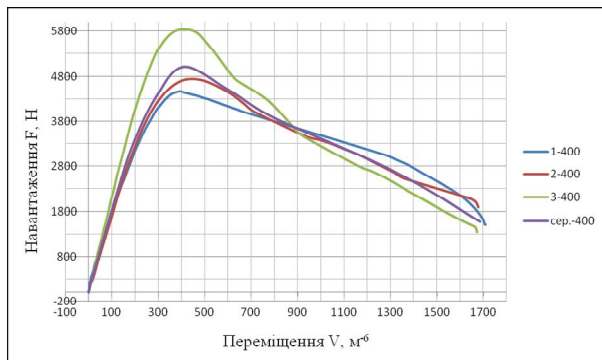
**Основна частина.** На рис. 3 - 7 представлені отримані повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетонів для всіх серій.



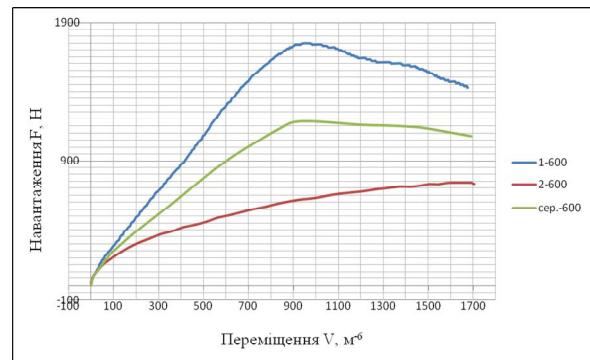
**Рис.3.** Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону базової серії «000»



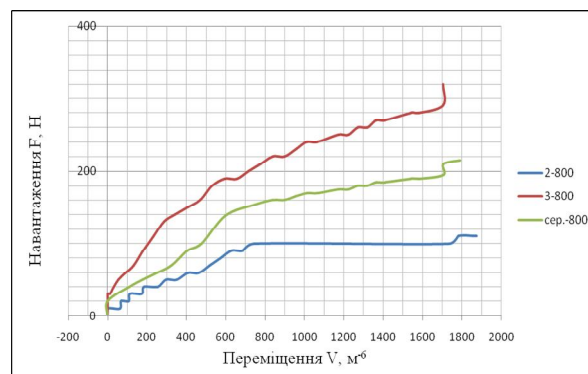
**Рис.4.** Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону серії «200»



**Рис.5.** Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону серії «400»



**Рис.6.** Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону серії «600»



**Рис.7.** Повністю рівноважні діаграми деформування зразків бетону серії «800»

Розрахунковим шляхом визначені енерговитрати на окремі етапи деформування і руйнування зразка, а також значення силових і енергетичних характеристик тріщиностійкості (табл. 1), результати випробувань на міцність при стиску представлені в табл.2.

Таблиця 1

## Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів

серія	$W_m \cdot 10^{-2}$ , Дж	$W_e \cdot 10^{-2}$ , Дж	$W_l \cdot 10^{-2}$ , Дж	$W_{ш} \cdot 10^{-2}$ , Дж	$W_{се} \cdot 10^{-2}$ , Дж	$G_i$ , Дж/м <sup>2</sup>
000	4,92	46,61	221,59	3,79	24,50	85,90
200	3,75	56,42	200,55	4,37	23,39	100,28
400	2,47	42,15	196,46	4,78	20,66	73,94
600	0,61	4,96	0,86	2,55	0	9,28
800	0,32	1,04	0	0,52	0	2,27

серія	$G_f$ , Дж/м <sup>2</sup>	$G_{се}$ , Дж/м <sup>2</sup>	$J_i$ , Дж/м <sup>2</sup>	$K_i$ , МПа м <sup>1/2</sup>	$K_c$ , МПа м <sup>1/2</sup>
000	447,00	40,83	92,18	0,72	0,497
200	428,28	38,98	107,56	0,63	0,40
400	397,69	34,43	81,91	0,61	0,41
600	9,70	0	13,54	0,06	0
800	1,74	0	3,30	0,01	0

Таблиця 2

## Міцність на стиск бетонів досліджувальних серій

№ зразка	Міцність на стиск, МПа				
	000	200	400	600	800
1	29,4	24,1	28,5	13,5	5,7
2	30,2	29,7	27,8	11,8	5,2
3	28,8	26,4	30,1	10,1	5,5
4	30,8	27,6	28,2	11,7	6,0

На рис. 8 представлені отримані усереднені повністю рівноважні діаграми деформування бетонів для всіх серій.

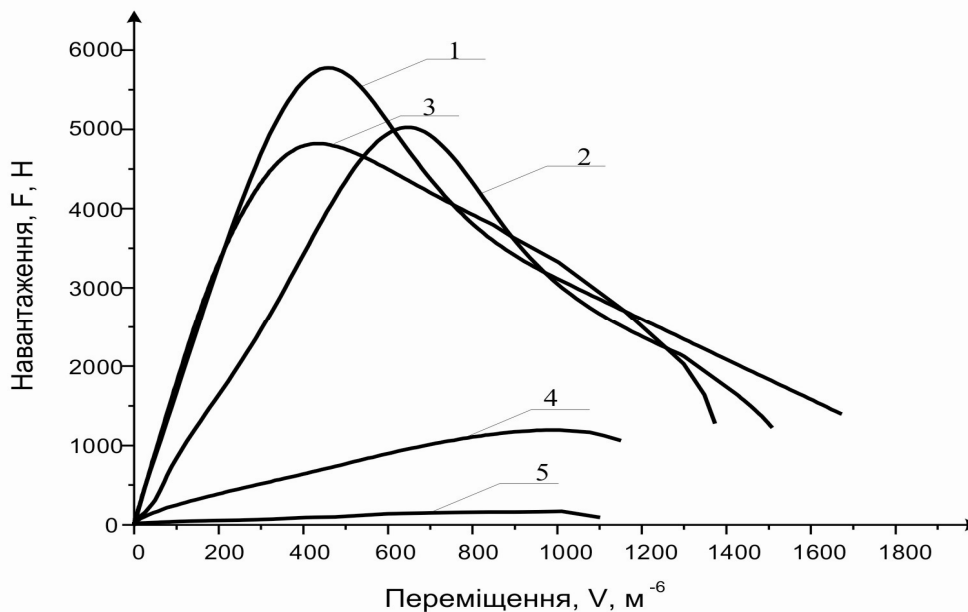


Рис.8. Усереднені повністю рівноважні діаграми деформування бетонів:  
1 - 000, 2 - 200, 3 - 400, 4 - 600, 5 - 800

## Висновки

1. З мірою підвищення температури впливу на бетон показники тріщиностійкості, міцності на стиск, граничні прогини, що відповідають моменту дефрагментації бетону, зменшуються порівняно з бетоном нормального тверднення (базова серія). Причиною цього можна вважати утворення мікротріщин внаслідок виникнення градієнтів деформацій і напружень на границях поділу фаз і компонентів бетону з причини різних значень коефіцієнта лінійного температурного розширення компонентів бетону. Із збільшенням температури теплового впливу інтенсивність цих процесів поглиблюється.

2. Повністю рівноважні діаграми деформування (ПРДД) бетону серії «200» свідчать про падіння модуля пружності бетону порівняно з базовою серією у 1,5 рази, водночас на 21% зростають енерговитрати на пружне деформування ( $W_e$ ) і значення загальних енерговитрат на докритичне деформування ( $W_i$ ) на 16% порівняно з бетоном базової серії. В закритичній стадії деформування за показником значення роботи на локальне руйнування в зоні макротріщини ( $W_l$ ) бетон серії «200» незначно поступається бетону базової серії. Це пов'язано із істотним збільшенням абсциси точки зламу діаграми до  $630 \times 10^{-6}$  м порівняно з  $440 \times 10^{-6}$  м у бетону базової серії при незначній зміні її ординати. Вочевидь, зменшується розклинюючий ефект внаслідок видалення вільної і капілярно зв'язаної води. Деструктивний вплив температури  $200^\circ\text{C}$  на структуру бетону не є істотно небезпечним, що підтверджується падінням значень статичного критичного КІН і критичного КІН відповідно на 12% і 19% порівняно з бетоном базової серії. Це кореспондується із зниженням приблизно на 20% міцності бетону на стиск.

3. Бетон, що підданий тепловому обробленню за температури  $400^\circ\text{C}$  (серія «400»), відновлює свої пружні властивості до рівня бетону базової серії. Конфігурація ПРДД майже повторює ПРДД базової серії із зменшенням ординати точки зламу приблизно на 1000 Н. Це можна пояснити видаленням вільної, капілярно зв'язаної, адсорбційної і частково хімічно зв'язаної води кристалогідратів завдяки чому відбувається своєрідний «випал» бетону. Проте інтенсивне тріщиноутворення на поверхнях поділу фаз і компонентів бетону обумовлює подальше зниження показників тріщиностійкості, граничного прогину і міцності бетону. Завдяки відновленню модуля пружності значення критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень знаходяться на рівні бетону серії «200».

4. Для бетону серії «600» якісно змінюється конфігурація діаграми деформування – відсутня спадна вітка, а отже бетон не працює в закритичній стадії деформування. В момент утворення макротріщини бетон руйнується шляхом миттєвої дефрагментації. Тому температуру  $600^\circ\text{C}$  з точки зору подальшої експлуатації бетонних конструкцій можна вважати критичною, за якої бетон вже практично не чинить опір розвитку тріщин ( $K_i = 0,06$ ), а його міцність на стиск зменшується більше ніж в три рази.

5. Оброблення бетону за температури  $800^\circ\text{C}$  повністю руйнує структуру бетону, що підтверджується асимптотичним наближенням висхідної вітки діаграми до осі абсцис, наближенням енергетичних і силових характеристик тріщиностійкості і міцності бетону на стиск до нуля.

1. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд/Затв. постановою Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 р. № 1764. 2. ДБН В.1.2-7:2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. 3. Шналь Т.М., Хоржевський В.І., Павлюк Ю.Е., Пархоменко Р.В. Технічна діагностика та подальша експлуатація залізобетонних конструкцій після пожежі // Вісник НУ «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва. - №144. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка». – 2002. – С.184–189.

4. Солодкий С.Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементях: Монографія. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. - 144 с. 5. Пархоменко Р.В., Яковчук Р.С., Вировий В.М. Зміна тріщиностійкості бетонних конструкцій після впливу високих температур//Вісник ОДАБА.- Вип. №39, частина 2.- Одеса, 2010.- С.141-145. 6. ГОСТ 29167-91 Бетонь. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. 7. Яковчук Р.С. Методика оцінювання тріщиностійкості бетону після впливу високих температур//Зб. наук. пр.- Львів:ЛДУ БЖД, 2011. - №18. – С.170-177. 8. ГОСТ 10180-90 Бетонь. Методы определения прочности по контрольным образцам.