

УДК 624.012.044

МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАЛОЦИКЛОВОЇ ВТОМЛЕНОСТІ БЕТОНУ

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ БЕТОНА

TECHNIQUE AND RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES ON LOW-CYCLE FATIGUE OF CONCRETE

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 малоциклової втомленості бетону

Приведены методика и результаты экспериментальных исследований малоциклового усталости бетона

Technique and results of experimental researches on low-cycle fatigue of concrete are given

Ключові слова:

Бетон, малоциклова втомленість

Бетон, малоцикловая усталость

Concrete, low-cycle fatigue

Вступ. Будівельні конструкції зазнають впливу малоциклових навантажень. Дія таких навантажень може спричиняти в конструкції руйнування особливого виду, коли деформації конструкції необмежено зростають за повторних прикладаннях навантаження, що не перевищує одноразового граничного навантаження. Тому при розрахунку міцності конструкцій на малоциклові навантаження однією із основних задач є визначення рівня і кількості циклів навантаження, за якої відбувається стабілізація деформацій. При експлуатації будівельні конструкції можуть зазнавати перевантажень, тобто повторні навантаження перевищуватимуть

розрахункових значень. Такий вплив, після певної кількості циклів навантаження, викликає в матеріалі конструкції необмежене зростання пластичних деформацій, тобто досягнення граничного стану в процесі повторних навантажень (малоциклової втомленості). Для більш повного вивчення малоциклової втомленості бетону в дослідній лабораторії кафедри інженерних конструкцій були виготовлені та випробувані зразки з бетонів на традиційних заповнювачах – «крупнозернистий бетон» (КЗБ-1; КЗБ-2) і зразків, виготовлених з бетону, в якому в якості заповнювача був прийнятий тільки пісок – «дрібнозернистий бетон» (ДЗБ). Вважалось, що дрібнозернистий бетон є більш однорідний, а результати його випробувань – більш достовірними.

Для виготовлення бетонів зразків приймали шлакопортландцемент Здолбунівського цементно-шиферного комбінату марки М 400. В якості заповнювача при виготовленні цементно-піщаного бетону (ДЗБ) приймали кварцевий пісок Полянського кар'єру Славутського району Хмельницької області з модулем крупності $M_{кр} = 1,82$, попередньо відмитий від глинистих та пилюватих домішок. Для приготування крупнозернистого бетону (КЗБ-1) використовували пісок Полянського кар'єру з $M_{кр} = 1,8...2,2$, об'ємною масою $1410...1460 \text{ кг/м}^3$. Зерновий склад піску для бетонів ДЗБ і КЗБ-1 наведений в таблиці 1.

Таблиця 1

Залишки на ситах	Зерновий склад піску 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	-

В якості дрібного заповнювача для бетону КЗБ-2 використовували кварцевий пісок Костопільського кар'єру с. Любаша Рівненської області. Основні характеристики піску визначали відповідно до [1]. Модуль крупності піску склав $M_{кр} = 1,18$, насипна вага - 1320 кг/м^3 , питома вага - 2590 кг/м^3 . Зерновий склад піску наведений в табл.2.

Таблиця 2

Залишки на ситах	Зерновий склад піску Розміри отворів сит (мм)					Пройшло через сито 0,14 мм
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
в грамах	-	4,0	31,0	296,0	484,0	18,5
частинні, %	-	0,4	3,1	29,6	48,4	1,85
повні, %	-	0,4	3,5	33,1	81,5	-

Крупним заповнювачем в зразках із КЗБ-1 використаний гранітний щебінь Вирівського кар'єру Сарненського району Рівненської області фракції 5...20 мм, який мав дробимість в циліндрі 10,7%, щільністю 33,7%, питому вагу 1310...1410 кг/м³. В якості крупного заповнювача для зразків призм із КЗБ-2 приймали щебінь Клесівського кар'єру Сарненського району Рівненської області. Основні характеристики щебеню визначали у відповідності до [2]. Фракція щебеню Б-20, найменша і найбільша крупність зерен щебеню відповідно склала 5 і 20 мм. Насипна вага – 1350 кг/м³, питома вага – 2700 кг/м³, вологість – 0,8%. Гранулометричний склад щебеню наведений в таб.3.

Таблиця 3

Гранулометричний склад щебеню

Залишки на ситах	Розміри отворів сит (мм)				Пройшло через сито 2,5 мм
	20	10	5	2,5	
в грамах	105	563	255	45	32
частинні,%	10,5	5,63	25,5	4,5	3,2
повні,%	10,5	66,8	92,3	96,8	-

В якості добавки для виготовлення крупнозернистого бетону приймали модифікований «Дофен». Склад бетонів для виготовлення зразків призм наведений в табл. 4.

Таблиця 4

Склад крупнозернистого бетону

Вид бетону	Цемент кг/м ³	Пісок кг/м ³	Щебінь кг/м ³	Вода л/м ³	Добавка л/м ³	Осадка конуса, см
Дрібнозернистий цементно-піщаний (ДЗБ)	400	1500	-	200 В/Ц= =0,5	-	7...8
Крупнозернистий (КЗБ-1)	340	665	1150	150 В/Ц= =0,44	-	7...8
Крупнозернистий (КЗБ-2)	416	464	1280	180 В/Ц= =0,43	24	5...9

Бетонну суміш (ДЗБ) 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. Виготовлення бетону (КЗБ-1) здійснювали на бетонному вузлі Рівненського

ДБК в бетонозмішувачі з ємністю 1500л, а бетон (КЗБ-2) був виготовлений на Рівненському заводі залізобетонних конструкцій.

Зразки призм 4x4x16 см (ДЗБ), 10x10x40 см (КЗБ-1) і 15x15x60 см (КЗБ-2) були виготовлені в горизонтальних формах [3]. Ущільнення бетонів ДЗБ і КЗБ-2 виконували на вібростолі лабораторії кафедри інженерних конструкцій, а бетону КЗБ-1 – на вібротрамблері формовочного цеху ДБК. Твердіння відформованих зразків з ДЗБ і КЗБ-2 проходило в металевих формах, накритих зволоженою тканиною в природних умовах лабораторії при температурі 16...18⁰С і вологості 53...71%, а зразки з КЗБ-1 тверділи в пропарювальній камері ДБК. Після розпалублювання зразки з КЗБ-1 і КЗБ-2 знаходились в природних температурно-вологісних умовах лабораторії, а розпалублені зразки призм з ДЗБ набирали міцність у вологому середовищі на протязі 28 діб, наступне збереження зразків відбувалось в природних умовах.

Призми розмірами 4x4x16 см, виконані з ДЗК випробували на малоциклової стискаючі навантаження в спеціально розробленій пружинній установці. Зразки призм 10x10x40 см з КЗБ-1 і 15x15x60 см з КЗБ-2 досліджували на вплив циклічних навантажень на гідравлічному пресі П-250 Армавірського заводу. Перед випробуванням призм проводили їх центрування при навантаженні 0,15...0,20R_b, 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 проводили розвантаження зразків до нижнього рівня, який приймали рівним нулю. Кількість циклів прикладання навантаження на дослідні зразки при випробуваннях не обмежували, вона визначалась числом циклів, які витримував зразок до руйнування. З метою виключення можливого впливу зміни міцності бетону у часі, зразки випробували у значному віці, а саме 410...536 діб (ДЗБ); 143...178 діб (КЗБ-1); 350...371 і 601 доби (КЗБ-2). При незмінному нижньому рівні навантаження, який приймали рівним нулю, фіксований верхній рівень навантаження складав для зразків з (ДЗБ) - 0,87...0,96 R_b; з (КЗБ-1) - 0,82...0,95 R_b і з (КЗБ-2) - 0,78...0,88 R_b. Дві призми з КЗБ-2 були випробувані малоцикловими навантаженнями з рівнем навантаження у діапазоні 0...0,6 R_b у віці 598 і 601 доби. Під час проведення експериментальних досліджень фіксували: значення верхнього рівня малоциклового навантаження; кількість циклів навантаження до руйнування зразка. Результати досліджень призм, випробуваних на малоциклової втомленість наведені в таблиці 5. Для описання малоциклової втомленості бетонів призм приймали дрібно-лінійну функцію у вигляді залежності η_{cyc} - η_{cyc} .

Таблиця 5

Результати досліджень призм з ЗДБ, КЗБ-1 і КЗБ-2 на малоцикловоу
втомленість

Дрібнозернистий бетон (ДЗБ)		Крупнозернистий бетон (КЗБ-1)		Крупнозернистий бетон (КЗБ-2)	
Верхній рівень малоциклового навантаження η_{top}	Кількість циклів до руйнування n_{cyc}	Верхній рівень малоциклового навантаження η_{top}	Кількість циклів до руйнування n_{cyc}	Верхній рівень малоциклового навантаження η_{top}	Кількість циклів до руйнування n_{cyc}
0,96	6	0,95	7	0,88	31
0,96	6	0,95	3	0,88	16
0,95	4	0,93	5	0,86	21
0,95	2	0,93	2	0,86	16
0,95	5	0,92	7	0,85	18
0,95	11	0,91	8	0,85	12
0,94	13	0,90	14	0,82	25
0,94	18	0,89	7	0,82	42
0,93	23	0,89	16	0,80	32
0,93	5	0,89	3	0,80	26
0,92	5	0,89	31	0,80	22
0,92	5	0,88	24	0,78	64
0,92	2	0,87	8	0,78	76
0,91	5	0,86	17	0,78	89
0,91	2	0,86	43	0,60	40*
0,91	54	0,84	5	0,60	30*
0,90	25	0,82	42		
0,90	>100	0,82	13		
0,88	38	0,82	4		
0,87*	>500				

* зразки свідомо доведені до руйнування

для ДЗБ:

$$\eta_{cyc} = 1 - 0,094(n_{cyc} - 1)/(n_{cyc} + 2,499); \quad (1)$$

для КЗБ-1:

$$\eta_{cyc} = 1 - 0,159(n_{cyc} - 1)/(n_{cyc} + 3,606); \quad (2)$$

для КЗБ-2:

$$\eta_{cyc} = 1 - 0,253(n_{cyc} - 1)/(n_{cyc} + 11,490); \quad (3)$$

З залежностей (1-3) випливає, що за граничних значень вони набувають фізичного змісту, так при $n_{cyc} \rightarrow \infty$ значення $\eta_{cyc} = 0,906; 0,841$ і $0,747$ відповідають межах малоциклової втомленості відповідно для ДЗБ; КЗБ-1 і КЗБ-2. Малоциклова втомленість бетонів відповідно до залежностей (1-3) являє собою криву гіперболічного типу в координатних осях «рівень напружень η_{cyc} – кількість циклів навантаження n_{cyc} », що витримує зразок до

руйнування (рис.1). В роботах [4,5,6,7] доведено, що із зміною структури бетону за рахунок крупності заповнювачів, відповідно змінюються рівні навантажень, які відповідають нижній і верхній межі мікротріщиноутворення. В цих роботах встановлено, що крупна фракція, як структурний елемент бетону, являється концентратором напружень і призводить до виникнення полів напружень на контакті матриці і заповнювача, а саме на цих контактах утворюються мікротріщини [8]. Отже присутність крупного заповнювача в бетонах КЗБ-1 і КЗБ-2, а також проходження хімічних процесів в цементній складовій КЗБ-2, обумовлених впливом добавки «Дофену» на цементну складову і процесами усадки бетону, знижують межу малоциклової втомленості. Відсутність крупного заповнювача, а також більш однорідна структура матеріалу в зразках, виконаних з КЗБ, призводять до підвищення межі малоциклової втомленості в порівнянні з бетонами КЗБ-1 і КЗБ-2.

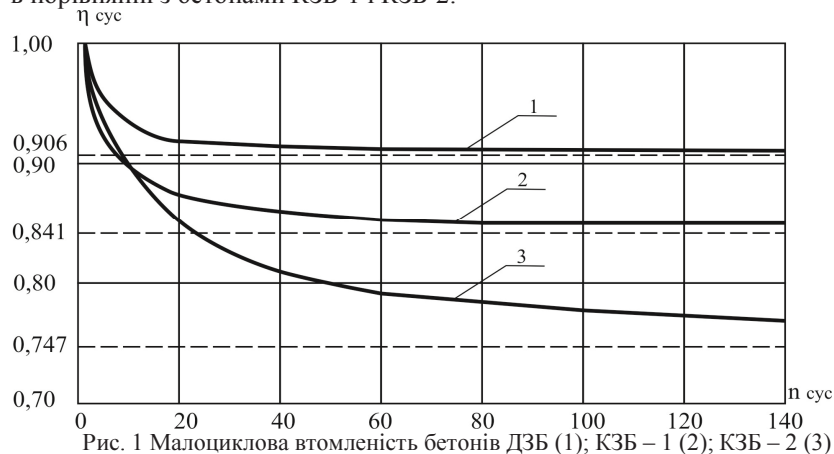


Рис. 1 Малоциклова втомленість бетонів ДЗБ (1); КЗБ – 1 (2); КЗБ – 2 (3)

1. ГОСТ 8735-88*. Песок для строительных работ. Методы испытаний. - М.: Издательство стандартов, 1988.-29 с. 2. ГОСТ 8269-87*. Щебень из естественного камня, гравий и щебень и з гравия для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1986. -15 с. 3. ГОСТ 22685-77. Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1977. -9 с. 4. Голуб А.В. Особенности прочностных и деформативных свойств бетона со шлаком ТЭС и их учет при расчете железобетонных конструкций: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1990. -22с. 5. Яшин А.В. О некоторых деформативных особенностях бетона при сжатии. – В кн.: Теория железобетона. – М.: Стройиздат, 1972. С. 131-137. 6. Бабич Е.М., Крусь Ю.А., Панчук Ю.Н. Методика и результаты экспериментальных исследований малоциклового усталости тяжелого бетона //Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях: Тез. докл. межд. науч.-практич. конф. – Сумы, 1994. – С. 172-173. 7. 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. 8. Берг О.Я. Физические основы