

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ЗГИНАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА, АРМОВАНОГО ЗВИЧАЙНОЮ АРМАТУРОЮ, З УРАХУВАННЯМ ЗМІН № 1 ДО СНиП 2.03.01-84*

У статті наведено результати експериментально-теоретичного дослідження напружено-деформованого стану залізобетонного згинального елемента, армованого звичайною арматурою, з урахуванням Змін № 1 до СНиП 2.03.01-84*. Бетонні та залізобетонні конструкції.

В статті представлені результати експериментально-теоретичного дослідження напружено-деформованого стану залізобетонного згинального елемента, армованого звичайною арматурою, з урахуванням Змін № 1 до СНиП 2.03.01-84*. Бетонні та залізобетонні конструкції.

This article presents the results of experimental-and-theoretical research of stressed-and-strained state of flexible ferro-concrete structural member provided with the conventional steel reinforcement and subjected to bending as per Modification № 1 to SNiP (construction regulations) 2.03.01-84*. Concrete and ferro-concrete structural members.

Вступ

Найбільш поширеними елементами залізобетонних конструкцій є згинальні елементи, напружено-деформований стан яких є об'єктом постійної уваги наукових досліджень.

За наказом Держкоммістобудівництва України від 31 жовтня 1995 р. № 211 з 1 січня 1996 р. на території України введені в дію Зміни № 1 до СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции» (вид. 1989 р.), які передбачають зміни розрахунку бетонних та залізобетонних конструкцій за другою групою граничних станів.

В ряді випадків розрахунок залізобетонних конструкцій за другою групою граничних станів є домінуючим. Із впровадженням змін виник інтерес до реалізації розрахунків з урахуванням СНиП 2.03.01-84*.

Мета досліджень

Порівняння результатів визначення напружено-деформованого стану за СНиП 2.03.01-84* до прийняття Змін № 1 і після прийняття Змін № 1 однопрогонового згинального елемента (балки), який вільно опирається на дві опори, від дії короточасних силових та деформаційних навантажень з результатами експериментальних досліджень зразків, виготовлених з бетонів різних класів, які мають однакові проценти та схеми армування.

Результати досліджень

Для досягнення поставленої мети було проведено аналіз літературних джерел, використано матеріали наукових досліджень та проведено експеримент.

Експериментальні зразки являли собою згинальні елементи, які вільно опираються на дві опори за схемою, що показана на рис. 1.

Для проведення досліджень був прийнятий згинальний елемент розмірами 150x75x1300 мм.

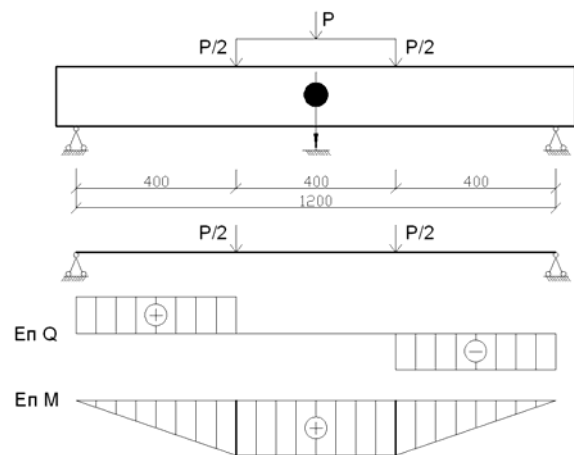


Рис. 1. Схема експериментального дослідження згинального елемента

Експериментальний згинальний елемент був запроєктований за конструкційними вимогами і армований каркасом Кр-1, який показаний на рис. 2.

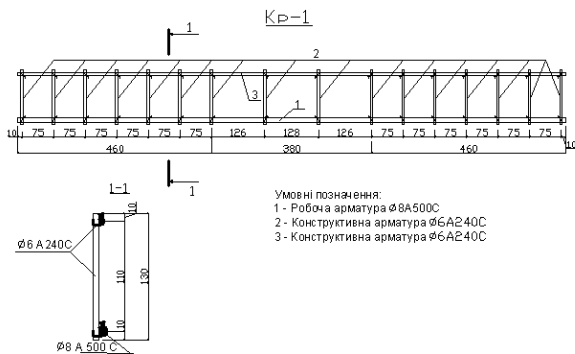


Рис. 2. Схема каркасу Кр-1 для армування експериментального згинального елемента

Для підвищення коректності виконання експериментально-теоретичних досліджень було визначено основні фізико-механічні характеристики вихідних матеріалів:

- як в'яжуче для виготовлення експериментальних зразків було використано портландцемент марки М400 виробництва Криворізького цементного заводу. Для якого лабораторним шляхом було визначено активність цементу;

- пісок для виготовлення експериментальних зразків було використано звичайний річковий, для якого було визначено наступні характеристики: середня густина піску, насипна густина піску, зерновий склад і модуль крупності піску;

- щебінь для проведення досліджень використано гранітний, для якого було визначено наступні характеристики: середня густина щебеню, насипна густина щебеню і його зерновий склад. Найбільшою фракцією щебеню була фракція 20 мм, а найбільший залишок спостерігався на ситі з діаметром отворів 10 мм, що склав 72 % від загальної кількості щебеню на ситах;

- арматура для проведення експериментальних досліджень використана наступна: Ø8 А500С – як робоча арматура розтягнутої зони і Ø6 А240С – як конструктивна і поперечна арматура. Для коректності проведення експериментально-теоретичних досліджень було визначено характеристики арматури, за стандартною методикою на розривній машині УГ20/2;

- для виготовлення експериментальних зразків було використано бетони різних класів. Зразки були поділені на три серії: зразки серії Б1, Б2 та Б3. Для кожної серії виготовлялися наступні зразки: бетонні куби (для контролю міцності бетону); бетонні призми (для визначення модулю пружності і деформацій усадки бетону) і безпосередньо сам згинальний елемент. Зразки однієї серії від зразків іншої серії відрізнялися складом бетону, а саме його В/Ц, але при цьому мали однакову рухливість ОК рівну 10 см. Склади бетонів було визначено відповідно ГОСТ 27006-86. «Бетони. Правила

підбора состава».

За основний склад бетону був прийнятий розрахунковий склад для бетону Б20, склад якого був визначений за допомогою методу абсолютних об'ємів. Згідно розрахунку цей бетон мав В/Ц = 0,637 і показник ОК = 10 см. Цей бетон був прийнятий для експериментального зразка серії Б1.

Для зразків серій Б2 та Б3 було прийнято бетони із зменшеним В/Ц, але для забезпечення необхідної легкоукладальності, тобто ОК, до складу бетонів було додано пластифікуючу добавку ПЛКП-С. Для бетону серії Б2 було прийнято кількість добавки ПЛКП-С у розмірі 1 % від кількості цементу в бетонній суміші. Для бетону серії Б3 було прийнято кількість добавки у розмірі 1,5 % від кількості цементу в бетонній суміші. Склади бетонів були визначені експериментально з використанням методу поступових наближень.

Експериментальне випробування зразків було здійснено на механічному пресі, як показано на рис. 3.

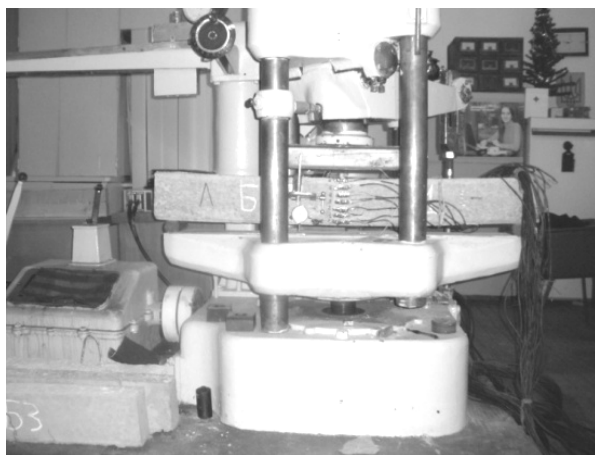


Рис. 3. Випробування експериментального згинального елемента

Випробування згинальних зразків проводилося за стандартною методикою. Елемент був вільно опертий на дві опори і симетрично завантажений двома силами. Для визначення деформацій прогину згинального елемента від навантаження в зоні чистого згину на бокових гранях експериментального зразка було розміщено індикатори годинникового типу (місури).

Навантаження експериментальних зразків згинальних елементів здійснювали ступенево, збільшуючи навантаження на 1,5 кН. Після кожного ступеня навантаження брався відлік деформацій прогину балки, які були занесені в табл. 1 (випробування згинального зразка серії Б1), табл. 2 (випробування згинального зразка серії Б2) і табл. 3 (випробування згинального зразка серії Б3).

Таблиця 1

Таблиця значень прогину балки Б1 від прикладеного до неї навантаження

Навантаження на балку, кН	Відлік деформацій прогину		
	Значення прогину за першим деформометром, мм	Значення прогину за другим деформометром, мм	Середнє значення прогину, мм
0	0	0	0
1,50	0,26	0,23	0,245
3,00	0,56	0,61	0,585
4,50	0,89	0,82	0,855
6,00	1,31	1,22	1,265
7,50	1,69	1,58	1,635
9,00	2,13	1,97	2,05
10,50	2,61	2,42	2,515
12,00	2,89	2,67	2,78
13,50	3,14	2,88	3,01
15,00	3,77	3,41	3,59
16,50	4,50	4,0	4,25
18,00	5,23	4,59	4,91
19,50	5,99	5,25	5,62

Таблиця 2

Таблиця значень прогину балки Б2 від прикладеного до неї навантаження

Навантаження на балку, кН	Відлік деформацій прогину		
	Значення прогину за першим деформометром, мм	Значення прогину за другим деформометром, мм	Середнє значення прогину, мм
0	0	0	0
1,50	0,51	0,51	0,51
3,00	0,79	0,81	0,80
4,50	1,07	1,11	1,09
6,00	1,38	1,45	1,415
7,50	1,67	1,77	1,72
9,00	1,92	2,05	1,985
10,50	2,17	2,31	2,24
12,00	2,40	2,58	2,49
13,50	2,68	2,86	2,77
15,00	3,01	3,19	3,10
16,50	3,33	3,53	3,43
18,00	3,77	4,01	3,89
19,50	4,20	4,45	4,325

Таблиця значень прогину балки БЗ від прикладеного до неї навантаження

Навантаження на балку, кН	Відлік деформацій прогину		
	Значення прогину за першим деформометром, мм	Значення прогину за другим деформометром, мм	Середнє значення прогину, мм
0	0	0	0
1,50	0,30	0,36	0,33
3,00	0,67	0,80	0,735
4,50	0,93	1,11	1,02
6,00	1,22	1,48	1,35
7,50	1,67	1,90	1,785
9,00	2,11	2,31	2,21
10,50	2,50	2,72	2,61
12,00	2,82	3,05	2,92
13,50	3,24	3,45	3,345
15,00	3,73	3,95	3,84
16,50	4,05	4,27	4,16
18,00	4,28	4,50	4,39
19,50	4,53	4,72	4,625

Після визначення прогину експериментальних зразків було побудовано діаграми залежності прогину зразків від прикладеного до них навантаження (рис. 4, 5 і 6).

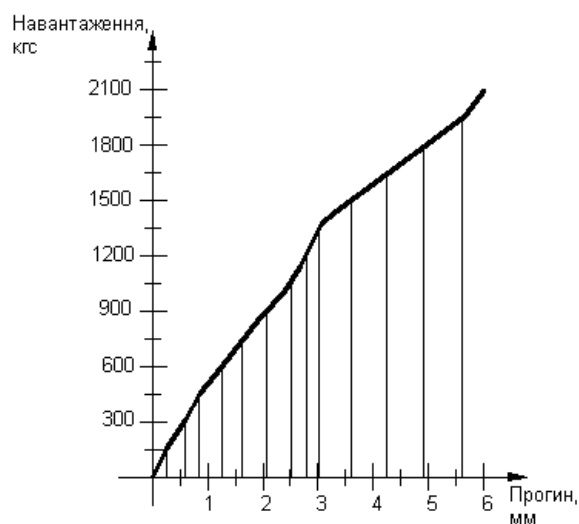


Рис. 4. Діаграма залежності прогину згинального елемента серії Б1 від прикладеного до неї навантаження

З усіх трьох діаграм видно, що руйнування експериментальних зразків відбулося на проміжку навантаження від 19,5 до 21 кН, це підтверджено аналітичним розрахунком, який бу-

ло виконано згідно СНиП 2.03.01-84* за міцністю згинальних зразків.

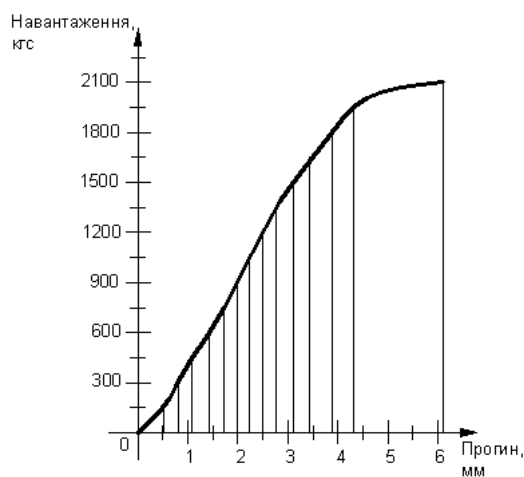


Рис. 5. Діаграма залежності прогину згинального елемента серії Б2 від прикладеного до неї навантаження

Аналітичні розрахунки балок за граничними станами другої групи, а саме з визначення прогину, були виконані з урахування Змін № 1 до СНиП 2.03.01-84* і без урахування Змін, з наступним порівнянням результатів.

Розрахункова формула для визначення кривизни експериментального згинального елемента з

урахуванням Змін № 1 до СНиП 2.03.01-84*:

$$\frac{1}{r_1} = \frac{M \cdot \psi_s}{z \cdot A_s \cdot E_s \cdot (h_0 - x)}, \quad (1)$$

де M – розрахунковий згинальний момент;

ψ_s – коефіцієнт, що враховує роботу бетону на ділянках з тріщинами (визначається за СНиП);

z – відстань від центру ваги арматури A_s (робочої арматури) до точки прикладення рівнодіючої зусиль у стиснутій зоні перерізу над тріщиною;

A_s – площа робочої арматури;

E_s – модуль пружності арматури;

x – висота стиснутої зони.

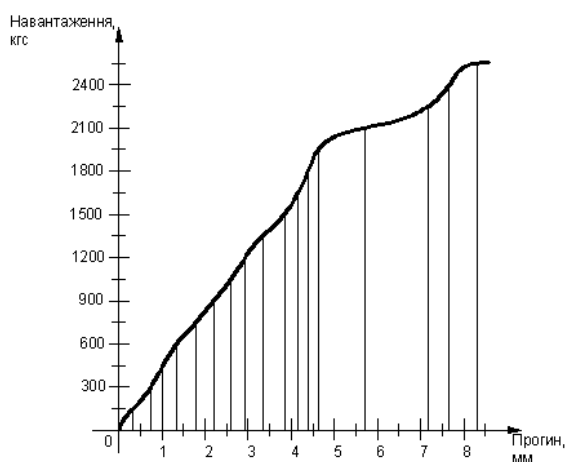


Рис. 6. Діаграма залежності прогину згинального елемента серії БЗ від прикладеного до неї навантаження

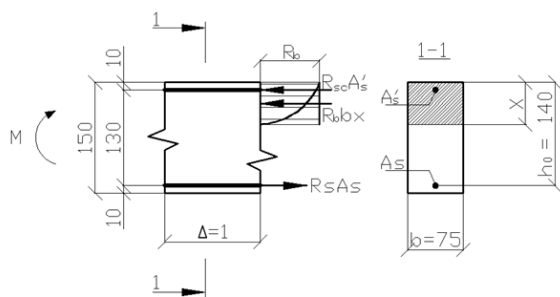


Рис. 7. Схема напружено-деформованого стану згинального елемента

Розрахункова формула для визначення кривизни експериментального згинального елемента без урахування Змін № 1 до СНиП 2.03.01-84* :

$$\frac{1}{r_1} = \frac{M}{h_0 \cdot z} \left[\frac{\psi_s}{E_s \cdot A_s} + \frac{\psi_b}{(\varphi_f + \xi) \cdot b \cdot h_0 \cdot E_b \cdot v} \right], \quad (2)$$

де M – розрахунковий згинальний момент;

ψ_s – коефіцієнт, що враховує роботу розтягнутого бетону на ділянках з тріщинами (визначається за СНиП);

ψ_b – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу деформацій крайнього стиснутого волокна, по довжині ділянки з тріщинами (визначається за СНиП);

φ_f – коефіцієнт для таврового перерізу (в даному випадку = 0);

ξ – відносна висота стиснутої зони бетону;

h_0 – робоча висота перерізу;

z – відстань від центру ваги арматури A_s (робочої арматури розтягнутої зони) до точки прикладення рівнодіючої зусиль у стиснутій зоні перерізу над тріщинами;

E_b – модуль пружності бетону;

E_s – модуль пружності арматури;

b – ширина перерізу;

A_s – площа робочої арматури;

v – коефіцієнт, що характеризує пружно-пластичний стан бетону стиснутої зони (визначається за СНиП).

За методом, наведеним у роботах професора Я. Д. Лівшиця, були визначені деформації прогину балки від впливу усадки бетону.

Результати, отримані під час експериментально-теоретичних досліджень, занесені в таблицю порівняння результатів (табл. 4).

Загальні висновки статті

Аналіз і співставлення отриманих результатів підтверджують необхідність здійснювати розрахунки згинальних елементів за граничними станами другої групи тільки з урахуванням Змін № 1 до СНиП 2.03.01-84*. Крім того, результати експериментально-теоретичних досліджень даної роботи вказують на те, що при проектуванні залізобетонних конструкцій урахування впливу деформацій усадки має бути обов'язковим.

1. Результати розрахунку експериментальних зразків за граничними станами першої групи (за міцністю) практично співпали з результатами експерименту.

2. Розрахунок згинальних елементів за граничними станами другої групи (визначення деформацій прогину), що наведений в Зміні № 1 до СНиП 2.03.01-84*, забезпечує зменшення деформацій, порівняно з розрахунками за СНиП 2.03.01-84*, що переконливо доведено в даній статті.

Порівняльна таблиця основних результатів експериментально-теоретичних досліджень

Серія зразків	Найменування характеристик						
	Середня кубічна міцність бетону, кН	Міцність згинального елемента, кН		Прогин згинального елемента, мм			Експериментальний
		Теоретична	Експериментальна (проміжок навантаження, під час якого відбулося руйнування згинального елемента)	Теоретичний			
				З урахуванням Змін	Від усадки бетону	Без урахування Змін до СНиП	
Б1, В/Ц = 0,637; ОК = 10 см	19,248	20,594	19,5-21,0	3,84	0,076	5,31	5,62
Б2, В/Ц = 0,55 + 1 % ПЛКП-С; ОК = 10 см	33,261	21,118	19,5-21,0	3,77	0,049	5,24	4,33
Б3, В/Ц = 0,51 + 1,5% ПЛКП-С; ОК = 10 см	36,934	21,186	19,5-21,0	3,65	0,036	5,05	4,625

3. При однакових схемах і процентах армування експериментальних зразків на їх несучу здатність несуттєво впливає міцність бетону у визначених межах.

4. Високий рівень тріщиностійкості показали балки, виготовлені з бетону із низьким показником В/Ц відношення, при використанні добавки ПЛКП-С.

Розрахунок згинальних елементів за граничними станами другої групи з урахуванням Змін № 1 дозволяє отримати більш економічні конструкції за рахунок зменшення площі робочої арматури і площі перерізу залізобетонного елемента.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Зміна № 1 до СНиП 2.03.01-84* [Текст]. – К.: Будівництво України. – 1995. – № 6; 1996. – № 1; 1996. – № 3.
2. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М., 1989.
3. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматури для залізобетонних конструкцій [Текст]. – К.: Держспоживстандарт, 2007.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – К.: Мінбуд України, 2006.

5. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – М.: ЦИТП, 1990.
6. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний [Текст]. – М., 1989.
7. ДСТУ Б В.2.7-71-98. Щебень і гравій з щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань [Текст]. – К., 1999.
8. Поправка до ДСТУ Б В.2.7-71-98 [Текст]. – К., Держбуд України, 2004.
9. Улицкий, И. И. Железобетонные конструкции (расчет и конструирование) [Текст]. – 3-е изд., перераб. и доп. / под. ред. И. И. Улицкого. – К.: Будівельник, 1972.
10. Клімов, Ю. А. Сучасні методи розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами другої групи [Текст] : навч. посібник / Ю. А. Клімов. – К.: Редакційно-видавничий відділ КНУБА, 2001.
11. Дворкін, Л. Й. Бетони і будівельні розчини [Текст] : підручник / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін. – К.: Основа, 2008.
12. Лившиц, Я. Д. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона [Текст] / Я. Д. Лившиц. – К.: Вища шк., 1976.

Надійшла до редакції 18.03.2009.

Прийнята до друку 26.03.2009.