

УДК 624.012.45

**ПРОГИНЫ ПІДСИЛЕНИХ У СТИСНУТІЙ ЗОНІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВИГОТОВЛЕНИХ НА ВІДХОДАХ
ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ**

**ПРОГИБЫ УСИЛЕННЫХ В СЖАТОЙ ЗОНЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОТХОДАХ
ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ**

**DEFLECTIONS OF THE FERROCONCRETE BENDING ELEMENTS
STRENGTHENED IN COMPRESSION AREA AND MANUFACTURED
FROM THE WASTES OF MINING ORE-DRESSING COMBINES**

Попруга Д.В., к.т.н., доцент, Валовой О.І., к.т.н., професор (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг)

Попруга Д.В., к.т.н., доцент, Валовой А.И., к.т.н., профессор (Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог)

D.V. Popruga, D.Eng., associate professor, O.I.Valovoi, D.Eng., professor (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)

Визначено і проаналізовано прогини залізобетонних згинальних елементів підсиленних у стиснутій зоні при різних способах улаштування контактної шва.

Определены и проанализированы прогибы железобетонных изгибаемых элементов усиленных в сжатой зоне при разных способах устройства контактного шва.

Deflections of the ferroconcrete bending elements strengthened in the compression area are determined and analyzed. The contact seam has been made in a variety of ways.

Ключові слова:

Залізобетон, підсилення, деформація, прогин, кривизна.

Железобетон, усиление, деформация, прогиб, кривизна.

Ferroconcrete, strengthening, deformation, deflection, curvature.

Вступ. У процесі відновлення або підсилення несучих конструкцій, у тому числі й залізобетонних, застосовують різні способи підсилення, частіше за все розтягнутої або стиснутої зони. Спосіб підсилення нарощуванням

стиснутої зони має перевагу у тому, що в разі його застосування відпадає необхідність у зведенні складної системи риштувань, зменшується трудомісткість робіт, а також є можливість значно підвищити несучу здатність, тріщиностійкість та знизити деформативність підсилюваного елемента.

Кривизна та прогини конструкцій безпосередньо впливають на можливість експлуатації їх в тих чи інших умовах. Обмеження прогинів залізобетонних конструкцій установлюють виходячи з технологічних, конструктивних, фізіологічних, естетико-психологічних вимог. При проектуванні залізобетонних конструкцій, у тому числі і підсиленних, очікуваних деформацій виконують розрахунковим шляхом. Розрахунок деформацій (прогинів) підсиленних конструкцій відрізняється великою нерівномірністю та складністю встановлення їх характеристик жорсткості.

Підсилені елементи мають складний напружено-деформований стан, тому аналіз деформативності таких конструкцій є актуальним, враховуючи його недостатню вивченість.

Аналіз останніх досліджень. Вивченню роботи підсиленних залізобетонних конструкцій присвятили свої роботи Л.В.Афанасьєва, А.Я.Барашиков, С.В.Бондаренко, Б.А.Боярчук, Г.В.Гетун, О.Б.Голишев, О.Ю.Єрьоменко, О.Д.Журавський, І.В.Задорожнікова, П.І.Кривошеєв, Є.Ф.Лисенко, Г.А.Молодченко, Л.А.Мурашко, Й.П.Новаторський, Р.С.Санжаровський, П.О.Сунак, Г.Н.Хайдуков, О.Л.Шагін, В.С.Шмуклер, А.Касасбех, Г.В.Чанг, Л.М.Лі, М.А.Максур і багато інших.

Постановка мети і задач досліджень. Метою дослідів було визначити найбільш ефективний спосіб улаштування контактного шва при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні з точки зору зменшення кривизни та прогину.

Перед авторами було поставлене завдання:

- дослідити експериментальним шляхом прогини залізобетонних згинальних елементів підсиленних у стиснутій зоні, які виготовлені з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів;
- порівняти експериментальні значення прогинів з розрахунковими, визначеними за діючими нормами.

Методика і результати досліджень. Для експерименту було виготовлено п'ять серій експериментальних зразків балок, по два у кожній серії. При цьому балки першої (БКП – балки контрольні на пульпі) та другої (БКПТ – балки контрольні на пульпі таврові) серій підсиленню не підлягали та мали прямокутний і тавровий поперечні перерізи відповідно. Балки третьої (БПКП – балки підсилені на клею та на пульпі), четвертої (БПШП – балки підсилені на шпонках та на пульпі) та п'ятої (БПВП – балки підсилені на випусках та на пульпі) серій були підсилені в стиснутій зоні при цьому їх поперечний переріз змінився з прямокутного на тавровий [1].

Дані експериментальних досліджень прогинів дослідних серій балок наведені на рис. 1.

Величина прогинів підсилених балок серії БПКП при рівні навантажень 0,7...0,8 від руйнівного, відповідає значенням непідсиленого зразка БКП-0,5 (зразок серії БКП з пропилом робочої арматури на 50%). Підсилені зразки серій БПВП та БПШП мають прогини, які на 41 % та 43 % менші за величину прогину непідсиленого зразка БКП-0,5 при рівні експлуатаційних навантажень. У той же час слід враховувати, що рівень експлуатаційних навантажень для балок серії БПКП є дещо більшим у порівнянні з іншими серіями підсилених зразків.

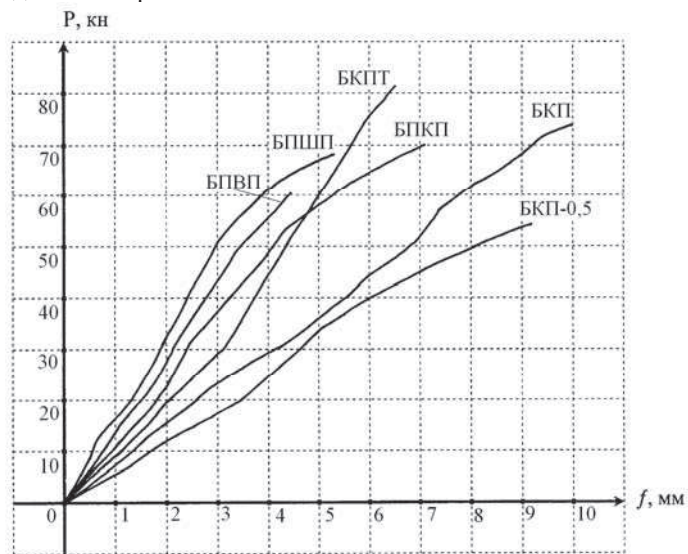


Рис. 1. Розвиток прогинів дослідних залізобетонних балок в залежності від величини прикладеного навантаження.

Величина прогинів підсилених балок серії БПКП при рівні навантажень 0,7...0,8 від руйнівного, відповідає значенням непідсиленого зразка БКП-0,5 (зразок серії БКП з пропилом робочої арматури на 50%). Підсилені зразки серій БПВП та БПШП мають прогини, які на 41 % та 43 % менші за величину прогину непідсиленого зразка БКП-0,5 при рівні експлуатаційних навантажень. У той же час слід враховувати, що рівень експлуатаційних навантажень для балок серії БПКП є дещо більшим у порівнянні з іншими серіями підсилених зразків.

Лінійна залежність $P - f$, яка характерна для усіх дослідних серій балок, є впливом низької деформативності бетонів на відходах збагачення ГЗК [3].

Кривизна залізобетонних елементів з нормальними тріщинами у розтягнутій зоні має вигляд:

$$(1/r) = \frac{M\psi_s}{zA_sE_s(h_0 - x)}, \quad (1)$$

де z – відстань від центру ваги площі перерізу розтягнутої арматури до точки, у якій прикладена рівнодіюча нормального зусилля у бетоні стиснутої зони:

$$z = (h_0 - x/3) \left\{ \frac{1 + \lambda \frac{h_0 - 0,5h'_f}{h_0 - x/3}}{1 + \lambda} \right\}, \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{(2 - h'_f/x)(b'_f - b)h'_f}{bx}, \quad (3)$$

де M – згинальний момент відповідного зовнішнього навантаження відносно осі нормальної до площини згинального моменту і яка проходить через центр ваги площі перерізу арматури;

ψ_s – коефіцієнт, який враховує роботу розтягнутого бетону на ділянках між тріщинами;

A_s – площа перерізу розтягнутої арматури;

E_s – модуль пружності розтягнутої арматури.

Розрахунок залізобетонних елементів за деформаціями виконують за умови, що прогини або переміщення конструкції f_m від дії зовнішнього навантаження не повинні перевищувати граничнодопустимих значень прогинів або переміщень f_u . Граничнодопустимі прогини f_u слід призначати згідно з ДСТУ Б В.1.2-3. При дії постійних і змінних тривалих, а також і короточасних навантажень прогин залізобетонних елементів в усіх випадках не повинен перевищувати 1/150 прогону та 1/75 вильоту консолі [2].

Прогин дослідної балки у середині прольоту від дії зовнішнього навантаження обчислюють за формулою:

$$f_m = \rho_m (1/r) l_0^2, \quad (4)$$

де ρ_m – коефіцієнт, який залежить від розрахункової схеми елемента і виду навантаження; для випадку навантаження двома зосередженими силами у третинах прольоту $\rho_m = 0,106$; l_0 – розрахунковий проліт дослідної балки.

Для коротких згинальних елементів у яких $l_0/h < 10$, при визначенні прогину необхідно враховувати вплив поперечних сил. У цьому випадку повний прогин f буде дорівнювати сумі прогинів, які викликані відповідно дією деформацій згину f_m та деформацією зсуву f_q , тобто

$$f = f_m + f_q, \quad (5)$$

Прогин обумовлений деформацією зсуву, визначають за формулою:

$$f_q = \frac{1,5Fl_0\varphi_{crc}}{4Gb h_{0red}}, \quad (6)$$

де G – модуль зсуву бетону;

φ_{crc} – коефіцієнт, який враховує вплив тріщин на деформації зсуву, його приймають для ділянок де є як нормальні так і похилі тріщини, за формулою:

$$\varphi_{crc} = \frac{3E_b I_{red}}{M} (1/r), \quad (7)$$

У табл. 1 наведені результати розрахунків прогинів у дослідних балках, а також порівняння їх з експериментальними величинами.

Таблиця 1

Порівняння дослідних і розрахункових прогинів балок

№ п/п	Найменування величини	Розрахункові та експериментальні величини балок серії					
		БКП	БКПТ	БКП- 0,5	БКП	БПШ Ц	БПВП
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Розрахункове значення згинального моменту при якому визначався прогин, кН×м, M	37,5	39,9	24,8	33,8	31,6	32,2
2.	Розрахункова кривизна елемента, 1/мм, $(1/r) \times 10^{-6}$	25,32	8,59	15,5	15,8	14,78	15,06
3.	Розрахунковий прогин викликаний деформацією згину, мм, $f_m^{розр}$	8,71	3,35	5,43	3,95	5,08	5,17
4.	Розрахунковий прогин викликаний деформацією зсуву, мм, $f_a^{розр}$	0,95	0,47	0,59	0,49	0,46	0,47
5.	Розрахунковий прогин, мм, $f^{розр}$	9,69	3,82	6,03	5,92	5,54	5,64
6.	Експериментальний прогин, мм, $f^{експ}$	8,1	4,6	4,6	4,7	2,6	2,7
7.	$f^{експ} / f^{розр}$	0,84	1,20	0,76	0,79	0,47	0,48

На основі аналізу отриманих даних прогинів (табл. 1) встановлено, що майже в усіх дослідних серіях балок експериментальні прогини менші за розрахункові на 16–53 %, таке перевищення можна пояснити низькою деформативністю бетонів на відходах ГЗК наслідком чого є фактичне зменшення прогинів дослідних зразків [3].

У зразках контрольної серії БКПТ, навпаки, експериментальний прогин перевищує розрахунковий на 20%, що пов'язане з проковзуванням поздовжньої арматури зразків [6].

Висновки. Аналізуючи отримані дані встановлено, що всі способи улаштування контактного шва при підсиленні є однаково ефективними в зменшенні прогинів підсиленних зразків відносно непідсиленних. Більш значні прогини для балок серії БКПТ відносно серій БПШП та БПВП є закономірними на фоні збільшення несучої здатності, наслідком чого стало виникнення більш високих рівнів напружень у розтягнутій арматурі.

Бетони на відходах ГЗК, які використовували під час виготовлення дослідних зразків, за рахунок низької деформативності сприяли значному зменшенню експериментальних прогинів відносно розрахункових їх значень.

Отримані результати сприятимуть кращому розумінню роботи підсиленних залізобетонних згинальних елементів та удосконаленню їх розрахунків за другою групою граничних станів.

1. Попруга Д. В. Изготовление железобетонных балок на отходах обогащения железных руд с последующим их усилением наращиванием в сжатой зоне / Д. В. Попруга // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Вип. 20. – Кривий Ріг : КТУ, 2008. – С. 181–184. **2.** Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. **3.** Шевченко Б.Н. Конструкции из бетонов на отходах обогащения железных руд / Б.Н. Шевченко – К.: Высш. шк., 1989. – 192 с. **4.** Залесов А.С. Расчёт трещиностойкости железобетонных конструкций по новым нормативным документам / А.С. Залесов, Т.А. Мухамедиев, Е.А. Чистяков // Бетон и железобетон. – 2002. – №6. – С. 12 – 16. **5.** Клімов Ю.А. Сучасні методи розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами другої групи: [навчальний посібник] / Ю.А. Клімов. – К.: КНУБА, 2001. – 46 с. **6.** Попруга Д. В. Дослідження фізико-механічних властивостей залізобетонних балок з використанням нових будівельних матеріалів / М. О. Валовой, Д. В. Попруга // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Вип. 22. – Кривий Ріг : КТУ, 2008. – С. 202–206.