

УДК 624.012

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОТКОЧАСНИХ ПРОГИНІВ ТА
ШИРИНИ РОЗКРИТТЯ ТРІЩИН В ЗГИНАЛЬНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**RESEARCH OF BRIEF BENDINGS AND SHIRINY OF
OPENING OF CRACKS IS IN THE BENT REINFORCE-
CONCRETE ELEMENTS**

**Бабич В. Є., к.т.н., доцент, Борейчук Л. М., студентка
магістратури (Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне, Україна)**

**Babich V. Ye., cand. of techn. sciences, associate professor,
Boreichuk L. N., student (National University of Water and
Environmental Engineering, Rivne)**

Наведені результати експериментальних досліджень прогинів і ширини розкриття тріщин в згинальних залізобетонних елементах та виконані порівняння їх значень з теоретичними, визначеними за різними методиками.

The results of experimental researches of bendings and width of opening of cracks are resulted in the bent reinforce-concrete elements and comparing of their values is executed to theoretical, certain on different methods.

Ключові слова: згинальні залізобетонні елементи, прогини, ширина розкриття тріщин, розрахунок, порівняння результатів.

Keywords: Bent reinforce-concrete elements, bendings, width of opening of cracks, calculation, comparison of results.

Стан питання та задачі досліджень. В нормах проектування залізобетонних конструкцій [1, 2] в розрахунках прогинів і ширини розкриття тріщин згинальних елементів використані національні досягнення та окремі положення європейського стандарту Єврокод-2 [3]. Достовірність існуючих методик можна перевірити шляхом порівняння з експериментальними даними. Тут можна відмітити,

що в останній час експериментальних досліджень з цих питань виконувється мало. Тому в статті поставлена задача висвітлити результати експериментальних досліджень прогинів залізобетонних балок і розкриття в них тріщин та порівняти їх значення з теоретичними значеннями, визначеними за національними нормами, Єврокод-2 та нормами, які втратили чинність [4].

Дослідні зразки, методика та результати їх випробування.

В комплексі досліджень напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів випробувані три зразки балок (Б-1, Б-2, Б-3) довжиною 200 см з поперечним перерізом 20×10 см (рис. 1).

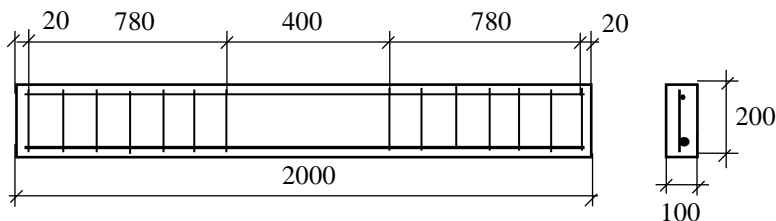


Рис. 1. Конструктивна схема дослідних балок (Б-1, Б-2, Б-3)

Балки виготовлені з бетону, середня призматична міцність якого на момент випробувань складала $f_{cm,prism} = 29,3$ МПа. За кубиковою міцністю бетон близький до класу С 25/30. Армування балок виконано одним стержнем класу А500С діаметром 20 мм. Поперечна і монтажна арматура влаштовані зі стержнів діаметром 6 мм класу А240С.

Балки випробували за схемою навантаження чистого згину, зосереджені сили прикладавали на віддалі від опори 60 см. Розрахунковий проліт балок складав 180 см. Навантажування здійснювалося ступенями, рівними 5 кН. В процесі навантаження вимірювали деформації бетону стиснутої зони, деформації арматури, прогини балок, для чого використовували індикатори годинникового типу, тензometri Гугенберґера та прогиноміри. Ширину розкриття тріщин вимірювали мікроскопом.

За критерій руйнування балок приймали досягнення в крайній стиснутій фібрі бетону максимальних деформацій (роздроблення бетону) або досягнення в нижньому стержні напружень, рівних межі текучості сталі.

Розроблена методика вимірювання переміщень та деформацій дозволила достовірно отримати параметри, які характеризують роботу арматури і балок в цілому під навантаженням. Докладно методика випробовування балок наведена в роботі [5].

Балки зруйнувалися при навантаженнях $F_u = 46,1$, $48,3$ та $47,4$ кН, що відповідає середньому руйнуючому моменту $M_u = 28,3$ кНм. Усереднені результати випробувань по балкам наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Середні результати експериментальних досліджень балок
Б-1, Б-2, Б-3

Навант. $F, \text{кН}$	Згинальн. момент $M, \text{кНм}$	Прогин (заміря- ний), мм	Деформації, $\times 10^5$		Кривизна, $\chi \times 10^5$ 1/см	Прогин (за χ), мм
			бетону ε_c	арматури, ε_s		
0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00
5	3,0	1,64	18,8	23,3	2,48	1,76
10	6,0	3,18	42,8	44,2	5,12	3,65
15	9,0	4,35	60,4	59,1	7,03	5,01
20	12,0	5,65	78,9	78,3	9,25	6,59
25	15,0	7,10	98,9	95,8	11,45	8,16
30	18,0	8,90	120,3	115,0	13,84	9,86
35	21,0	10,90	146,7	143,3	17,06	12,16
40	24,0	12,60	175,1	175,8	20,64	14,71
45	27,0	14,78	210,4	194,1	23,79	16,96

Якщо прийняти середній коефіцієнт надійності за навантаженням рівним 1,3, то величина моменту в експлуатаційній стадії буде дорівнювати $M_k = 21,8$ кНм. За цього значення моменту прогин, виміряний прогиноміром, рівний $f_{exp} = 11,35$ мм, а визначений за кривою – 12,84 мм. Розбіжність між цими значеннями складає 13%, що може свідчити про достовірність виміряних прогинів. Треба зважити на те, що в формулі з визначення прогину за кривою присутній емпіричний коефіцієнт, який може дати певну похибку.

Ширина розкриття тріщини при прийнятому умовному експлуатаційному моменті склала $w_k = 0,14$ мм.

Визначення прогинів за ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Прогини визначалися за відомою формулою будівельної механіки

$$f = k_m \chi l_d^2, \quad (1)$$

де k_m – коефіцієнт, який залежить від розрахункової схеми балки (для

випадку умов експерименту $k_m = 0,2315$):

χ – кривизна елемента;

l_d – розрахунковий проліт балки (в експерименті $l_d = 180$ см).

Для визначення теоретичних значень кривизни елемента використаємо деформаційну модель, в якій діаграма деформування бетону представляється у вигляді поліному п'ятої степені [1]. Методом послідовних наближень, використовуючи методику [2, 5], побудована в табличній формі залежність між деформаціями крайньої фібри стиснутого бетону та деформаціями в арматурі і бетоні, а також визначені значення напружень в арматурі і згинальних моментів (табл. 2).

Таблиця 2

Значення моментів внутрішніх сил M_{Sk} , деформацій матеріалів, напружень в арматурі та кривизни залежно від деформацій крайньої фібри стиснутого бетону

$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{cul,ck}$	$\varepsilon_c \times 10^5$	$\varepsilon_s \times 10^5$	$\chi \times 10^5$, 1/см	σ_s , МПа	M_{Sk} , кН×м
0,1	17,6	33,63	3,01	67,26	3,21
0,2	35,2	64,69	5,87	129,38	6,14
0,3	52,8	93,15	8,58	186,30	8,80
0,4	70,4	119,26	11,15	186,3	11,20
0,5	88,0	143,22	13,60	286,44	13,37
0,6	105,6	165,33	15,93	330,66	15,33
0,7	123,2	185,25	18,14	370,00	17,07
0,8	140,8	203,60	20,25	407,2	18,62
0,9	158,4	219,80	22,24	439,6	19,98
1	176,0	236,17	24,24	472,34	21,27
1,1	193,6	248,82	26,02	497,64	22,29

Теоретичні значення кривизни елемента визначали за формулою

$$\chi = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d}, \quad (2)$$

де d – віддаль від центра ваги нижнього стержня до крайньої стиснутої фібри бетону (в експерименті $d = 17$ см).

Теоретичні прогини визначалися за формулою (1). При значенні згинального моменту $M_k = 21,8$ кНм теоретичне значення прогину складо $f_{ДСТУ} = 10,39$ мм (розбіжність з експериментальним значенням складає 8,4%).

Визначення прогину згідно з Єврокод-2. За цією методикою кривизна елементів визначається за формулою

$$\chi = \xi \chi_{II} + (1 - \xi) \chi_I, \quad (3)$$

де χ_I і χ_{II} – значення кривизни, яка визначається відповідно для перерізу без тріщин та з тріщинами;

ξ – коефіцієнт, який визначається за формулою

$$\xi = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2, \quad (4)$$

де β – коефіцієнт, який враховує вплив тривалості навантаження на середню деформацію ($\beta = 1,0$ – при нетривалій дії навантаження);

σ_{sr} – напруження в розтягнутій арматурі в перерізі з тріщиною при навантаженні, за дії якого утворилася перша тріщина, зазвичай приймається, що перша тріщина утворюється при напруженнях $\sigma_{sr} = 40$ МПа.

σ_s – напруження в арматурі при заданому навантаженні.

При значенні моменту $M_k = 21,8$ кНм за табл. 2 напруження $\sigma_s = 478$ МПа, а коефіцієнт $\xi = 0,993$. За формулами (1) і (3) теоретичне значення прогину складе $f_{евро} = 17,4$ мм (розбіжність з експериментом складає 53 %).

Визначення прогину відповідно до СНиП 2.03.01-84*. Кривизна балок від дії навантажень визначається за формулою (позначення прийняті відповідно до [4])

$$\frac{1}{r} = \chi = \frac{M \psi_s}{z A_s E_s (h_0 - x)}. \quad (5)$$

При дії згинального моменту $M_k = 21,8$ кНм після визначення всіх параметрів, які входять в формулу (5), за формулою (1) теоретичне значення прогину виявилось рівним $f_{СНиП} = 14,71$ мм (розбіжність з експериментальним значенням складо 29,6 %).

Як видно з наведених розрахунків розглянуті методики дають

різні результати, які в різній мірі відрізняються від експериментальних даних. В даному випадку з експериментальними дослідженнями найкраще збігається результат, отриманий за методикою ДСТУ [3]. В роботі [5] розглядалося аналогічне питання, де дослідні балки відрізнялися від наведених в цій статті процентом армування меншим в 1,4 рази. В цій роботі теж отримані теоретичні результати, які суттєво розбігаються з експериментальними, але найкращу збіжність мали прогини, визначені за методикою Єврокоду-2.

Розрахунок ширини розкриття тріщин. В ДСТУ [2] методика визначення ширини розкриття тріщи w_k прийнята такою, як в Єврокод-2 [3]. Вона визначається за формулою

$$w_k = s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{ctm}), \quad (6)$$

де $s_{r,max}$ – максимальний крок тріщин (визначається за емпіричною формулою (5.11) [2]);

ϵ_{sm} – середні деформації в арматурі при відповідному навантаженні;

ϵ_{ctm} – середні деформації бетону між тріщинами.

Різниця $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{ctm})$ знаходиться за формулою 5.9 [2], в основному залежно від напружень в арматурі при відповідному навантаженні. Треба зазначити, що деформації розтягнутого бетону не суттєво впливають на ширину розкриття тріщин (до 10 %). Визначена ширина розкриття тріщи за формулою (6) при напруженнях в арматурі, що відповідають дії згинального моменту $M_k = 21,8$ кНм, виявилася рівною $w_k = 0,17$ мм, що практично співпадає з експериментальним значенням ($w_k = 0,14$ мм).

Відповідно до СНиП 2.03.01-84* ширина розкриття тріщи залежить від напружень в арматурі, діаметра арматури та низки емпіричних коефіцієнтів і визначається за формулою (позначення згідно [4])

$$a_{crc} = \varphi_l \eta \delta \lambda \frac{\sigma_s}{E_s} d \quad (8)$$

Для умов експерименту ширина розкриття тріщин за формулою (8) виявилася рівною 0,26 мм, тобто, майже в 2 рази перевищила значення, отримане в експериментальних дослідженнях.

Висновки.

1. В наведених експериментальних дослідженнях встановлено, що для дослідних балок найкращу збіжність з експериментальними прогинами мають теоретичні значення, знайдені за методикою ДСТУ [2].

2. Теоретичні значення прогинів, визначених за Єврокод-2 та за СНиП 2.03.01-84*, мають суттєву розбіжність з експериментальними.

3. Теоретичні значення ширини розкриття тріщин, визначені за ДСТУ і Єврокод -2, мають задовільну збіжність з експериментальними.

4. Для статистичної оцінки збіжності теоретичних значень прогинів залізобетонних згинальних елементів з дослідними необхідно продовжувати експериментальні дослідження з балками, виготовленими з різних класів бетону та з різними процентами армування.

1. ДБН В.2.6-98: 2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

2. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 166 с.

3. EN 1992-1-1: Eurocode-2. Design of Concrete Structures.- Part I: General rules and rules for Buildings.- Final draft, December 2004.

4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.- 80 с.

5. Бабич В. Є. Аналіз розрахунку деформацій залізобетонних згинальних елементів за різними методиками / В. Є. Бабич, О. Є. Поляновська, Л. М. Борейчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2016. - Випуск 32. – С. 121 – 128.