

## ЦИКЛІЧНЕ ВОДОНАСИЧЕННЯ-ВИСУШУВАННЯ ЯК ЧИННИК ДЕГРАДАЦІЇ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНУ

© Ковальчик П. І., 2015

Наведено результати дослідження тріщиностійкості бетону за критеріями механіки руйнування після впливу циклів водонасичення-висушування. Подано значення силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості та діаграми деформування бетону після водонасичення-висушування протягом 100, 180 та 360 циклів.

Отримані результати свідчать про зменшення характеристик тріщиностійкості та міцності бетону навіть без прикладання транспортного навантаження із збільшенням циклів водонасичення-висушування. Втрата міцності бетону на стиск становить 19, 25 і 42 % серій бетону, які пройшли 100, 180 і 360 циклів водонасичення-висушування відносно базової серії.

Встановлено значення ключового силового критерію тріщиностійкості – в'язкості руйнування (статичного критичного коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_i$ ) після 100, 180 і 360 циклів водонасичення-висушування становить 89, 80 і 75 % відносно базової серії бетону.

**Ключові слова:** дорожній бетон, водонасичення, механіка руйнування, повна діаграма деформування бетону, тріщиностійкість, енерговитрати.

**This article presents the results of research crack resistance concrete after exposure to water saturation-drying cycles on the criteria of fracture mechanics. Presented values of power and energy characteristics of crack and deformation diagrams of concrete after water saturation-drying for 100, 180 and 360 cycles.**

**The results received witness about the decrease in performance and durability of concrete crack even without applying traffic load with increasing water saturation-drying cycles. Loss of compressive strength of concrete is 19, 25 and 42 % series of concrete, which were 100, 180 and 360 cycles of water saturation-drying relatively basic series.**

**Set to the power key criterion crack – fracture toughness (static critical stress intensity factor  $K_i$ ) after 100, 180 and 360 water saturation-drying cycles is 89, 80 and 75 % compared to baseline series of concrete.**

**Key words: road concrete, water saturation, mechanics of destruction, complete diagram of concrete deformation, fracture toughness, energy consumption.**

### Вступ

Під час експлуатації на дорожнє цементобетонне покриття впливають не тільки транспортні навантаження, але і природні чинники: сонячне випромінювання, заморожування-відтанення і водонасичення-висушування [1]. За несприятливих погодно-кліматичних умов циклічне водонасичення-висушування не тільки змінює міцність бетону, але змінює і тріщиностійкість, що пов'язано із зародженням і поширенням тріщин у структурі бетону.

Аналіз досліджень зміни тріщиностійкості бетону під дією багаторазового водонасичення та висушування бетону показав, що питання впливу циклічного водонасичення-висушування на міцність та тріщиностійкість бетону є недостатньо вивченими [2].

**Мета досліджень та постановка проблеми.** У цій роботі поставлена мета дослідити та проаналізувати зміну тріщиностійкості бетонів під дією циклічного водонасичення-висушування за критеріями механіки руйнування, а саме: питомими енерговитратами на руйнування та критичними коефіцієнтами інтенсивності напружень.

### **Сировинні матеріали і методи досліджень**

Експериментальні зразки кубів і призм виготовляли з бетонної суміші, для приготування якої використали матеріали:

– портландцемент ПЦ І-500 загальнобудівельного призначення ПАТ “Івано-Франківськ-цемент”;

– заповнювачі: дрібний заповнювач – пісок Ясницького кар’єру Львівської області з модулем крупності 1,29; крупний заповнювач – гранітний щебінь кар’єру “Полонне” Хмельницької області;

– пластифікатор для товарного бетону Liquol BV 18 С фірми “BASF”;

Номінальний склад бетонної суміші базової серії: Ц : П : Щ = 1:2,23:3,19 при В/Ц=0,44 і витраті цементу 350 кг/м<sup>3</sup>. Склад суміші заповнювачів проектували згідно з європейським стандартом EN 480-1 з неперервною гранулометриєю. Всього виготовлено чотири серії зразків, кожна з яких складається з чотирьох призм розмірами 0,10×0,10×0,40 м та трьох кубів розмірами 0,10×0,10×0,10м.



*Рис. 1. Загальний вигляд випробувальної установки*

Бетонні зразки зберігали в камері нормального твердіння протягом 28 діб, решта часу до випробувань – в повітряно-сухих умовах лабораторії кафедри автомобільних шляхів за температури повітря  $t=18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  і відносної вологості  $W=70\% \pm 5\%$ . Бетонні зразки призм розмірами 0,10×0,10×0,40 м та кубів 0,10×0,10×0,10 м занурювали у воду і витримували 12 год, після чого бетонні зразки висушували протягом 12 год за температури повітря  $t=18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  і відносної вологості  $W=70\% \pm 5$ . Серії В-100, В-180, В-360 пройшли відповідно 100, 180, 360 циклів водонасичення-висушування.

Зразки випробовували на: міцність на стиск кубів [3]; показники тріщиностійкості за схемою триточкового згину призм із початковим надрізом висотою 0,04 м і шириною 0,002 м. Початкові надрізи створювали за допомогою різального інструмента [4].

Характеристики тріщиностійкості бетонів визначали під час рівноважних механічних випробувань із записуванням повної діаграми навантаження-прогин (F-V) на спеціальній установці [5]. Загальний вигляд випробувальної установки зображено на рис. 1.

Під час рівноважних випробувань зразки навантажували безперервно до їх розділення на частини з фіксацією повної діаграми стану матеріалу F–V[5].

**Експериментальні результати.** Результати дослідження характеристик міцності та деформативності бетонів наведені в табл. 1.

Як свідчить аналіз даних табл. 1 бетонні зразки під впливом циклів водонасичення-висушування втрачають міцність на стиск. Серія “В-100”, що пройшла 100 циклів водонасичення-висушування, втратила 19 % міцності на стиск відносно базової серії, серія “В-180” при 180 циклах втратила 25 % міцності, для серії “В-360” при 360 циклах втрати становлять 42 % міцності на стиск.

Таблиця 1

**Міцність на стиск досліджуваних бетонів**

Позначення серії	Кількість циклів водонасичення-висушування	Міцність на стиск, R <sub>b</sub> , МПа	Втрата міцності на стиск Δ, %
Б	-	58,40	-
В-100	100	47,50	19
В-180	180	43,85	25
В-360	360	34,00	42

Повністю рівноважні діаграми деформування (ПРДД) досліджуваних бетонів зображено на рис. 2, а силові та енергетичні характеристики бетонів наведені в табл.2. Аналіз загального вигляду ПРДД досліджуваних бетонів (рис. 2) дає змогу зробити такі висновки: конфігурація висхідних гілок діаграм для досліджуваних бетонів характеризує спад модуля пружності та тріщиностійкості із збільшенням циклів водонасичення-висушування.

Таблиця 2

**Силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості досліджуваних бетонів**

Позначення серії	W <sub>i</sub> , 10 <sup>-2</sup> Нм	W <sub>l</sub> , 10 <sup>-2</sup> Нм	G <sub>i</sub> , Дж/м <sup>2</sup>	G <sub>F</sub> , Дж/м <sup>2</sup>	G <sub>CE</sub> , Дж/м <sup>2</sup>	J <sub>i</sub> , Дж/м <sup>2</sup>	K <sub>i</sub> , МПа·м <sup>1/2</sup>	K <sub>C</sub> , МПа·м <sup>1/2</sup>
Б	125,16	252,69	208,60	563,96	118,47	138,80	0,96	0,73
В-100	122,57	255,06	204,28	577,69	107,83	128,71	0,86	0,62
В-180	116,54	232,05	194,24	551,63	73,19	112,58	0,77	0,47
В-360	94,22	218,12	180,31	494,93	52,86	115,24	0,72	0,39

Граничне навантаження для базової серії становить 5260 Н, для серій В-100, В-180 і В-360 становить 4880, 4650 і 4050 Н, відповідно, при прогинах призми, близьких за значенням.

Витрати енергії на стадії мікротріщиноутворення та формування кінцевої зони магістральної тріщини (W<sub>m</sub>) для базової серії у 1,68 і 2,96 і 1,78 разу перевищує відповідні значення для серій В-100, В-180 і В-360. Це свідчить про те, що циклічне водонасичення-висушування погіршує роботу бетону в докритичній стадії деформування (висхідна вітка на діаграмі – рис. 2).

Значення загальних енерговитрат на докритичне деформування (W<sub>i</sub>) для базового бетону становить 125,16×10<sup>-2</sup>Нм, що у 1,02 і 1,07 і 1,33 разу більше, ніж у бетонів серії В-100, В-180 і В-360 відповідно.

Витрати енергії на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини (W<sub>l</sub>) для серії В-100 становить 255,06×10<sup>-2</sup> Нм, для серії В-180 становить 232,05×10<sup>-2</sup> Нм, для серії В-360 становить 218,12×10<sup>-2</sup> Нм.

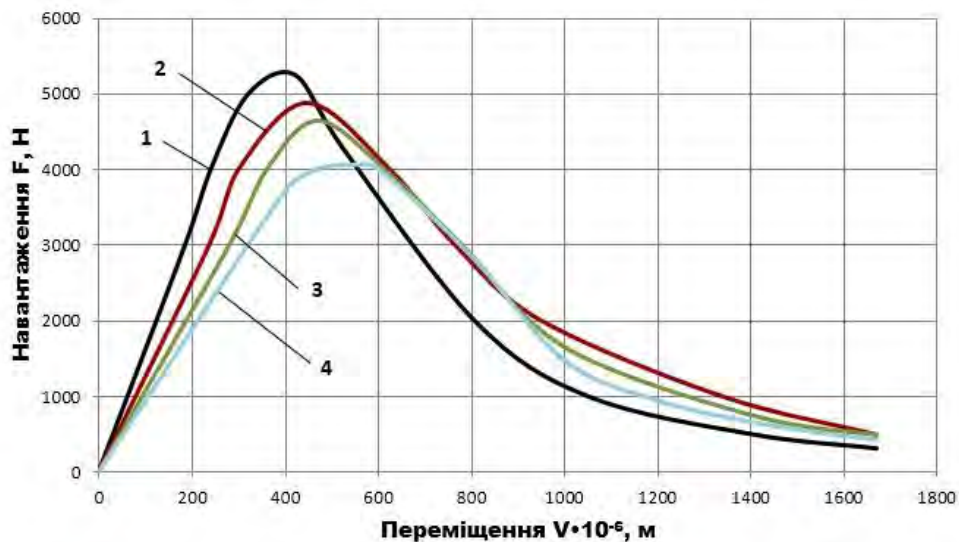


Рис. 2. ПРДД бетонів: 1 – базова; 2 – бетон, що пройшов 100 циклів; 3 – бетон, що пройшов 180 циклів; 4 – бетон, що пройшов 360 циклів

Питомі витрати енергії на початок статичного руйнування ( $G_i$ ) для базової серії бетону становить  $208,60 \text{ Дж/м}^2$ , а для бетонів серії В-100, В-180 і В-360 дорівнює  $204,28 \text{ Дж/м}^2$ ,  $194,24 \text{ Дж/м}^2$  і  $180,31 \text{ Дж/м}^2$  відповідно, що у 1,02, 1,07 і 1,16 рази менше, ніж у базової серії бетону.

Значення ключового силового критерію тріщиностійкості – статичного критичного коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_i$  для зразків серій В-100, В-180 і В-360 становить 89, 80 і 75 % відносно базової серії “Б”. Критичні коефіцієнти інтенсивності напружень ( $K_c$ ) для зразків серій В-100, В-180 і В-360 становить 85, 64 і 53 % відносно базової серії Б.

### Висновки

1. Циклічне водонасичення-висушування зменшує тріщиностійкість бетону навіть без прикладання транспортного навантаження.
2. Вплив циклічного водонасичення-висушування із збільшенням циклів водонасичення-висушування до 360 циклів зумовлює зменшення міцності бетону на стиск до 42 %.
3. При дії циклічного водонасичення-висушування до 100 циклів спостерігається падіння модуля пружності на 7 % та характеристик тріщиностійкості на 15–30 %, за збільшення циклів водонасичення-висушування до 360 циклів спостерігається падіння модуля пружності на 26 % та характеристик тріщиностійкості до 50 %.

1. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона. – К.: Видавництво Оранта, 2004. – С. 242.
2. Шейнин А. М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. – М., 1991. – С. 150.
3. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. – К., 2009. – С. 15.
4. ДСТУ Б В.2.7-227:2009 Бетони. Методи визначення характеристики тріщиностійкості (в'язкості руйнування) при статичному навантаженні. – К., 2009. – С. 10.
5. Солодкий С. Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементях: монографія. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – с. 144.