

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ БЕТОННИХ ПРИЗМ З ВИСОКОМІЦНИХ БЕТОНІВ**

### **RESEARCH WORK CONCRETE PRISMS WITH HIGH- STRENGTH CONCRETE**

**Філіпчук С.В., к.т.н, доц. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), Караван Б.В., (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), Іванюк А.М., к.т.н., (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), Чапюк О.С., к.т.н, доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Гришкова А.В., асп. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Filipchuk S.V., candidate of technical sciences, associate (National university of water management and nature resources use, Rivne), Karavan B.V., (National university of water management and nature resources use, Rivne), Ivanyuk A.M., candidate of technical sciences, (National university of water management and nature resources use, Rivne), Chapiuk O.S., candidate of technical sciences, associate (Lutsk National Technical University, Lutsk), Grishkova A.V., asp. (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

Наведена методика дослідження бетонних призм, що працюють на стиск та розтяг, з високоміцних бетонів класів С60 і вище з високою ранньою міцністю для підвищення динамічної міцності та тріщиностійкості бетонів у спорудах.

The method of concrete prisms research, that working in compression and stretching, with high-strength concrete grade C60 and higher, with high early strength, for increasing dynamic strength and crack resistance in concrete structures, are presented here. Testing of concrete prisms showed that at the age of 1 day concrete is gaining on average 0.65 design strength, when tested in compression, and 0.8 when tested in tension, which will allow to use these concretes for the construction of buildings with short deadlines. The results have significant value to strengthening the country's defense, national security and other areas of construction, including construction of earthquake-

resistant structures, airfields covering, bridges, tunnels and other buildings with the high threat of terrorist attacks.

Ключові слова: високоміцний бетон, бетонна призма, призмове міцність бетону.

Keywords: high-strength concrete, concrete prism, prism strength of concrete.

**Вступ.** Сучасні високоміцні бетони, що виготовляються з рухомих і литих сумішей з обмеженим водовмістом (High Performance Concrete, НРС), є одночасно і швидкоотверднувачими. У віці двох діб вони, зазвичай, мають міцність 30...50 МПа, 28 діб - 60...150 МПа [1]. На даний час обґрунтований комплекс технологічних умов отримання бетонів типу НРС і актуальним є розширення області їх застосування. Вирішенню цієї задачі має сприяти подальше збільшення ранньої міцності бетону в тому числі і в віці 1 доби і менше. Бетони з однодобовою міцністю при стиску не менше 80...100 МПа можна умовно віднести до високоміцних надшвидкоотверднувачих бетонів [2]. Такі бетони представляють особливий інтерес при зведенні спеціальних споруд, в тому числі і оборонного призначення.

В напрямку даної проблеми працювали ряд вітчизняних і закордонних вчених. Основні напрацювання щодо впливу технологічних факторів на динамічну міцність бетону були зроблені Ю.М.Баженовим, І.М.Грушко, А.А. Гвоздевим та іншими. Ці дослідження однак були виконані у 60-х...70-х роках ХХ ст., вони не враховують успіхи технології бетону, що відбулися за останні роки, зокрема, розробку нових високоміцних видів цементу, що забезпечують високу ранню та марочну міцність, ефективних супер- та гіперпластифікаторів, що дозволяють значно знизити водоцементне відношення та підвищити міцність.

**Дослідження призм на стиск.** Для досягнення поставленої мети й реалізації задач були виконані експериментальні дослідження роботи трьох серій кубів та призм із бетонів класів С60, С80 та С100 що дало змогу визначення міцнісні і деформативні характеристики бетонів. Об'єм та предмет дослідження зразків кожної серії наведено в табл. 1. Випробування зразків кожної серії проводили у віці бетону 1 доба та 28 діб.

Всього було виготовлено 36 бетонних кубів із розміром ребра 10 см, 18 призм розміром  $15 \times 15 \times 60$  см та 18 призм розміром  $10 \times 10 \times 40$  см. Механічні характеристики бетону (кубова і призмоча мцності) при одноразовому короткочасному навантаженні визначались за стандартними методиками [3, 4].

Випробування призм на стиск виконували в гідравлічному пресі ПГ-250 (з ціною поділки 2,5 кН). Їх навантаження здійснювали ступенями, величина яких приймалася рівною 8...10% від очікуваного руйнівного зусилля. На кожному ступені навантаження робилися витримки протягом п'яти хвилин, для зняття відліків та стабілізації деформацій (рис.1).

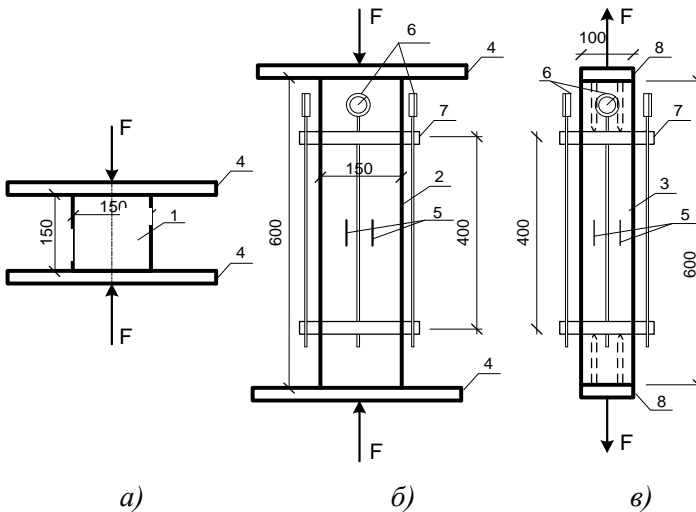


Рис. 1. Схеми випробування і розміри дослідних зразків:  
а) дослідний зразок – куба на стиск; б) дослідний зразок – призми на стиск; в) дослідний зразок – призми на розтяг; 1 – дослідний зразок – куба на стиск; 2 – дослідний зразок – призми на стиск; 3 – дослідний зразок – призми на розтяг; 4 – нижня та верхня траверса гідравлічної установки ПГ-250; 5 – тензорезистори; 6 – індикатори годинникового типу з ціною поділок 0,001 мм на базі 400 мм; 7 – кріплення індикаторів у вигляді сталевих рамок; 8 - спеціальні закладні анкерні пристрої, які дозволяли випробовувати призми на розтягання

Перед основними випробуваннями призм виконували їх центрування по фізичній осі. Для цього призми навантажувались

до напруження  $\sigma_c = 1,7$  МПа, після чого визначались розбіжності в показниках чотирьох індикаторів. За наявності помітної розбіжності в показниках призми переміщувалися на нижній плиті преса в напрямку індикатора, який мав менші показники, і навантаження повторювалися до тих пір, поки різниця в показниках не перевищувала 10%. Центрування призм по фізичній осі досягалися за три – чотири попередніх навантаження (рис.1).

Під час випробування бетонних призм поздовжні деформації бетону на кожній ступені навантаження контролювали індикаторами годинникового типу 2 МИГ ( з ціною поділки 0,002 мм), які були розташовані на чотирьох гранях призми і кріпились до тіла бетону за допомогою спеціальних утримувачів, які приклеювались до призми епоксидною смолою. База вимірювання індикатора складала 400 мм.

Таблиця 1

Об'єм експериментальних досліджень

№ серії	Вид зразків	Розмір зразків, см	К-сть зразків	Предмет досліджень
1	Куби	10×10×10	12	Кубова міцність бетону у віці 1 доба та 28 діб.
	Призми	15×15×60	6	Призмova міцність бетону на стиск, модуль пружнопластичності.
	Призми	10×10×40	6	Призмova міцність бетону на розтяг.
2	Куби	10×10×10	12	Кубова міцність бетону у віці 1 доба та 28 діб.
	Призми	15×15×60	6	Призмova міцність бетону на стиск, модуль пружнопластичності.
	Призми	10×10×40	6	Призмova міцність бетону на розтяг.
3	Куби	10×10×10	12	Кубова міцність бетону у віці 1 доба та 28 діб.
	Призми	15×15×60	6	Призмova міцність бетону на стиск, модуль пружнопластичності.
	Призми	10×10×40	6	Призмova міцність бетону на розтяг.

При випробуванні призм на стиск у віці 1 доба були отримані наступні результати: перша серія зразків (бетон класу С60)  $f_{cd} = 28,05$  МПа; друга серія (бетон класу С80)  $f_{cd} = 40,28$  МПа; третя серія (бетон класу С100)  $f_{cd} = 69,37$  МПа.

Параметри діаграми деформування бетону при одноразовому короткочасному навантаженні до руйнування визначались таким чином: призмova міцність  $f_{cd}$  – на підставі визначеного середнього руйнівного навантаження за трьома призмами;  $E_{ck}$ ,  $E_{cd}$ ,  $\varepsilon_{cd}$  і  $\lambda_d$  – визначались, використовуючи формулу

$$E_{cd} = E_{ck}(1 - \lambda_d \eta), \quad (1)$$

яка отримувалась на основі статистичної обробки експериментальних даних. Значення  $E_{b0}$  визначали за формулою (1) при  $\eta = 0$ ,  $E_{cd}$  – при  $\eta = 1,0$ ,  $\lambda_d$  – як відношення  $(E_{ck} - E_{cd}) / E_{ck}$ ,  $\varepsilon_{cd} = f_{cd} / E_{cd}$ . На підставі статичної обробки результатів випробування призм отримані параметри рівняння (1), які наведені в табл. 2. За знайденими параметрами та експериментальними даними побудовані залежності  $\sigma_c - \varepsilon_c$  та  $E_{cd} - \eta = \sigma_c / f_{cd}$  (рис. 2).

Таблиця 2

Параметри рівняння (1) для дослідного бетону

Серія	$f_{cd}$ , МПа	$E_{ck}$ , МПа	$\lambda_d$	$E_{cd}$ , при $\eta = 0,3$ , МПа	$\varepsilon_{cd} \times 10^{-5}$
1	28,05	47273	0,613	38570	153,3
2	40,28	53869	0,388	47591	122,2
3	46,11	63295	0,304	57512	104,7

Також було виконане випробування відповідних бетонних призм у віці 28 діб. В наслідок чого були отримані наступні результати: перша серія зразків (бетон класу С60)  $f_{cd} = 47,1$  МПа; друга серія (бетон класу С80)  $f_{cd} = 57,06$  МПа; третя серія (бетон класу С100)  $f_{cd} = 71,03$  МПа.

Деформування призм у процесі одноразового короткочасного навантаження у віці 28 діб наведено в табл. 3.

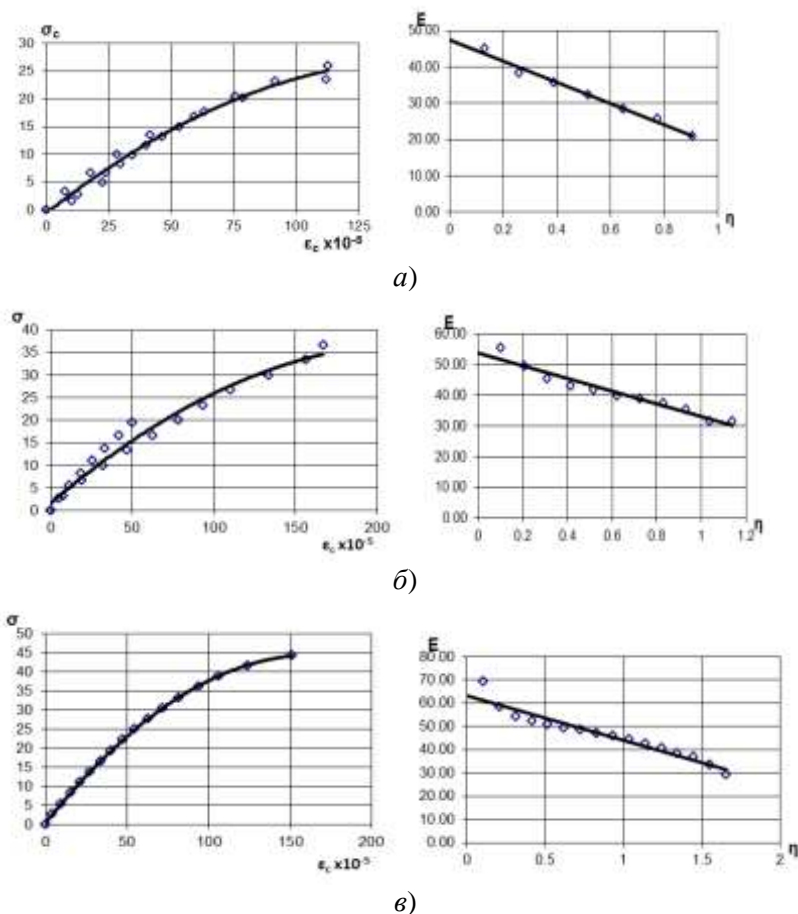


Рис. 2. Діаграми деформування та січний модуль деформацій бетону у віці 1 доба: *a* – перша серія (клас бетону С60), *б* – друга серія (клас бетону С80), *в* – третя серія (клас бетону С100).

Таким чином порівнюючи результати випробувань призм відповідних класів бетонів у віці 1 доба та 28 діб можна зазначити, що міцність бетону у віці 1 доба в порівнянні з міцністю у віці 28 діб відповідно склала: 0,6 для бетону класу С60; 0,7 для бетону класу С80 та 0,65 для бетону класу С100.

Таблиця 3

Деформації бетонних призм на стиск при випробуванні у віці 28 діб

Серія 1 (C60)		Серія 2 (C80)		Серія 3 (C100)	
$\sigma_c$ , МПа	$\varepsilon_c \cdot 10^{-5}$	$\sigma_c$ , МПа	$\varepsilon_c \cdot 10^{-5}$	$\sigma_c$ , МПа	$\varepsilon_c \cdot 10^{-5}$
0	0	0	0	0	0
4.44	9.06	4.44	7.88	5.56	9.75
8.89	25.25	8.89	17.25	11.11	23.00
13.33	39.31	13.33	27.38	16.67	32.25
17.78	52.06	17.78	37.81	22.22	44.06
22.22	64.88	22.22	48.75	27.78	56.44
26.67	78.13	26.67	60.00	33.33	69.13
31.11	91.94	31.11	71.63	38.89	81.25
35.56	98.56	35.56	82.25	44.44	95.56
40.00	120.44	40.00	96.13	50.00	109.75
44.44	139.31	44.44	111.69	55.56	125.94
		48.89	121.63		
		53.33	151.50		
$f_{cd} = 47,1$ МПа		$f_{cd} = 57,06$ МПа		$f_{cd} = 71,03$ МПа	

**Дослідження призм на розтяг.** Визначення міцності на осевий розтяг короточасним навантаженням до руйнування спеціально виготовлених контрольних зразків (див. табл. 1.) виконано згідно [3].

Міцність бетону спеціальних зразків-призм на розтяг для бетонів класів C60, C80 та C100 визначали на розривній машині УММ – 50 (рис. 3). Швидкість прикладення навантаження складала 0,04-0,05 МПа/сек. Конструкція з'єднання захвату зразків з випробувальною машиною - гнучка. Спосіб кріплення захвату до зразків виконували за допомогою анкерів, що закладалися в зразки при його виготовленні. До спеціальних закладних анкерних пристроїв у торцях призм приєднували тримачі, що дозволяли випробовувати їх на розтягання. Відхили розмірів та форми зразків від номінальних, не площинність їх опорних поверхонь, а також не перпендикулярність опорних і бічних поверхонь зразків не перевищували значень, встановлених [3]. Деформації бетону на розтяг вимірювали за допомогою індикаторів годинникового типу ІМІГ з базою 40 см та тензодатчиків з базою 5 см.



Рис. 3. Загальний вигляд випробування призм на розтяг

Середнє значення міцності контрольного бетону при одноразовому навантаженні у віці 1 доба за результатами трьох зразків - призм близнюків складо: перша серія зразків (бетон класу С60)  $f_{ctk, prism} = 2,68$  МПа; друга серія (бетон класу С80)  $f_{ctk, prism} = 3,0$  МПа; третя серія (бетон класу С100)  $f_{ctk, prism} = 3,2$  МПа (табл. 4.).

Таблиця 4  
Деформації бетонних призм на розтяг при випробуванні у віці 1 доба

Серія 1 (С60)		Серія 2 (С80)		Серія 3 (С100)	
$\sigma_{ct}$ , МПа	$\varepsilon_c * 10^{-4}$	$\sigma_{ct}$ , МПа	$\varepsilon_c * 10^{-4}$	$\sigma_{ct}$ , МПа	$\varepsilon_c * 10^{-4}$
0	0	0.0	0	0.0	0
0.30	0.1	0.25	0.25	0.25	0.09
0.86	0.225	0.50	0.27	0.50	0.14
0.90	0.275	1.00	0.38	1.00	0.29
1.20	0.325	1.25	0.42	1.25	0.36
1.30	0.4	1.75	0.64	1.50	0.42
1.80	0.475	2.00	0.71	1.75	0.50
2.10	0.575	2.25	0.79	2.00	0.57
2.40	0.65	2.50	0.87	2.25	0.63
		2.75	0.96	2.50	0.69
				2.75	0.78
$f_{ctk, prism} = 2,68$ МПа		$f_{ctk, prism} = 3,0$ МПа		$f_{ctk, prism} = 3,2$ МПа	



При випробуванні призм на розтяг у віці 28 діб зберігалась тенденція до збільшення призмової міцності аналогічно, як і для випробування призм на стиск. Міцність призм першої серії (бетон класу С60) збільшилася на 21% ( $f_{ctk, prism} = 3,0$  МПа), другої (бетон класу С80) – 17% ( $f_{ctk, prism} = 3,6$  МПа), а третьої (бетон класу С100) на 13% ( $f_{ctk, prism} = 4,06$  МПа). Таким чином за 1 добу призми в середньому по трьом серіям набрали 0,8 від проектної міцності бетону.

#### Висновки.

1. Отримані експериментальні дані випробування високоміцних швидкотверднучих бетонних призм, що відповідають класам бетонів С60, С80, С100, які відсутні в нормативній літературі.

2. Випробування бетонних призм показало, що вже у віці 1 доба бетон в середньому набирає 0,65 проектної міцності при випробуванні призм на стиск та 0,8 при випробуванні призм на розтяг. Це дасть змогу використовувати ці бетони для зведення споруд зі стислими термінами будівництва.

3. Результати мають значну цінність для укріплення обороноздатності країни, національної безпеки та для інших галузей будівництва, зокрема, зведення сейсмостійких споруд, аеродромних покриттів, мостів, тунелів та інших об'єктів, що мають високу ймовірність щодо скоєння терористичних актів.

1. Дворкин Л. И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. - М.: Стройбетон, 2006. - 689 с. 2. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. - М.: Изд-во АСВ, 2006. - 368 с. 3. Бетоны. Методы определения призмочной прочности. ГОСТ 24452 - 80. 4. Бетоны: Методы определения призмочной прочности, модуля упругости. ГОСТ 10180-90. – Взамен ГОСТ 10180-78; Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 45 с. 5. ДБН В.2.6-98-2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. К.: Мінбуд України, 2009. – 71 с.