

2. Кочетков В.М., Ким К.И., Трещев И.И. Теория электродинамической левитации. Основные результаты и дальнейшие задачи. // Изв.АН СССР. Энергетика и транспорт.-1981.№1.-С.72-91.
3. Дзензерский В.А., Зевин А.А., Филоненко Л.А. Устойчивость вертикальных колебаний в системах электродинамического подвеса с дискретной путевой структурой // Прикладная механика.-1995.-31, №7. - С.88-93.
4. Горский О.И., Дзензерский В.А., Зельдина Э.А. Частотные характеристики многоконтурных систем подвешивания // Изв РАН . Энергетика и транспорт, -1992.-Т. 38 . С.125-129.
5. Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И., Сергеев С.А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией. – Ки-ев. : Наукова думка, 2001. - 318 с.
6. Дзензерский В.А., Радченко Н.А. Динамика транспорта на сверхпроводящих магнитах.-Днепропетровск.: Арт-Пресс, 2003. – 232 с.
7. Kratki N., Oberreti K Ausglechs organge and schwingungen beimelec namischen magnetkissen system.// Archiv fur elecrutecnik BRD.-1975-67, N2. - p.59.

УДК 624.012.45

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПІДСИЛЕНИХ У СТИСНУТІЙ ЗОНІ ЕФЕКТИВНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

О. І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, доц., О. Ю. ЄРЬОМЕНКО, аспірант М.

О. ВАЛОВОЙ, аспірант,*

Криворізький технічний університет

**Київський національний університет будівництва і архітектури*

Значна частка будівель і споруд в Україні збудовані із залізобетонних конструкцій. Вони експлуатуються багато років, частина з них мають дефекти і пошкодження, інші перевантажені внаслідок збільшення тимчасових та постійних навантажень. Замінити ці конструкції часто економічно недоцільно. Ефективним способом продовження експлуатації залізобетонних конструкцій є їх підсилення. Особливо раціонально використовувати підсилення нарощуванням стиснутої зони елементів, застосовуючи при цьому сучасні матеріали.

Такі матеріали, як сталеві фібробетон та полімербетон мають високу міцність, особливо на розтяг, тріщиностійкість, водонепроникність, тріщиностійкість, корозійну стійкість. Їх використання при підсиленні залізобетонних елементів дає можливість підвищити ефективність роботи підсилених елементів, покращити їх напружено-деформований стан при експлуатаційних навантаженнях.

При проектуванні залізобетонних елементів і конструкцій розрахунок за деформаціями має важливе значення. Як, відомо настання одного з граничних станів конструкції характеризується саме розвитком надмірних деформацій від статичних і динамічних навантажень

У зв'язку з цим є випадки, коли конструктивні можливості залізобетонних конструкцій (перекриття і покриття виробничих і громадських будівель, підкранові балки, мости) диктуються розрахунками за деформаціями (розрахунок за деформаціями змушує вносити корективи у розмірі перерізів шарів підсилення, що задовільняють міцнісний розрахунок).

Актуальність проблеми визначення деформацій у залізобетонних конструкціях значно зросли в останні роки. Це пояснюється, насамперед, збільшенням прогонів сучасних конструкцій, переходом при виготовленні або підсиленні конструкцій до високоміцних матеріалів.

Варто відзначити, що незважаючи на досить великі обсяги підсилення залізобетонних конструкцій, експериментальних досліджень роботи підсилених елементів відносно небагато. Особливо не вистачає дослідних даних про комплексні конструкції з використанням сталеві фібробетону та полімербетону.

З метою аналізу впливу матеріалів підсилення (сталеві фібробетону, полімербетону) на деформаційні характеристики залізобетонних балок підсилених у стиснутій зоні було зроблено наступне [1]:

- запроєктовані та виготовлені залізобетонні балки підсилені у стиснутій зоні шаром армованого полімербетону (серія БУП), армованого сталеві фібробетону (серія БУФ), армованого дрібнозернистого бетону (серія БУМ), а також, для порівняння, непідсилені зразки балок (серія БКСП);

- проведені експериментальні випробування підсилених і непідсилених зразків.

Дані експериментальних досліджень прогинів у середині прольоту усіх серій балок наведені у табл. 1. Ці значення були отримані при рівні навантажень, які складають 0,7...0,8 від руйнівних, тобто знаходяться у діапазоні експлуатаційних навантажень.

Таблиця 1

Результати досліджень прогинів залізобетонних елементів

№ п/п	Марка балки	Зусилля, кН		Середні дослідні прогини, f , мм	$\frac{f_i}{f_0}$	Допустимі прогини за нормами, $[f]$, мм	$\frac{f_i}{[f_0]}$
		Руйнівне, P_u	Визначення прогину, P_i				
1	БКСП	22	16	4,6	1	9	0,51
2	БУМ	50	36	5,4	1,17	9	0,6
3	БУФ	56	42	6,1	1,33	9	0,678
4	БУП	62	48	5,6	1,22	9	0,622

Примітка. f_0 – прогин балок серії БКСП.

Розрахунок деформацій (прогинів) підсилених конструкцій відрізняється великою нерівномірністю та складністю встановлення їхніх жорсткісних характеристик.

Визначення кривизни залізобетонних елементів з тріщинами у розтягнутій зоні виконують, в загальному випадку, за формулою д. норм:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{M}{E_s A_s} \left[\frac{\Psi_s}{h_0 Z} + \frac{\Psi_b}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b V} \right] \quad (1)$$

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

Ψ_s - коефіцієнт, який враховує роботу розтягнутого бетону на ділянках між тріщинами та визначається за формулою СНиП;

Ψ_b - коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілення деформацій крайнього стиснутого волокна бетону по довжині ділянки з тріщинами, визначається за СНиП (у даному випадку $\Psi_b = 0,9$);

A_s - площа перерізу розтягнутої арматури;

E_s - модуль пружності розтягнутої арматури.

Розрахунок кривизни підсилених балок слід проводити з приведенням, за модулем пружності, бетону підсилення до бетону підсилюваної конструкції. При цьому у формулі (1) замість відповідних величин використовують приведені, тобто $h_{0,red}$, Z_{red} , $\varphi_{f,red}$, ξ_{red} .

При визначенні коефіцієнту пружно-пластичного стану бетону стиснутої зони керувалися реальним станом балок, на момент, коли навантаження складала 0,7...0,8 від руйнівного. Так, сумісна робота шару підсилення з підсилюваною конструкцією, при вказаному рівні навантаження, спостерігалася тільки в балках підсилених полімербетоном. В балках серій БУМ та БУФ процес розшарування проходив набагато інтенсивніше (особливо в балках серії БУМ). Тому при розрахунку прогину балок підсилених дрібнозернистим бетоном та сталевібробетоном виходили з умови, що стискаюче напруження сприймається, майже повністю, шаром підсилення. В той час, прогресує тріщиноутворення, яке відбувалося в бетоні стиснутої зони у чвертях прольоту підсилюваної балки, практично виключає цей шар з роботи. З урахуванням сказаного вище вирішено прийняти величину коефіцієнту пружно-пластичних деформацій бетону стиснутої зони з урахуванням існуючих на цей час рекомендацій: для дрібнозернистого бетону $\nu = 0,35$, для сталевібробетону $\nu = 0,3$. Оскільки в серії БУП підсилювана балка і шар підсилення при експлуатаційному рівні навантаження працювали, здебільшого як одне ціле, то коефіцієнт пружно-пластичних деформацій бетону стиснутої зони було прийнято таким, як для важкого бетону $\nu = 0,45$.

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

$$f_m = \rho_m \alpha l_0^2, \quad (2)$$

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 прольот дослідної балки.

Для коротких елементів, що працюють на згин, в яких $l_0/h < 10$, чинні норми рекомендують при визначенні прогину враховувати вплив поперечних сил на їх прогин. У цьому випадку повний прогин f буде дорівнювати сумі прогинів, які викликані відповідно дією деформацій згину f_m та деформацією зсуву f_q , тобто

$$f = f_m + f_q, \quad (3)$$

Прогин обумовлений деформацією зсуву, визначають за формулою:

$$f_q = \frac{1,5F l_0 \varphi_{erc}}{4G b h_{0,red}}, \quad (4)$$

де G – модуль зсуву бетону, який згідно чинних норм приймають таким, що дорівнює $0,4 E_{b1}$;

φ_{erc} – коефіцієнт, який враховує вплив тріщин на деформації зсуву, його приймають (для ділянок де є як нормальні та похилі тріщини) за формулою:

$$\varphi_{erc} = \frac{3E_b I_{red}}{M}, \quad (5)$$

Повний прогин коротких елементів можна визначати за спрощеною формулою:

$$f = f_m [1 + \varphi (h/l_0)^2], \quad (6)$$

де φ - коефіцієнт, який враховує вплив на прогин елемента поперечних сил і приймається рівним (при наявності нормальних і похилих тріщин)

$$\varphi = 1,5 / \rho_m \quad (7)$$

У таблиці 2 наведені результати розрахунків прогинів від згину у дослідних балках, а також порівняння їх з експериментальними величинами. Усі розрахунки кривизн проведені за співвідношенням (1), а прогини - за формулами (3) та (6).

Аналіз табл. 2 показує, що усі теоретичні результати досить добре відбивають дослідні прогини (див. рядок 9. табл. 2). Відхилення при цьому не перевищують 6 %. Також слід відмітити, що розрахунки прогинів проведені точним та наближеним методами показали майже однакові результати. Це дає можливість зменшити трудомісткість розрахунку за допомогою використання наближених формул.

Таблиця 2

Порівняння дослідних і розрахункових прогинів балок

№ п/п	Найменування величини	Одиниця виміру	Умовні позначення	Розрахункові та експериментальні величини балок серії			
				БКСП	БУМ	БУФ	БУП
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Зусилля визначення прогину	кН	F	16	36	42	48
2.	Розрахункове значення згинального моменту при якому визначався прогин	кН·м	M	9,6	21,6	25,2	28,8
3.	Розрахункова кривизна елемента	1/мм	$\varepsilon \cdot 10^{-6}$	10,66	11,88	14,12	13,2
4.	Розрахунковий прогин обчислений точним методом (формула (4.42))	мм	$f^{теор}$	4,34	5,11	6,21	5,66
5.	Прогин викликаний деформацією згину (формула (4.41))	мм	$f_m^{теор}$	3,69	3,65	4	4,51
6.	Прогин викликаний деформацією зсуву (формула (4.43))	мм	$f_q^{теор}$	0,65	0,88	1,07	1,15
7.	Розрахунковий прогин обчислений наближеним методом (формула (4.45))	мм	$f^{теор}$	4,37	5,19	6,23	5,73
8.	Експериментальний прогин	мм	$f^{експ}$	4,5	5,4	6,1	5,6
9.	$f^{експ} / f^{теор}$	-	-	1,04	1,06	0,98	0,99
10.	$\frac{f^{експ}(\text{підсилених})}{f^{експ}(\text{непідсилених})}$	-	-	1	1,2	1,36	1,24

Примітка. Дослідні величини порівняні з теоретичними, обчисленими точними методами.

Як видно з табл. 2 в усіх підсилених балках, незалежно від способу підсилення, значення прогинів збільшилося (див. рядок 10 табл. 2) у середньому на 20...35 %. Незважаючи на це, можна стверджувати, що жорсткість підсилених балок збільшилася у порівнянні з непідсиленими, тому, що незначне збільшення прогину (на 20...35 %) відбувалося на тлі значного збільшення руйнівного навантаження (близько 250 %). Також слід звернути увагу на досить значний внесок деформацій зсуву в загальний прогин балок. Так, для непідсилених балок їх величина склала близько 15 %, а для балок серій БУМ, БУФ та БУП знаходилася в межах 17...20 % від загального розрахункового прогину балок. Якщо ж говорити про ефективність того або іншого способу підсилення, то треба відмітити значний ефект від підсилення шаром полімербетону. Так,

прогини балок підсилених полімербетонном були, в середньому, на 4 % більше ніж у балок серії БУМ і на 12 % меншими ніж у балок серії БУФ, хоча навантаження, при якому вимірювали прогини балок серії БУП були відповідно на 33 % та 14 % більшими, чим у балок серій БУМ та БУФ.

Зважаючи на сказане можна дійти висновку, що запропонований метод обчислення підсилених балок за деформаціями, у даному випадку, показав задовільні результати.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Валовой О.И., Еременко О.Ю. Міднісні та деформативні характеристики залізобетонних балок, підсилених ефективними матеріалами. / Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Випуск 7, 2005.- 178 с.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс: Учебн. для вузов.- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1991.- 767с.
3. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.- 80 с.

УДК 69.057

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СИСТЕМЫ «МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПОДЛОЖКА – АРМИРОВАННОЕ ПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ» ПРИ ИЗГИБЕ И РАСТЯЖЕНИИ

*Д.Р. Веселовский, аспирант, Н.В. Савицкий, д.т.н., проф., *Б.А. Ляшенко, д.т.н., проф., **Р.А. Веселовский, д.х.н., проф., **О.С. Коротков, аспирант*

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г.Днепропетровск

**Институт проблем прочности Национальной академии наук Украины, г.Киев, **Институт химии высокомолекулярных соединений НАНУ, г.Киев*

Постановка задач исследования. Потери стран СНГ от коррозионного, эрозионного и других видов разрушения металлических конструкций и сооружений составляют 60 – 80млрд. долларов в год.

Одним из методов восстановления несущей способности изношенных металлических конструкций является дублирование их армированными полимерными покрытиями [5]. Такие конструкции в процессе эксплуатации часто подвергаются интенсивным изгибающим, сжимающим или растягивающим механическим нагрузкам, локальным и распределенным, статическим и динамическим, которые могут вызвать их деформацию и разрушение.

В связи с этим представляет интерес исследование влияния изгибных и растягивающих нагрузок на деформированное состояние композиционных материалов, а также определение величин максимальных линейных деформаций подложки, при которых покрытие сохранит адгезионную связь при их совместном деформировании. Сохранение этой связи в условиях деформированного состояния возможно только при наличии высокой адгезионной