



Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.5>

УДК 624.016:624.012.4:624.071



ЖАРКО Л.О.

Канд. техн. наук, доц., зав. відділу, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: zharko@ndibk.gov.ua, тел.: + 38 (066) 722-70-57, ORCID: 0000-0002-5966-1060



ОВЧАР В.П.

Канд. техн. наук, провідний науковий співробітник, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: vovchar@i.ua, тел.: + 38 (067) 784-52-95, ORCID: 0000-0002-3896-2729



БЕЛОКОНЬ А.М.

Інженер I-ї кат. Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна e-mail: a.belokon1407@gmail.com тел.: + 38 (097) 355-14-07, ORCID: 0000-0003-1840-2107



ФЕСЕНКО О.А.

Канд. техн. наук, зав. сектору, Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: fesenko@ndibk.gov.ua, тел.: + 38 (068) 810-64-25, ORCID: 0000-0001-8154-2239

ВИПРОБУВАННЯ НЕРОЗРІЗНОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ З КОНСОЛЯМИ ТА ТРІЩИНАМИ ПІДСИЛЕНОЇ ВУГЛЕПЛАСТИКОМ

АННОТАЦІЯ

В статті йдеться про актуальні випробування нерозрізної залізобетонної балки з консолями та тріщинами, підсиленої вуглепластиком з метою перевірки на фрагменті відповідності проектним вимогам конструкцій перекриття монолітного залізобетонного каркасу кроком 9 м з двома колонами, балкою та її консолями різної довжини при різних заданих навантаженнях ділянок. Дослідний зразок монолітної залізобетонної нерозрізної Т-подібної балки перекриття з полицею шириною 2 м і товщиною 0,2 м, ребром висотою 0,6 м і шириною 0,8 м, прольотом 9 м із двома консольними ділянками 4 м і 2,5 м і двома квадратними опорами 0,6×0,6 м було виготовлено і випробувано в Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». За умов експлуатації балки в натурі проектне вертикальне рівномірно-розподілене навантаження ділянок становить: на лівій консолі – 6,0 т/м, на основному прольоті – 7,0 т/м, на правій консолі – 13,5 т/м. У віці 42 доби балку було навантажено 50% розрахункового навантаження до утворення тріщин в нижній зоні шириною розкриття

до 0,2 мм. Під час підсилення балки з тріщинами використано композитні стрічки на основі епоксидних смол з вуглецевими волокнами, типу S&P CFK-Lamellen, які фіксуються двокомпонентним епоксидним клеєм Resin 220. Анкерування стрічок виконували за допомогою композитних мат типу S&P G Sheet 240 з вуглецевих волокон, котрі були наклеєні на двокомпонентному клею Resin 55. Вуглепластиком підсилено ділянки балки зверху, знизу і по боках. На четверту добу після підсилення балку було випробувано вертикальним рівномірно-розподіленим навантаженням на стенді з силовою підлогою, системою розподілення навантаження гідродомкратами та вимірювальними приладами. Тріщини шириною розкриття 0,1-0,3 мм утворилися на полиці балки на опорі біля довшої консолі, при навантаженні 80 % проектного. Прогини балки при проектному навантаженні становили на кінці консолі 4 м – 33,86 мм, по центру прольоту 9 м – 1,22 мм, на кінці консолі 2,5 м – 0,6 мм; після розвантаження, відповідно – 6,53 мм, 0,24 мм, 0,83 мм. Досліджене конструктивне рішення перекриття монолітного



залізобетонного каркасу кроком 9 м з двома колонами, однопрогонною балкою та її консолями довжиною 4 м і 2,5 м при різних заданих навантаженнях ділянок повністю відповідає проектним вимогам і безпечно для експлуатації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: випробування, нерозрізна залізобетонна балка з консолями, тріщини на опорі, підсилення вуглепластиком, переміщення, прогини, осадка опор, навантаження, аналіз результатів

TESTING OF CRACKED CONTINUOUS REINFORCED CONCRETE CANTILEVER BEAM REINFORCED WITH CARBON FIBRE MATERIAL

ABSTRACT

The paper deals with the up-to-date testing of cracked continuous reinforced concrete cantilever beam which is reinforced with carbon fiber material in order to verify conformity of the beam fragment to design requirements of reinforced concrete frame floor spaced at intervals of 9 m and having 2 columns, a beam and cantilevers of various length at various loads. Test sample of reinforced concrete continuous T-shaped floor beam produced and tested by NIISK has a 2 m wide and 0.2 m thick flange, 0.6 m high and 0.8 m wide web and 9 m panel with two cantilever sections of 4 m and 2.5 m and 2 square supports of 0.6×0.6 m. In field operation of the beam, the design vertical uniformly distributed load is 6.0 t/rm on the left cantilever, 7.0 t/rm on the main panel and 13.5 t/rm on the right cantilever. At the age of 42 days, the beam was loaded with 50% of the design load before 0.2 mm wide cracks occurred in the bottom zone. In reinforcement of the cracked beam, it were used composite carbon-fiber reinforced epoxy tapes of S&P CFK-Lamellen, which were fixed with two-component adhesive of Resin 220. The tapes were anchored by composite glass fibre fabric of S&P G Sheet, 240 glued on two-component adhesive of Resin 55. The beam was reinforced with carbon fibre material up and down and on each side. On day 4 after the reinforcement the beam was tested by vertical uniformly-distributed load on the testing jig which had power floor, hydraulic jack load distribution system and measuring equipment. Cracks with a width of 0.2-0.3 mm formed on the shelf of the beam on a support near the longer console when 80% of the design load. Cracks being 0,1-0,3 mm wide were found on the beam flange resting near the longer cantilever at 80% load of the design one. The beam deflections at design load were 33,86 mm at the end of the 4 m cantilever, 1,22 mm in the center of the 9 m panel and 0,6 mm at the end of the 2.5 m cantilever; after unloading, 6.53 mm, 0.24 mm, and 0.83 mm respectively. The tested structure of reinforced concrete frame floor spaced at intervals of 9 m and having 2 columns, a one panel beam and cantilevers meets the design requirements and is safe for operation at various designed loads.

KEYWORDS: testing, continuous reinforced concrete beam with cantilevers, cracks on the rest, reinforcement with carbon fibre material, displacement, deflections, settlement of supports, loading, analysis of results

ВСТУП

Архітектурне різноманіття сучасних громадських будівель з монолітно-каркасного залізобетону вимагає застосування нерозрізних конструкцій перекриття, в тому числі з консолями різної довжини. В залежності від експлуатаційних вимог навантаження окремих зон перекриття неоднозначне. В усьому світі існує проблема призупинення будівництва та наступного його відновлення, інколи з новими вимогами щодо експлуатації. Конструкції незавершеного будівництва можуть зазнавати пошкоджень тріщиноутворення. Для забезпечення надійності та безпеки щодо механічного опору і стійкості такого перекриття застосовують його підсилення.

Метою дослідження є перевірка на фрагменті відповідності проектним вимогам конструкцій перекриття монолітного залізобетонного каркасу кроком 9 м з двома колонами, балкою та її консолями різної довжини при різних заданих навантаженнях ділянок.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА БАЛКИ

Дослідний зразок монолітної залізобетонної нерозрізної Т-подібної балки перекриття з полицею шириною 2000 мм і товщиною 200 мм, з ребром висотою 600 мм і шириною 800 мм – це однопрольотна конструкція із двома консольними ділянками защемлена по середині висоти квадратних опор перерізом 600×600 мм висотою 2,6 м. Загальна довжина зразка становить 15,5 м; середній проліт – 9 м, ліва консольна ділянка до осі Б – 4 м, права консольна ділянка від осі В – 2,5 м.

Армування ребра зразка балки виконане у вигляді в'язаного просторового каркасу: поздовжнє – $5\emptyset 16(20) + 5\emptyset 25A400C$, поперечне – $\emptyset 8A240C$, крок 100, 200 мм. Армування полиці зразка – двошарове сітками зі стрижнів $\emptyset 10$, $12A400C$, крок 200 мм. Армування колон – просторові каркаси із поздовжніми стрижнями $8\emptyset 20 + 4\emptyset 28A400C$ і поперечними стрижнями $\emptyset 8A240C$, крок 100 мм. Армування зразка балки - полиці (а) і опори-колони (б), показано на рис. 1. Проектний клас бетону дослідного зразка балки – C25/30.

Дослідний зразок балки було виготовлено у випробувальному залі відділу досліджень конструкцій будівель і споруд Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій».

Фактична середня міцність на стиск бетону зразків-кубів становила: у віці 28 діб – 25,93 МПа

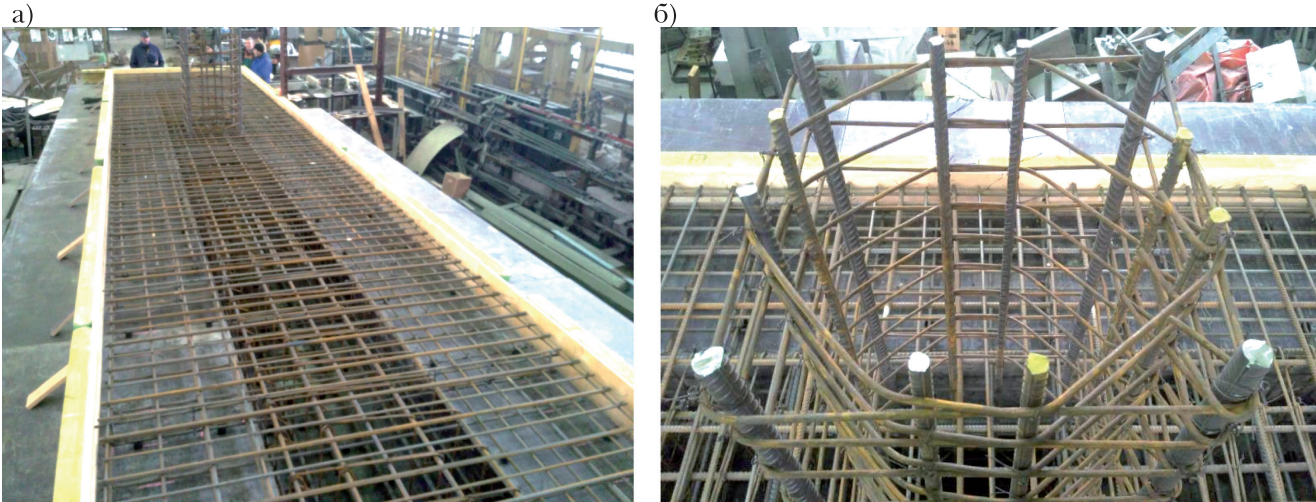


Рисунок 1 – Армування зразка балки: а) армування полиці б) армування опори-колони

(264,57 кгс/см²); у віці 42 доби – 33,94 МПа (346,34 кгс/см²).

За умов експлуатування балки в натурі вертикальне рівномірно-розподілене навантаження ділянок відрізняється (рис. 2а): на лівій консольній – 6,0 т/пм (загалом 24 т), на основному прольоті – 7,0 т/пм (загалом 64 т), на правій консольній – 13,5 т/пм (загалом 33,75 т).

ПІДСИЛЕННЯ БАЛКИ З ТРІЩИНАМИ ВУГЛЕПЛАСТИКОМ

У віці 42 доби балку було навантажено 50 % розрахункового навантаження до утворення тріщин в нижній зоні шириною розкриття до 0,2 мм.

Підсилення балки з тріщинами було виконане фахівцями ТЗОВ «Компанія «Спецпроектбуд». Використано композитні стрічки на основі епоксидних смол з вуглецевими волокнами, типу S&P CFK-Lamellen 100/1,2 мм (150/2000) та S&P CFK-Lamellen 100/1,4 мм (150/2000), S&P CFK-Lamellen 50/1,2 мм (150/2000), S&P CFK-Lamellen 150/1,4 мм (150/2000), які фіксуються двохкомпонентним епоксидним клеєм Resin 220. Витрати клею Resin 220 становили 0,30 кг/мп стрічки, товщина накладання – 1-2 мм. При нерівностях поверхні бетону до 5 мм вирівнювання здійснювали за рахунок додаткових витрат клею. Анкерування стрічок виконували за допомогою композитних мат типу S&P G Sheet, 240 (200 г/м²) з вуглецевих волокон, котрі були наклеєні на двохкомпонентному клею Resin 55 (1,25 кг/м²).

Підсилення було виконано на поверхні балки біля колони Б двома шарами повздовжніх композитних стрічок типу 150/1,4 по ширині в кількості 11 штук з кроком 160 мм на відстані по 2,2 м від осі, біля колони В – одним шаром стрічок типу 100/1,2 по ширині в кількості 7 штук з кроком 200 мм та композитним матом на відстані 2,25 м та 1,25 м від осі. На нижній поверхні балки підсилення було виконано між колонами одним

шаром стрічок типу 100/1,4 по ширині в кількості 5 штук з кроком 125 мм та композитним матом. На бокових поверхнях низу балки біля колони Б – одним шаром композитних стрічок типу 100/1,2 по ширині в кількості 26 штук з кроком 150 мм на відстані по 2,32 м від осі, біля колони В – одним шаром композитних стрічок типу 100/1,2 по ширині в кількості 15 штук з кроком 250 мм на відстані по 2,2 м від осі. Загальний вигляд зразка із підсиленням з боків (а) і знизу (б) на стенді з навантажувальним обладнанням та вимірювальними приладами під час випробувань представлено на рис. 3.

ВИПРОБУВАННЯ БАЛКИ

На четверту добу після підсилення балку було випробувано. Вертикальне рівномірно-розподілене навантаження на зразок прикладалося синхронно від шести гідродомкратів ДГ-100 із двома автоматичними і однією ручною насосними станціями. Гідравлічні домкрати встановлювалися в рамках випробувального стенду, які було закріплено до силової підлоги. Рівномірно розподілене навантаження вздовж осі симетрії зразка передавалося через розподільчі балки із шарнірними опорами, які було рівномірно розташовано по довжині зразка. Схема розташування навантажувального обладнання наведено на рис. 2б.

Навантаження зразка балки здійснювалося ступенями згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.6-7-95 [1]. Відповідно до вимог цього стандарту, після прикладання кожної частки навантаження, зразок було витримано під навантаженням щонайменше 10 хвилин. Після прикладання вертикального рівномірно розподіленого навантаження величиною, що відповідає розрахунковому значенню навантаження, зразок було витримано під цим навантаженням протягом 30 хвилин; перші показання вимірювальних приладів було записано

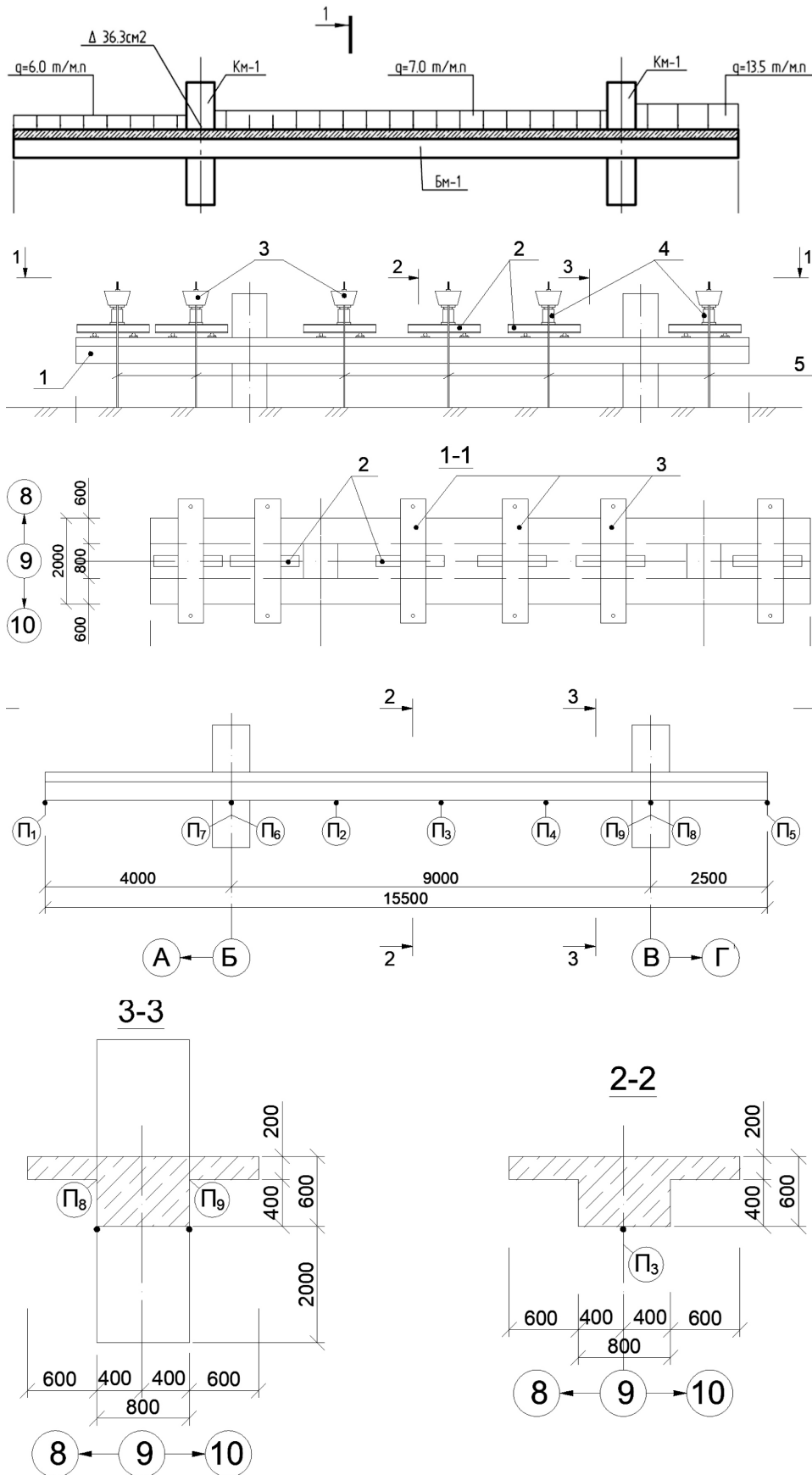


Рисунок 2 – Схема прикладення навантаження і значення навантаження на зразок балки (а); розташування навантажувального обладнання на зразок (б): 1 – зразок балки; 2 – розподільчі балки; 3 – траверси; 4 – гідравлічні домкрати; 5 – тяжі-стійки; розташування вимірювальних приладів (в): П1-П9 – прогиноміри БПАО



Рисунок 3 – Загальний вигляд зразка із підсиленням на стенді з навантажувальним обладнанням та вимірвальними приладами під час випробувань: а – з боків; б – знизу

після витримки протягом 10 хвилин, другі – після повної його витримки.

Після кожного ступеня навантаження виконувався огляд поверхні зразка в зоні випробувань із фіксуванням у журналі випробувань ступеня навантаження, пошкоджень, що з'явилися та результатів вимірювання переміщень.

Для вимірювання переміщень зразка балки було застосовано дев'ять прогиномірів 6ПАО із ціною поділки 0,01 мм. Прогиноміри було встановлено у прольоті зразка (3 шт.), на його опорах (4 шт.) і на кінцях консолей (2 шт.). Схему розташування вимірвальних приладів наведено на рис. 2в.

Після прикладення навантаження, що становило 80 % розрахункового, було зафіксовано появу та розкриття поперечних (нормальних до осі зразка) тріщин шириною 0,1-0,3 мм в полиці плити дослідного зразка на опорі Б на межі лівої консолі,

після розвантаження зразка відбулося закриття цих тріщин.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Переміщення (осадка) опор балки на стадіях навантаження, яка визначалася як середнє з чотирьох показників переміщень за прогиномірами П6-П9, представлена в таблиці 2.

Переміщення (прогини) під час рівномірно розподіленого навантаження по довжині балки з врахуванням осадки опор наведено в таблиці 3.

Прогин кінця консолі 4,0 м значно перевищує усі інші, тому розглянемо їх на окремих графіках. На рис. 5 зображено прогини кінця консолі 4,0 м D1 під час навантаження (1 – 10) – розвантаження (11) з появою тріщин на ступені 8.

На рис. 6 показано прогини балки під час навантаження (1 – 10) – розвантаження (11) з появою тріщин на ступені 8: D5 – кінця консолі 2,5 м;

Таблиця 1 - Значення переміщень дослідного зразка балки, мм

Ступені	Навантаження	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$	$\Delta 6$	$\Delta 7$	$\Delta 8$	$\Delta 9$
1	10%	0,80	0,04	0,03	0,15	0,17	0,01	0	0,01	0
2	20%	1,76	0,08	0,12	0,13	0,44	0,04	0,01	0,02	0
3	30%	2,76	0,11	0,14	0,14	0,42	0,06	0,04	0,03	0
4	40%	4,63	0,11	0,24	0,23	0,48	0,09	0,06	0,04	0
5	50%	6,90	0,14	0,38	0,33	0,52	0,14	0,10	0,07	0,01
6	60%	9,72	0,14	0,58	0,49	0,52	0,20	0,14	0,10	0,01
7	70%	21,61	0,15	0,79	0,76	0,50	0,28	0,18	0,14	0,01
8*	80%	26,95	0,23	0,97	0,86	0,55	0,33	0,21	0,17	0,02
9	90%	30,26	0,23	1,09	1,02	0,66	0,39	0,24	0,19	0,03
10	100%	33,86	0,34	1,22	1,13	0,85	0,45	0,26	0,23	0,04
11	Розвантаження	6,63	0,30	0,34	0,27	0,93	0,17	0,08	0,11	0,04

* – розкриття тріщин у полиці плити зразка на опорі Б

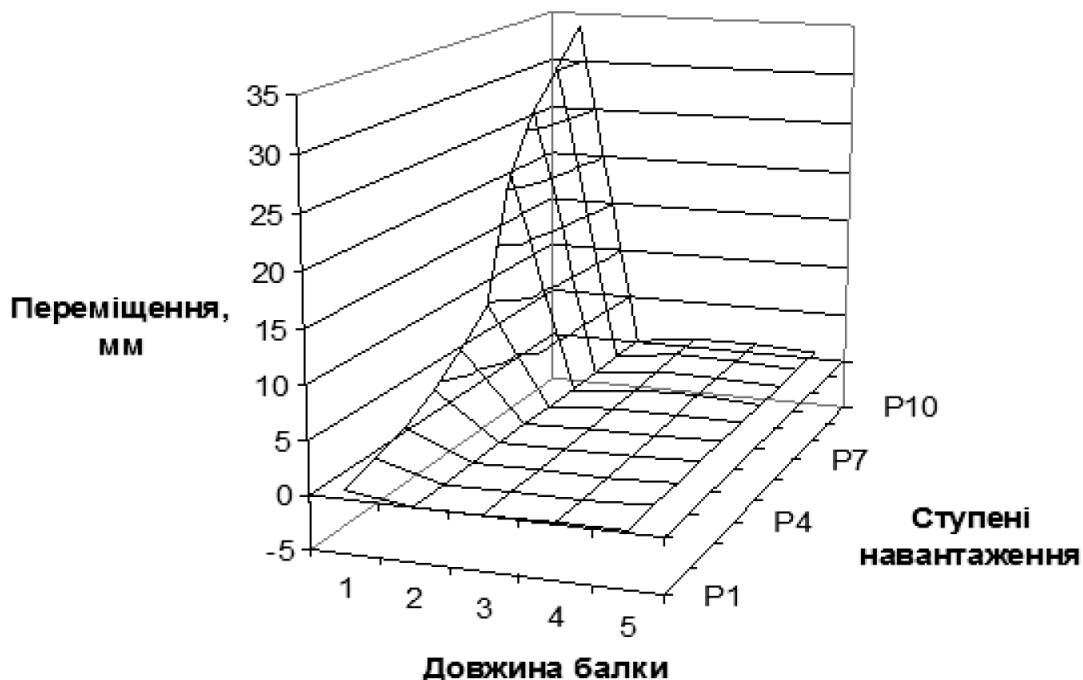


Рисунок 4 – Переміщення ділянок балки під час навантаження P1 – P10

Таблиця 2 - Осадка опор балки

Ступені навантаження	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\Delta = P_x - P_0$	0,005	0,0175	0,0325	0,0475	0,080	0,1125	0,1525	0,1825	0,2125	0,245	0,100

Таблиця 3 - Переміщення (прогини) під час рівномірно розподіленого навантаження по довжині балки, мм

Ступені навантаження	Навантаження	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_3	Δ_4
1	10%	0,795	0,035	0,025	0,145	0,165
2	20%	1,7425	0,0625	0,1025	0,1125	0,4225
3	30%	2,7275	0,0775	0,1075	0,1075	0,3875
4	40%	4,5825	0,0625	0,1925	0,1825	0,4325
5	50%	6,820	0,060	0,300	0,250	0,440
6	60%	9,6075	0,0275	0,4675	0,3775	0,4075
7	70%	21,4575	-0,0025	0,6375	0,6075	0,3475
8*	80%	26,7675	0,0475	0,7875	0,6775	0,3675
9	90%	30,0475	0,0175	0,8775	0,8075	0,4475
10	100%	33,615	0,095	0,975	0,885	0,605
11	Розвантаження	6,530	0,200	0,240	0,170	0,830

Примітка: * - утворення тріщин

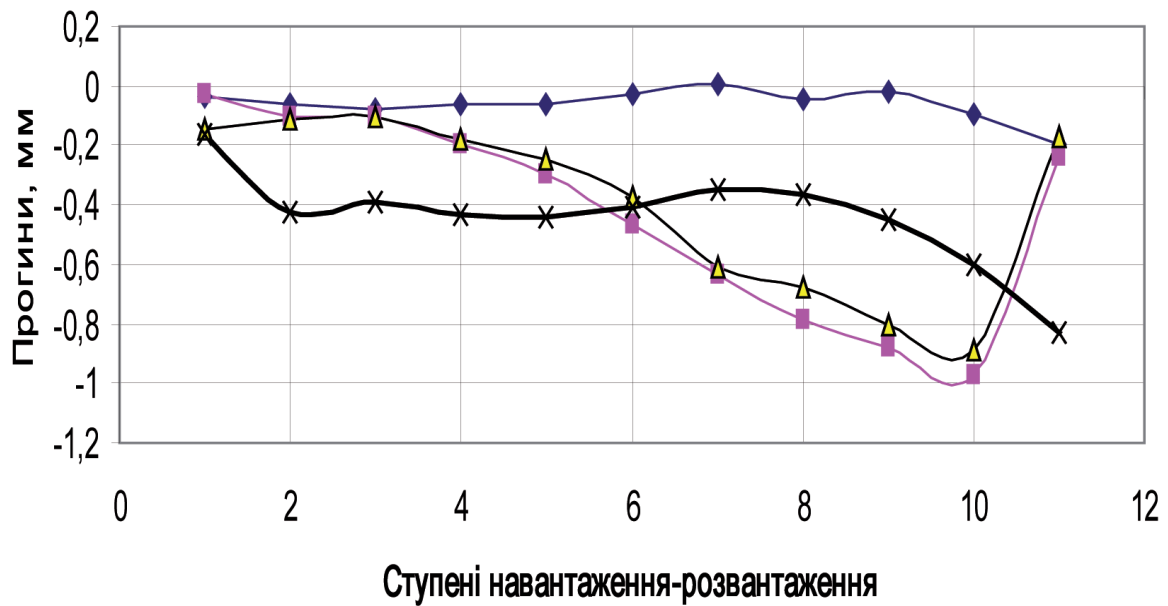


а)

б)



Рисунок 5 – Прогини кінця консолі 4,0 м D1 під час навантаження (1 – 10) – розвантаження (11) з появою тріщин на ступені 8



◆ D2 ■ D3 ▲ D4 × D5

Рисунок 1 – Прогини балки під час навантаження (1 – 10) – розвантаження (11) з появою тріщин на ступені 8: —×— D5 – кінця консолі 2,5 м; —◆— D2 —▲— D4 – в четвертях, —■— D3 – по осі прогону 9,0 м

D2 – D4 – в четвертях, D3 – по осі прогону 9,0 м.

Аналіз графіка на рис. 5 показує, що вільний кінець довгої консолі балки D1 прогинався пружно до і після моменту утворення тріщин, але з різним модулем пружності, після розвантаження залишковий прогин становив 6 мм.

Графік на рис. 6 показав, що прогин вільного кінця короткої консолі D5 після перших трьох ступенів навантаження 0,60 мм в подальшому не

змінювався, але при розвантаженні виріс до 0,83 мм. Початковий прогин D5 може бути спричинений виникненням невиявлених тріщин на опорі В.

В середині прольоту (9,0 м) балка деформувалася як пружне тіло (але з прискоренням після утворення тріщин) з максимальним прогином 0,98 мм і залишковим прогином 0,24 мм.

Нерозрізна балка, защемлена в опорах, з різними величинами рівномірно-розподіленого,



на трьох ділянках, навантаження призвела до незвичного, на перший погляд, характеру прогинів: незмінність деформацій кінця короткої правої консолі і лівої чверті середнього прольоту при навантаженні, та збільшення прогину при розвантаженні балки; майже однаковість прогинів центру і правої чверті середнього прольоту. Незначна величина прогинів лівої чверті середнього прольоту може бути спричинена впливом відносно значних деформацій лівої консолі, а її коливання на ступені 8 – утворенням вторинних тріщин.

Максимальний прогин дослідного зразка балки було зафіксовано для консолі довжиною 4 м, який становив $f = 33,86$ мм, що не перевищує граничне значення прогину $f_u = 2 \cdot l / 150 = 2 \cdot 4000 / 150 = 53,3$ мм, визначене згідно з ДСТУ Б В.1.2-3:2006 [4]. Жорсткість дослідного зразка балки забезпечена.

ВИСНОВКИ

За результатами випробувань дослідного зразка балки, підсиленого вуглепластиком, було встановлено, що зразок витримав усі передбачені розрахункові навантаження без руйнування. Несуча здатність дослідного зразка забезпечена.

Тріщини шириною розкриття 0,1-0,3 мм утворилися на полиці плити балки на опорі біля довшої консолі при навантаженні 80 % проектного. Прогини балки при проектному навантаженні становили на кінці консолі 4 м – 33,86 мм, по центру прольоту 9 м – 1,22 мм, на кінці консолі 2,5 м – 0,6 мм; після розвантаження, відповідно – 6,53 мм, 0,24 мм, 0,83 мм.

Максимальний прогин дослідного зразка балки для консолі довжиною 4 м не перевищує граничне значення прогину 53,3 мм, визначене згідно з ДСТУ Б В.1.2-3:2006 [8]. Жорсткість дослідного зразка балки забезпечена.

Таким чином, досліджене конструктивне рішення перекриття монолітного залізобетонного каркасу кроком 9 м з двома колонами, однопрогонною балкою та її консолями довжиною 4 м і 2,5 м при різних заданих навантаженнях ділянок повністю відповідає проектним вимогам і безпечне для експлуатації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДСТУ Б В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94). Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантажуванням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості.
2. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.
3. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
4. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування.

REFERENCES

1. Concrete and reinforced concrete prefabricated building products. Loading test methods. Rules of strength, rigidity and crack resistance assessment: DSTU B V.2.6-7-95 (GOST 8829-94) (1996).
2. General principles for reliability and constructive safety ensuring of buildings, civil engineering works, civil structures and bases: DBN V.1.2-14-2018 (2019).
3. Concrete and reinforced concrete structures. Basic principles: DBN V.2.6-98:2009 (2011).
4. Deflections and displacements. Design rules: DSTU B V.1.2-3:2006 (2007).

Стаття надійшла до редакції 02.07.2020 року