

ЗМІНА ВЕЛИЧИНИ ПРОГИНІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК НА ВАПНЯКОВОМУ ПІСКУ ПРИ ДІЇ ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Кушнарьова Г.О., Войтко О.В.

Одеська державна академія будівництва та архітектури
м. Одеса, Україна

АНОТАЦІЯ: Дана стаття описує методику проведення експериментальних досліджень залізобетонних балок на вапняковому піску при дії циклічних навантажень, автори аналізують отримані результати, особливо, зміну величин прогинів цих елементів при дії вказаного виду навантаження.

АННОТАЦИЯ: Данная статья описывает методику проведения экспериментальных исследований железобетонных балок на известняковом песке при действии циклических нагрузок (циклічних навантажень), авторы анализируют полученные результаты, особенно изменение величин прогибов (прогинів) этих элементов при действия указанного вида нагрузки (навантаження).

ABSTRACT: This paper describes the methodology of experimental research conducting of reinforced concrete beams on limestone sand under the action of cyclic loads, the authors analyses the obtained results, especially the changes of the deflections of these elements under the action of indicated type of loading.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: циклічні навантаження, залізобетонні балки, вапняковий пісок.

ВСТУП

Більшість деталей машин та елементів конструкцій піддаються тривалій дії повторно-змінних (або циклічних) навантажень, тобто навантажень, які змінюються від максимального до мінімального значення.

Опір матеріалів таким навантаженням істотно відрізняється від опору статичним навантаженням, а саме тим, що руйнування може

виникнути при напруженнях, які менші не тільки межі міцності, а також межі пружності. Вважають, що матеріал «втомлюється» і змінює свою будову. Тому і виник напрямок, пов'язаний з визначенням здатності матеріалу чинити опір дії циклічних напружень - розрахунки на втомлену міцність (опір втомленості).

Зараз доведено, що при циклічних навантаженнях будова матеріалу не змінюється. Руйнування відбувається внаслідок виникнення розвитку тріщин, які ослаблюють переріз. Необхідність в методах розрахунку втомленості похилого перерізу залізобетонних балок, які виконані із місцевих матеріалів в теперішній час відчувається все більше та більше. Це пов'язано з широким розвитком залізобетонних конструкцій, які включають різні види бетонів та арматури.

Уточнення різних залежностей за допомогою емпіричних поправок, які ураховують ті чи інші особливості конструкцій, є недоцільним та малоперспективним внаслідок значного числа факторів, які впливають на опір згинальних елементів дії поперечної сили.

В роботі [2] наведена задача дослідження циклічного навантаження на прогини в залізобетонних балках на вапняковому піску при зміні різних параметрів.

Метою роботи [2] наведена задача дослідження впливу циклічного навантаження на переміщення та прогини в залізобетонних балках на вапняковому піску при зміні параметрів: прольоту зрізу, коефіцієнту поздовжнього армування, міцності бетону та коефіцієнту асиметрії циклу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В лабораторії залізобетонних конструкцій ОДАБА проведені дослідження по впливу цих параметрів на процес утворення та розвитку похилих тріщин та характер розвитку прогинів при дії циклічних навантажень. Для одержання надійної інформації при мінімальному об'ємі експерименту дослідження проводились з використанням чотирьохфакторного плану Бокса-Бенкіна, який дозволяє оцінити кількісний та якісний вплив окремих факторів, їх взаємодію і одержати область оптимуму як по окремих параметрах, так і з урахуванням їх взаємодії. Умови планування експерименту наведено в табл. 1.

Дослідження проводили на залізобетонних балках з розмірами 10×20×1400 см, армованих двома плоскими каркасами з поздовжньою арматурою періодичного профілю класу А 240С і Вр-І. Балки виготовляли із бетонів на гранітному щебені та вапняковому піску. Вапняковий пісок фракції до 5 мм одержали відсівом із каменевидобування вапняків-черепашників Олександрівського родовища Одеської області. Зразки

піддавали тепловій обробці. Вік зразків до моменту випробування – 9...12 місяців.

Таблиця 1

Дані плану експеримента

Фактори		Рівні навантаження			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Проліт зрізу, а, в долях від d	X_1	1,14	2,0	2,86	0,86
Процент (відсоток) поздовжнього армування, ρ_f , (%)	X_2	1,3	1,8	2,3	0,5
Міцність бетону, f_{cd} , МПа	X_3	17	21	25	4,0
Коефіцієнт асиметрії циклу, ρ_a	X_4	0,25	0,33	0,41	0,08

Дослідження проводили на універсальному гідравлічному пресі ГРМ-2А з пульсатором. Частота прикладання навантаження складала 335 циклів за хвилину. Експериментальні балки досліджували як одно прольотні вільно обперті, навантажені двома зосередженими силами з розрахунковим прольотом 1200 мм.

Перед прикладанням циклічного навантаження проводили статичні випробування зразків поетапним навантаженням до верхньої границі повторного навантаження. Статичні дослідження проводили для визначення статичного руйнівного навантаження та моменту тріщиноутворення.

Рівень навантаження складав від 0,3 до 0,78 статичного руйнівного зусилля. Потім зразки піддавали дії циклічного навантаження при кількості циклів, рівній (0,01; 0,02; 0,03; 0,05; 0,1)·10⁵ циклів та проводили статичні навантаження до верхньої границі повторного навантаження з наступним розвантаженням по етапам. При цьому вимірювали деформації бетону та арматури, установлювали тріщини та заміряли величину розкриття тріщин та прогинів.

У всіх експериментальних зразків розвиток віброповзучості бетону стиснутої зони при наявності похилих тріщин в розтягнутій зоні при дії циклічного навантаження викликає збільшення прогинів.

При збільшенні числа циклів спостерігається ріст прогинів, що свідчить про поступовий ріст пластичних деформацій в стиснутому бетоні та утрату зв'язку розтягнутого бетону з арматурою.

В табл. 2 показані значення прогинів залізобетонних балок на вапняковому піску при випробуванні до верхньої границі повторного навантаження після різної кількості циклів перед руйнуванням.

Таблиця 2

Значення прогинів залізобетонних балок при дії повторного навантаження

Точки плану	Фактори				Прогини $y(f)$ перед руйнуванням, мм
	а	ρ_f	f_{cd}	ρ_a	
	в долях d	%	МПа	0,33	
1	2,86	2,3	21	0,33	2,124
2	2,86	1,3	21	0,33	3,58
3	1,14	2,3	21	0,33	2,034
4	1,14	1,3	21	0,33	1,72
5	2,86	1,8	25	0,33	2,895
6	2,86	1,8	17	0,33	2,059
7	1,14	1,8	25	0,33	1,726
8	1,14	1,8	17	0,33	1,589
9	2	2,3	25	0,33	2,348
10	2	2,3	17	0,33	1,434
11	2	1,3	25	0,33	2,117
12	2	1,3	17	0,33	2,269
13	2	1,8	25	0,41	1,451
14	2	1,8	25	0,25	3,126
15	2	1,8	17	0,41	1,436
16	2	1,8	17	0,25	2,069
17	2,86	1,8	21	0,41	1,775
18	2,86	1,8	21	0,25	3,912
19	1,14	1,8	21	0,41	2,121
20	1,14	1,8	21	0,25	2,121
21	2	2,3	21	0,41	1,56
22	2	2,3	21	0,25	2,516
23	2	1,3	21	0,41	1,705
24	2	1,3	21	0,25	3,281
25	2	1,8	21	0,33	1,168
26	2	1,8	21	0,33	1,168
27	2	1,8	21	0,33	1,168

Статистичною обробкою результатів експерименту одержали математичну модель у вигляді поліному другого ступеню. Повне рівняння

математичної моделі при циклічному навантаженні перед руйнуванням залізобетонних балок на вапняковому піску, має вигляд:

$$Y(x) = 0,155 + 0,194X_1 - 0,089X_2 + 0,106X_3 - 0,283X_4 + 0,334X_1^2 + 0,331X_2^2 + 0,209X_3^2 + 0,286X_4^2 - 0,172X_1X_2 + 0,064X_1X_3 - 0,112X_1X_4 + 0,141X_2X_3 + 0,044X_2X_4 - 0,100X_3X_4 \quad (1)$$

Оцінка мінливості окремих факторів та їх взаємодія дозволяє спростити рівняння, виключити статично незначимі величини й одержати спрощене рівняння:

$$Y(x) = 0,155 + 0,194X_1 - 0,089X_2 + 0,334X_1^2 + 0,209X_2^2 + 0,286X_4^2 - 0,172X_1X_2 \quad (2)$$

По математичній моделі (2) проведено зрівняльний аналіз впливу кожного із факторів на зміну прогинів залізобетонних балок.

На основі проведеного аналізу залежності (2) можна дійти висновку, що на величину прогинів залізобетонних балок на вапняковому піску при циклічному навантаженні при одному й тому же V_{\max} , найбільше впливають проліт зрізу (фактор X_1) та коефіцієнт поздовжнього армування (фактор X_2).

Аналізуючи питання, пов'язане з дослідженням впливу факторів на ріст прогинів, видно, що всі фактори впливають нелінійно на вихідний параметр.

Прогин збільшується по відношенню до середніх значень ($b_0 = 0,115$ мм). При збільшенні прольоту зрізу (фактор X_1) від $1,14d$ до $2,86d$ – прогин збільшується на 20,5%, при зменшенні коефіцієнта поздовжнього армування від 0,023 до 0,013 – на 38,5%.

При цьому обидва фактори, а також фактори X_3 та X_4 , залежать нелінійно. Знак «+» перед ними свідчить про те, що при подальшому збільшенні цих факторів за межею варіювання значного зменшення прогинів не станеться. Взаємодіють між собою фактори X_1 та X_2 .

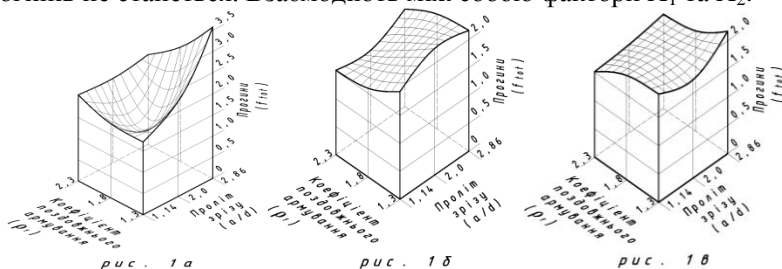


Рис. 1. Прогини залізобетонних балок на вапняковому піску при дії факторів: коефіцієнта поздовжнього армування та прольоту зрізу при постійних міцності бетону f_{cd} та коефіцієнті асиметрії циклу ρ_a

а) $f_{cd} = 21$ МПа, $\rho_a = 0,33$; б) $f_{cd} = 17$ МПа, $\rho_a = 0,33$;

в) $f_{cd} = 21$ МПа, $\rho_a = 0,41$

При одночасному збільшенні X_1 та зменшенні X_2 – прогини збільшуються. Геометрична інтерпретація впливу досліджуваних факторів на границі області варіювання на прогини залізобетонних балок на вапняковому піску показано на рис. 1 (а, б, в).

На рис. 1 показані прогини залізобетонних балок на вапняковому піску при дії циклічних навантажень, які залежать від прольоту зрізу, коефіцієнта поздовжнього армування, міцності бетону та коефіцієнта асиметрії циклу повторного навантаження.

Перевірка адекватності одержаної моделі експериментальних даних дає можливість використання результатів для практичних цілей.

Прогини f_{tot} , обумовлені деформацією зрізу f_q та деформацією згинання f_m , неперервно збільшувались. Найбільш висока інтенсивність росту переміщень (до 70...75%) від повного збільшення спостерігається у залізобетонних балок з прольотами зрізу (2,86 та 2,0)d в перші $1 \cdot 10^3$ циклів, а для малих прольотів зрізу 1,14d – при $10 \cdot 10^3$ циклах повторного навантаження. Стабілізація прогинів не відбувалась.

Впливу коефіцієнтів асиметрії циклу r_a на збільшення прогинів при циклічному навантаженні не відзначалось.

Прогини залізобетонних балок при циклічному навантаженні (f_D), зрівнюючи з прогинами при першому статичному навантаженні (f_s), суттєво збільшуються внаслідок віброповзучості бетону стиснутої та розтягнутої зони, розвитку похилих та нормальних тріщин, порушення зчеплення арматури з бетоном в зоні тріщин.

Вплив призменної міцності на прогини залізобетонних балок проявляється, в основному, при першому статичному навантаженні, інтенсивність росту прогинів при пульсації в балках з різною міцністю бетону відрізняється незначно.

ВИСНОВКИ

1. В залізобетонних балках на вапняковому піску внаслідок зниження значень модулів пружності такого бетону прогини балок при першому статичному навантаженні на 10...20% вище, ніж із важкого бетону.

2. Збільшення прогинів при циклічному навантаженні до руйнування при порівнянні з прогинами при першому статичному навантаженні складає від 8,4 до 94,3%. Із збільшенням рівня навантаження величина приросту прогинів зменшується. При напруженнях, рівних $f_{\text{сгс}}$, виникає ріст прогинів в умовах нелінійної повзучості бетону, що приводить до прискореного розвитку прогинів та руйнування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дорофєєв В.С. Дослідження згинальних елементів конструкцій з дрібнозернистого бетону при дії поперечних сил / Дорофєєв В.С. – Одеса, 1972.
2. Кушнарєва Г.А. Несуча здатність і розрахунок залізобетонних балок на вапняковому піску похилих перерізів при дії багаторазово повторюваного навантаження / Кушнарєва Г.А. - Одеса, 1991.

REFERENCES

1. Dorofeev V.S. Investigation of flexible structural elements of fine concrete when exposed to shear forces / Dorofeev V.S. – Odessa, 1972.
2. Kushnareva G.A. Bearing capacity and calculation of reinforced concrete beams on limestone sand on inclined sections under the action of repeated loads / Kushnareva G.A. – Odessa, 1991.

Стаття надійшла до редакції 29.07.2015 р.