

**УДК 624.012.044**

**МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ ЗА МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВИСОКИХ РІВНІВ**

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЖЕНИЯХ ВЫСОКИХ УРОВНЕЙ**

**METHOD AND RESULT OF EXPERIMENTAL RESEARCHES ON RESILIENTLY-PLASTIC PROPERTIES OF FINELY-GRAINET CONCRETE UNDER SMALL CYCLE LOADING OF HIGH LEVELS**

**Панчук Ю.М., к.т.н., доцент, (Національний університет водного господарства та природокористування м. Рівне)**

**Панчук Ю.М., к.т.н., доцент, (Национальный университет водного хозяйства и природопользования г. Ривне)**

**Panchuk Y.M., candidate of technical sciences, (National university of water management and nature resources use, Rivne)**

**Наведені методика і результати експериментальних досліджень пружно-пластичних властивостей призм із дрібнозернистого бетону за малоциклових навантажень високих рівнів**

**Приведены методика и результаты экспериментальных исследований упруго-пластических свойств призм из мелкозернистого бетона при малоцикловых нагрузениях высоких уровней**

**Methods and results of experimental researches of elastic-plastic properties of prisms from fine-grained concrete under low-cycle compressive loads of high levels are presented. Samples of prisms, 40x40x160 mm in size, were made and tested from concrete, in which only sand - "fine-grained concrete" was accepted as a filler. At a constant lower load level, which was taken equal to zero, a fixed upper load level was 0.87... 0.96 R<sub>b</sub> for the samples. During the research, the following were recorded: upper-level low-cycle load; the number of loading cycles, the magnitude of the longitudinal and transverse deformations of the concrete during the loading and unloading stages.**

Studies of specimens of prisms made of fine-grained concrete revealed the following features:

- the structure of concrete significantly affects the strength and deformability of the samples under the action of low-cycle loads of high levels;
- the main processes of crack formation under low cycle loads of high levels have arisen in the first cycle;
- for this concrete 3 consecutive stages of deformation are established: I stage - attenuation of growth of deformations; Stage II - stabilization of growth of deformations; Stage III - progressive growth of deformations;
- the values of the maximum deformations of the specimens, determined at the moment before their destruction, increased in comparison with the same, measured on the 1st cycle of loading in the longitudinal direction by 1.74 times, and in the transverse - 6.54 times;
- fine-grained concrete has a more homogeneous structure and, accordingly, a higher limit of low-cycle fatigue, the value of which was 0.906.

**Ключові слова:**

Бетон, напруження, деформація, малоциклові навантаження  
Бетон, напряжение, деформация, малоцикловые нагружения  
Concrete, tension, deformation, small cycle loading

Задачі проектування та виробництва економічних конструкцій, здатних забезпечити надійну роботу будівель та споруд під час всього періоду експлуатації, вирішуються удосконаленням розрахунку конструкцій з урахуванням особливостей роботи бетону в реальних умовах. Будівельні конструкції піддаються дії малоциклових навантажень, вплив яких на міцність і деформативність вивчений недостатньо. Дія таких навантажень може спричинити в конструкціях руйнування особливого виду, коли деформації конструкції необмежено зростають за повторних навантажень, що не перевищують одноразового граничного навантаження.

Для більш повного вивчення особливостей міцнісних та деформативних характеристик бетону в дослідній лабораторії були виготовлені та випробувані зразки призм, розміром 40x40x160 мм, з бетону, в якому в якості заповнювача прийнятий тільки пісок – «дрібнозернистий бетон». Вважалось, що такий бетон є більш однорідний, а результати його випробувань – більш достовірними.

Бетонні зразків призм були виготовлені із шлакопортландцементу Здолбунівського цементно-шиферного комбінату марки М 400. В якості заповнювача для цементно-піщаного бетону застосовували кварцевий пісок Полянського кар'єру Славутського району Хмельницької області з модулем крупності  $M_{кр} = 1,82$ , попередньо відмитий від глинистих та пілуватих домішок. Зерновий склад піску для бетону наведений в таблиці 1.

Таблиця 1

## Зерновий склад піску

Залишки на ситах	Розміри отворів сит (мм)					Пройшло через сито 0,14 мм
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
в грамах	-	-	155,4	521,4	312,2	11,0
частинні, %	-	-	15,4	52,14	31,22	1,10
повні, %	-	-	15,4	67,68	98,80	-

Склад бетону для виготовлення зразків призм наведений в табл. 2.

Таблиця 2

## Склад дрібнозернистого бетону

Вид бетону	Цемент кг/м <sup>3</sup>	Пісок кг/м <sup>3</sup>	Щебінь кг/м <sup>3</sup>	Вода л/м <sup>3</sup>	Добавка л/м <sup>3</sup>	Осадка конуса, см
Дрібнозернистий цементно-піщаний (ДЗБ)	400	1500	-	200 В/Ц= =0,5	-	7...8

Бетонну суміш зразків виготовляли в лабораторних умовах. Після перемішування сухих компонентів цементу і піску додавали необхідну кількість води до тих пір, поки усадка конуса не склала 7...8 см. Зразки призм були виготовлені в горизонтальних формах. Ущільнення бетону виконували на вібростолі лабораторії. Твердіння відформованих зразків відбувалось в металевих формах, накритих зволоженою тканиною в природних умовах лабораторії при температурі 16...18<sup>0</sup>С і вологості 53...71%. Розпалублені зразки призм набирали міцність у вологому середовищі на протязі 28 діб, наступне збереження зразків відбувалось в природних умовах.

Призми випробували на малоциклові стискаючі навантаження в спеціально розробленій пружинній установці за допомогою гідравлічного домкрату. Перед випробуванням призм виконували їх центрування при навантаженні 0,15...0,20R<sub>b</sub>, досягаючи при цьому, щоб поздовжні деформації, заміряні на гранях, не відрізнялись між собою більш ніж на ±10%. Навантаження зразків до заданого верхнього рівня проводили з постійною швидкістю напружень (0,6±0,2 МПа/с) ступенями рівними 10% від очікуваного руйнівного навантаження. На кожному ступені виконували витримку протягом 4...5 хвилин для того, щоб виділити пластичні деформації. Аналогічно ступенями розвантажували зразки до нижнього рівня, який приймали рівним нулю. Кількість циклів прикладання навантаження на зразки не обмежували, вона визначалась кількістю циклів, які витримував зразок до руйнування. Поздовжні та поперечні деформації вимірювали тензорезисторами з базою 20 мм, наклеєними на чотирьох бічних гранях в поздовжньому та поперечному напрямках. Фіксацію деформацій

проводили відразу після прикладання відповідного ступеня навантаження і в кінці витримки, що дозволило виділити пружні деформації і деформації швидкоплинної повзучості. З метою виключення можливого впливу зміни міцності бетону у часі, зразки випробували у значному віці, а саме 410...536 діб. При незмінному нижньому рівні навантаження, який приймали рівним нулю, фіксований верхній рівень навантаження складав для зразків 0,87...0,96  $R_b$ . Під час проведення експериментальних досліджень фіксували: значення верхнього рівня малоциклового навантаження; кількість циклів навантаження, величини поздовжніх та поперечних деформацій бетону на етапах навантаження і розвантаження.

За результатами обробки дослідних даних, отриманих при випробуванні осьовими малоцикловими навантаженнями зразків призм побудовані діаграми залежностей  $\eta - \epsilon_l$ ;  $\eta - \epsilon_{tr}$  (рис.1). На рисунку:  $\epsilon_l$ ,  $\epsilon_{tr}$  - відносні поздовжні і поперечні деформації;  $\eta = \sigma/R_b$  - рівень напруження зразків призм в циклах за малоциклового стиску.

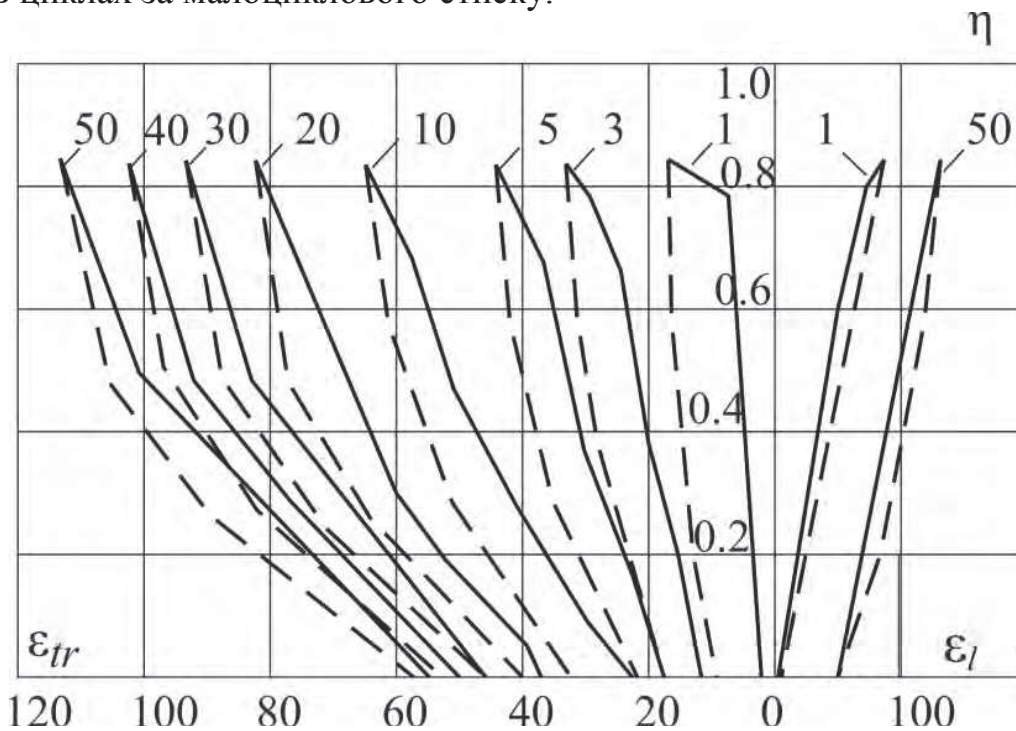


Рис. 1 Зміна поздовжніх і поперечних деформацій бетону  $\epsilon_l \times 10^{-5}$ ;  $\epsilon_{tr} \times 10^{-5}$

Для діаграм поздовжнього та поперечного деформування бетону визначені прирости максимальних і залишкових деформацій, які наведені в таблиці 3.

Як видно з таблиці 3 бетон, випробуваний малоцикловими навантаженнями, проходить три послідовні стадії деформування: стадія I – стадія поступового зменшення приросту деформацій і ширини петель гістерезису; стадія II – стадія стабілізації приросту деформацій, петлі гістерезису на етапах навантажень повторюють одна одну; стадія III – стадія збільшення приросту деформацій, ширини петель гістерезису [1].

Таблиця 3.

Максимальні та залишкові значення приростів поздовжніх і поперечних деформацій бетону, визначені на діапазонах малоциклових навантажень

Діапазон циклічного навантаження $n_{\text{сyc}}$	$\Delta\varepsilon_{bl, \text{max}}$	$\Delta\varepsilon_{bl, \text{min}}$	$\Delta\varepsilon_{btr, \text{max}}$	$\Delta\varepsilon_{btr, \text{min}}$
1...5	4,39	2,30	37,30	17,62
5...10	3,12	0,98	25,34	12,82
10...15	0,40	0,62	13,48	6,12
15...20	1,06	0,70	9,57	5,00
20...25	0,96	-0,05	7,04	4,14
25...30	1,58	0,46	7,22	3,58
30...35	0,19	0,40	5,37	3,35
35...40	1,70	-0,07	5,98	3,42
40...45	2,07	0,27	6,32	3,63
45...50	4,60	0,41	0,56	3,30
50...60	5,77	2,56	38,86	22,19

Стадія I характеризується зменшенням від цикла до циклу на протязі перших 10-ти циклах приростів деформацій бетону внаслідок «вибирання» пластичних деформацій, перерозподілу зусиль між заповнювачем та в'язучим. На цій стадії відбувається «затухання» розуцільнення матеріалу, а також формування основних поздовжніх та поперечних мікротріщин, які надалі розвиваючись, призводять до руйнування структури бетону. На стадії I діаграма « $\sigma - \varepsilon$ » при навантаженні повернута до осі напружень, а при розвантаженні – до осі деформацій, ширина петель пластичного гістерезису поступово зменшується зі зростанням кількості циклічних навантажень.

Для стадії II характерна стабілізація приростів деформацій, деформування бетону набуває пружного характеру, вітки гістерезису висхідні і низхідні практично повторюють одна одну, маючи лінійну залежність.

На стадії III відбувається поступове збільшення приросту деформацій від цикла до циклу, тобто відбувається процес розуцільнення та руйнування бетону внаслідок інтенсивного розвитку утворених на перших циклах навантаження тріщин, а також порушення зв'язку між заповнювачем і цементною матрицею (заповнювач «перемелює» цементну складову бетону). Діаграми « $\sigma - \varepsilon$ » на циклах навантаження і розвантаження обернені до осі

деформацій, ширина віток пластичного гістерезису зростає зі збільшенням кількості циклічних навантажень.

Значення максимальних деформацій бетонних зразків, визначені на момент перед їх руйнуванням, зросли в порівнянні з такими ж, заміряними на 1-му циклі навантаження в поздовжньому напрямку в 1,74 рази, а в поперечному – в 6,54 рази. Руйнування бетонних зразків призм відбувалось внаслідок інтенсивного розвитку, насамперед, поперечних деформацій, викликаних циклічними навантаженнями [3].

Дослідження зразків призм із дрібнозернистого бетону виявили наступні особливості:

- структура бетону суттєво впливає на міцність і деформативність зразків при дії малоциклових навантажень високих рівнів;
- основні процеси тріщиноутворення за малоциклових навантажень високих рівнів виникли на першому циклі;
- для даного бетону встановлені 3 послідовні стадії деформування: I стадія – затухання приросту деформацій; II стадія – стабілізація приросту деформацій; III стадія – прогресивне зростання деформацій;
- значення максимальних деформацій зразків, визначені на момент перед їх руйнуванням, зросли в порівнянні з такими ж, заміряними на 1-му циклі навантаження в поздовжньому напрямку в 1,74 рази, а в поперечному – в 6,54 рази;
- дрібнозернистий бетон має більш однорідну структуру і відповідно вищу межу малоциклової втомленості, значення якої склало 0,906 [2].

1. Панчук Ю.М. Експериментальні дослідження усадки і повзучості крупнозернистого бетону // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник статей –Рівне, НУВГП, 2012, (вип.23). –С/ 372-377.

Panchuk YU.M. Eksperymental'ni doslidzhennya usadky i povzuchosti krupnozernystoho betonu // Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy: Zbirnyk statey –Rivne, NUVHP, 2012, (vyp.23). –С/ 372-377.

2. Методика і результати експериментальних досліджень малоциклової втомленості бетону// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник статей –Рівне, НУВГП, 2016, (вип.32). –С.237-242.

Metodyka i rezul'taty eksperymental'nykh doslidzhen' malotsyklovoyi vtomlenosti betonu// Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy: Zbirnyk statey – Rivne, NUVHP, 2016, (vyp.32). –S.237-242.

3. Бабич Е.М., Крусь Ю.А., Панчук Ю.М. Работа мелкозернистого бетона в условиях малоциклового статического нагружения //Изв. вузов. Сер. Строительство. – 1995. №8. –С.26-32.

Babych E.M., Krus' YU.A., Panchuk YU.M. Rabota melkozernystoho betona v uslovyayakh malotsyklovoho statycheskoho nahruzheniya //Yzv. vuzov. Ser. Stroytel'stvo. – 1995. №8. –S.26-32.