

УДК 624.012

**ЗМІНА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАЖКОГО БЕТОНУ ЗА ДІЇ КОРОТКОЧАСНОГО ТА МАЛОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕНЬ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР**

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ПРИ ДЕЙСТВИИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ И МАЛОЦИКЛОВОЙ НАГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР**

**CHANGE OF PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF HEAVY CONCRETE UNDER THE ACTION OF SHORT-TERM AND LOW-CYCLE LOADINGS UNDER ELEVATED TEMPERATURES**

Гомон С.С., к.т.н., проф., Зінчук М.С., к.т.н., доц., (Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне)

Гомон С.С., к.т.н., проф., Зинчук Н.С., к.т.н., доц., (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г.Ривне)

Gomon S.S., candidate of technical sciences, professor, Zinchuk M.S., candidate of technical sciences, associate professor, (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)

Наведено методику та результати експериментальних досліджень призмових зразків при дії короткочасних та малоциклових навантажень в умовах підвищених температур.

Приведено методику и результаты экспериментальных исследований призмовых образцов при действии кратковременных и малоцикловых нагрузок в условиях повышенных температур.

The methodology and results of experimental studies of prismatic specimens under short-term and low-cycle action loadings in under elevated temperatures.

**Ключові слова:**

Важкий бетон, малоциклові навантаження, підвищені температури

Тяжелый бетон, малоцикловые нагрузки, повышенные температуры

Heavy concrete, low- cycle loading, elevated temperatures

**Стан питання.** Підвищені температури призводять до зміни структури бетону та розвитку деструктивних процесів. Деструктивні процеси розвиваються в основному при першому короткочасному нагріванні і призводять до значних змін фізико-механічних характеристик важкого бетону, зниження його міцності і модуля пружності. При тривалому нагріванні в бетоні деструктивні процеси дещо затухають, що сприяє зміцненню структури і частковому відновленню його міцності. У кожному конкретному випадку сумісна дія короткочасного або малоциклового навантажень і підвищених температур може спричинити специфічні особливості факторів впливу на деформування та руйнування бетонних елементів. Для більш повного вивчення змін фізико-механічних характеристик в елементах з важкого бетону з урахуванням сумісної дії навантаження та температури, були виконані дослідження бетонних зразків з важкого бетону на місцевих традиційних заповнювачах.

**Метою експериментальних досліджень** було експериментально встановити вплив короткочасного та малоциклового навантажень як в нормальних умовах, так і в умовах підвищених температур з детальнішим дослідженням поведінки бетону в таких умовах. Для досягнення поставленої мети, необхідно було вирішити наступні задачі:

- експериментально встановити особливості міцнісних і деформативних властивостей важкого бетону в нагрітому стані за одноразового та малоциклового навантажень;
- дослідним шляхом вивчити особливості зміни фізико-механічних характеристик важкого бетону за дії короткочасного та малоциклового навантажень в умовах підвищених температур;
- зробити висновки щодо зміни фізико-механічних характеристик важкого бетону за дії малоциклових навантажень в умовах підвищених температур.

**Методика досліджень.** Дослідження проводились на бетонних кубових та призмочових зразках розмірами 100×100×100 мм та 100×100×400 мм виготовлених з однорідного бетону класу С25/30. Випробування дослідних зразків проводилось за розробленою методикою досліджень міцнісних та деформативних характеристик бетонних елементів на місцевих традиційних заповнювачах із урахуванням сумісної дії короткочасного та малоциклового навантаження в умовах підвищених температур. Завантаження кубових та призмочових зразків за одноразового та малоциклового навантажень з доведенням до руйнування здійснювалося на універсальному пресі ПСУ-250. Нагрівання бетонних зразків кубів і призм проводилось як в термопечі заводського виготовлення, так і в окремо виготовлених одесекційних термокамерах. В дослідних призмочових зразках за допомогою індикаторів ІМІГ вимірювались деформації бетону. При короткочасному нагріванні за одноразового та малоциклових навантажень були випробувані дослідні призми як в нагрітому стані, так і без нагріву.

**Результати досліджень.** Проведені дослідження зміни міцності бетону при нагріванні кубів до 120°, 200° і 300°C показали, що підвищені температури впливають на міцнісні властивості бетону як в нагрітому, так і в охолодженому станах після нагріву. При випробуванні кубів в нагрітому стані, міцність бетону за температури 120°C зменшилась на 20%, за температури 200°C – на 28% і при нагріванні до 300°C – на 36% в порівнянні зі значеннями міцнісних характеристик за температури 20°C.

В охолодженому стані за добу після нагрівання, кубова міцність бетону за температур 120°, 200° і 300°C зменшилась відповідно на 28%, 26% і 30%. Для бетонних кубів, що завантажувалися на сороковий день після нагріву до 120°C – міцність бетону стала меншою на 8%, до 200°C – 5%, а за температури 300°C – на 3% у порівнянні з попередньо випробуваними контрольними зразками в нагрітому стані. Визначення кубової і призмової міцності важкого бетону було необхідною частиною кожної серії наступних досліджень, які проводились за нормальних температурно-вологісних умов і в нагрітому стані за температури 60° і 120°C.

Результати випробувань кубів та призм зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Кубова та призмova міцності важкого бетону за короткочасного осьового стиску та нагрівання

Температура нагрівання в °C	20°C	60°C	120°C
Кубова міцність $f_{cm}$	34,58	33,40	32,19
Призмova міцність $f_{cd}$	27,50	26,40	24,50
$\gamma_c = f_{cd}/f_{cm}$	0,80	0,79	0,76
$\gamma_{ct}^o = f_{cd,t}^o/f_{cm}$	1,00	0,96	0,89 т

Аналізуючи отримані значення кубової і призмової міцності бетону зразків наступної серії досліджень за температур 20°, 60° 120°C при одноразовому навантаженні, зниження кубової міцності за короткочасного нагрівання до 60°C склало 3,5%, до температури 120°C – 7%. Зменшення призмової міцності важкого бетону при температурах 60° і 120°C становило відповідно 4% і 11%. Призмova міцність бетону, що зазнав впливу підвищених температур, може бути визначеною за формулою

$$f_{cd,t}^o = \gamma_{c,t} f_{cd} \quad (1)$$

де  $f_{cd,t}^o$  – призмova міцність бетону, що зазнав впливу підвищених температур;

$f_{cd}$  – призмova міцність бетону за звичайних умов;

$\gamma_{ct}^o$  – коефіцієнт, що враховує зміну міцності в залежності від температури нагрівання бетону, який встановлюється дослідним шляхом. Середнє значення коефіцієнта умов роботи важкого бетону при нагрівання для випробуваних зразків за умов підвищених температур становить:

$$\gamma_c = f_{cd}/f_{cm} = 0,78 \quad (2)$$

За результатами досліджень впливу короткочасного нагрівання на деформативні властивості бетону доведено, що залежність “ $\sigma_c-\epsilon_c$ ” при нагріванні за короткочасного стиску бетонних призм з постійною швидкістю зростання напружень внаслідок проявлення пластичних деформацій, є нелінійною з самого початку навантаження. Із зростанням рівня напружень кривизна діаграми “ $\sigma_c-\epsilon_c$ ” збільшується. Середні значення відносних поздовжніх деформацій зразків-близнюків за сумісної дії короткочасного навантаження та нагрівання наведені в таблиці 2.

Таблиця 2  
Дослідні значення відносних деформацій бетонних призм за короткочасного нагрівання та навантаження

t=20°C		t=60°C		t=120°C	
$\sigma_c$	$\epsilon_c \cdot 10^4$	$\sigma_c$	$\epsilon_c \cdot 10^4$	$\sigma_c$	$\epsilon_c \cdot 10^4$
0	0,00	0	0,00	0	0,00
5	1,08	5	1,82	5	2,58
10	2,63	10	3,78	10	4,92
15	5,13	15	5,93	15	6,73
20	6,89	20	8,19	20	9,48
25	10,9	25	11,8	25	12,9

Циклічний температурний вплив на міцнісні та деформативні властивості важкого бетону досліджувався за температур 60°, 120° і 180°C.

Дослідні зразки підлягали 10 кратному циклічному нагріванню і охолодженню протягом 10 діб, після чого на 11 циклі нагрівання доводились до руйнування. Призмova міцність бетону в охолодженому стані після 10 циклів за температур 60°, 120° і 180°C зменшилась відповідно на 10%, 13% і 11% в порівнянні з призмovoю міцністю однорідного бетону за нормальних температурно-вологісних умов. Призмova міцність бетону після циклічного нагрівання в нагрітому стані за аналогічних температур 60°, 120° і 180°C відрізняється від попередніх величин отриманих при випробуванні в охолодженому стані і становить 7%, 9% і 15%. Деформації бетону в нагрітому стані при 60°, 120° і 180°C після 10 циклів нагрівання, збільшились відповідно в 1,3, 2,0 і 1,7 рази в порівнянні з деформаціями зразків, які не нагрівались. Доведено також, що залежність “ $\sigma_c-\epsilon_c$ ” після короткочасного та циклічного нагрівання бетону за короткочасного осьового стиску призм з постійною швидкістю зростання напружень, внаслідок проявлення пластичних деформацій, є нелінійною з самого початку навантажень. Дослідження напружено-деформованого стану бетону з великою достовірністю показують наявність лінійних кореляційних залежностей між січним модулем поздовжніх деформацій і рівнем напружень. На початковий модуль пружності бетону підвищена температура вплива негативно, зменшуючи його в нагрітому стані на 25...54% та після охолодження бетону на 25...47%.

При малоциклового короткочасному статичному стиску бетону після циклічного нагрівання до 120°C, в ньому проходять дещо відмінні процеси, ніж ті, що спостерігаються при роботі в нормальних умовах за температури 20°C. Дослідження залежності “ $\sigma_c - \epsilon_c$ ” за сумісної дії температури 120°C і малоциклових або короткочасних навантажень проведені на серії призм із важкого бетону за різних верхніх рівнів прикладання небагаторазово-повторних навантажень. Аналіз отриманих даних показує, що визначальним фактором, який впливає на якісний стан бетону, що зазнає дії підвищеної температури, є верхній рівень  $\eta_c$  прикладання малоциклових короткочасних навантажень. За роботи нагрітого бетону, як і ненагрітого, при умові, що верхній рівень прикладання малоциклових навантажень вищий рівня пристосування бетону, накопичення пружно-пластичних деформацій з кожним циклом збільшується і це призводить до руйнування бетону на одному з циклів прикладання малоциклових короткочасних навантажень. За отриманими експериментальними даними міцності бетону, що зазнав впливу підвищених температур та прикладення розрахункового числа циклів навантажень з верхнім рівнем  $\eta_c$  можна визначити коефіцієнт впливу малоциклових навантажень на міцність бетону в залежності від верхнього рівня цих навантажень:

$$\gamma_{cic} = f_{cdt,cic} / f_{cdt} \quad (3)$$

Отримані результати дослідних значень наведені в таблиці 3

Таблиця 3

Дослідні значення коефіцієнту впливу малоциклових навантажень на міцність бетону в залежності від рівня  $\eta_c$

Рівень $\eta_c$	0,32	0,43	0,51	0,60	0,65	0,70
$\gamma_{cic}$	1,00	1,01	1,03	1,105	1,08	0,095

Сумісний вплив підвищених температур та малоциклових навантажень на міцність бетону можна визначити:

$$f_{cdt,cic} = \gamma_{cic} f_{cdt} = \gamma_{ct}^o \cdot \gamma_{cic} \cdot f_{cd} \quad (4)$$

де  $\gamma_{cic}$  - коефіцієнт, який визначається за таблицею 4 в залежності від рівні малоциклових навантажень;

$\gamma_{ct}^o$  - коефіцієнт, що визначається за таблицею 1.

**Висновок:** Проведені дослідження роботи важкого бетону за дії короткочасного та малоциклових навантажень в умовах підвищених температур показали, що температура до 300°C за короткочасної тривалості її дії та короткочасного навантаження як в нагрітому стані так і з часом після нагрівання знижує міцність важкого бетону на стиск до 30 – 35%. На міцність бетону при стиску великий вплив мають власні структурні напруження від дії температури, так як бетон руйнується від розтягуючих напружень вторинного поля напружень. Після малоциклового нагрівання-

охолодження призмове міцність бетону стиску  $f_{cd}$  в гарячому стані зменшується: за  $t = 60^{\circ}\text{C}$  на 7%;  $t = 120^{\circ}\text{C}$  на 13% і  $t = 180^{\circ}\text{C}$  на 15%.

Після малоциклового нагрівання-охолодження призмове міцність бетону стиску  $f_{cd}$  в холодному стані зменшується: за  $t = 60^{\circ}\text{C}$  на 8%;  $t = 120^{\circ}\text{C}$  на 13% і  $t = 180^{\circ}\text{C}$  на 11%. При роботі важкого бетону за верхніх рівнів малоциклових навантажень, що більші за межу пристосування – міцність бетону зменшується, а за верхніх рівнів, менших межі пристосування – зменшується. В результаті експериментальних досліджень встановлено коефіцієнт умов роботи для бетону  $\gamma_{cic}$ , що зазнав сумісної дії підвищених температур та малоциклових навантажень.

1. Бабич Є.М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень: монографія / Є.М.Бабич, Ю.О.Крусь. – Рівне: Вид-во РДТУ, 1999.-119 с.  
2. Гомон С.С. Структурні напруження бетону за стискаючих навантажень з урахуванням фактора середовища / Гомон С.С. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.- Рівне, 2001. – Вип.5 – С. 146-151.  
3. Зінчук М.С. Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних згинальних елементів за одноразового та малоциклового навантажень в умовах підвищених температур // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Випуск 11. Рівне, 2004. – С. 164-166.  
4. Зінчук М.С. Міцність та деформативність залізобетонних згинальних елементів за малоциклових навантажень в умовах підвищених температур: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.01 / Зінчук М.С. – Рівне, 2008. – 172 с.