

УДК 624.072.2.012.35 : 539.374

А.М.ПАВЛІКОВ, д-р техн. наук

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

УРАХУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ В РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ЗГІНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У НОРМАЛЬНОМУ ПЕРЕРІЗІ ЗА СНиП 2.03.01-84

Викладено методику врахування особливостей деформаційної моделі в розрахунках міцності елементів у нормальному перерізі при згинанні за СНиП 2.03.01-84.

Изложено методику учета особенностей деформационной модели в расчетах прочности элементов в нормальном сечении при изгибе по СНиП 2.03.01-84.

The method for consideration the features of deformation model in strength calculations of bended elements in the normal section according to СНиП 2.03.01-84 is offered.

Ключові слова: розрахункові схеми, залежності, деформаційна модель, рівняння.

Застосування методики [1] розрахунків за міцністю у проектуванні згинальних залізобетонних елементів (ЗБЕ) призводить як до завищення їх несучої здатності, так і перевитрат поздовжньої арматури, котра має ділянку текучості при $\xi < \xi_R$. Усунути цей недолік, як свідчать роботи [2-6] та ін., певною мірою можна за рахунок використання в розрахунках за міцністю методики, заснованої на повній діаграмі деформування бетону. В той же час при вказаних недоліках методика [1], в порівнянні альтернативним, має суттєві привабливі переваги – вона проста в розрахунках, достатньо апробована, характеризується чітким фізичним змістом. Тому актуальною на сьогодні проблемою є поєднання кращих якостей двох методик розрахунків шляхом урахування особливостей деформаційної моделі в складі розрахунку міцності залізобетонних елементів у нормальному перерізі при згинанні за СНиП 2.03.01-84. Реалізація такого аспекту на проблему буде сприяти економічному витрачання арматури та виявленню резервів несучої здатності ЗБЕ.

Використанням спадної гілки діаграми деформування бетону в розрахунках міцності залізобетонних балкових елементів наведено в роботах [2-6] та ін. Але як у цих, так і в інших працях аналітичних досліджень про можливість уточнення розрахунків міцності за СНиП 2.03.01-84 на основі деформаційної моделі, наскільки нам відомо, не викладено.

Не розв'язаною раніше частиною проблеми є розроблення методів аналітичних досліджень і уточнення на їх основі розрахунків міцності за СНиП 2.03.01-84 з урахуванням особливостей деформаційною моделі.

За мету ставиться проведення досліджень з вивчення можливості уточнення розрахунків міцності за СНиП 2.03.01-84 на основі деформаційної моделі та розроблення пропозицій щодо реалізації такого уточнення.

Дослідження здійснено на основі розрахункових схем, зображених на рис.1. Для другої схеми при зображенні епюри розподілу напружень в бетоні стиснутої зони використана повна діаграма стану бетону за [8].

При виведенні порівняльних залежностей для другої схеми (рис.1, б) використані:

- рівняння рівноваги

$$\sum X = 0; \quad N_s - N_b = 0, \quad (1)$$

$$\sum M_0 = 0; \quad M - N_b (h_0 - X + y_{Nb}) = 0, \quad (2)$$

де N_s , N_b – загальні позначення рівнодійних відповідно в арматурі та бетоні; h_0 , X , y_{Nb} – відповідно робоча висота, висота стиснутої зони, відстань від нейтральної лінії до точки прикладання зусилля N_b (рівнодійної напружень стиску, розподілених за законом, що враховує спадну гілку діаграми стану бетону);

- закон розподілення напружень в бетоні стиснутої зони $\sigma_b = f(\eta_m, y)$ на основі діаграми стану бетону на стиск у вигляді функції за [8]

$$\sigma_b = R_b (K\eta - \eta^2) / [1 + (K-2)\eta], \quad (3)$$

де, за умовою прийнятності гіпотези плоских перерізів, приймається така заміна перемінних $\eta = \eta_m y / X$, а також ураховується, що $K = (E_b \varepsilon_R / R_b) \approx 4 \dots 1$, $\eta = (\varepsilon_b / \varepsilon_R) < K$, E_b , R_b – модуль пружності та міцність при осьовому стиску бетону;

- умова сумісності деформування бетону й арматури

$$\varepsilon_b = \varepsilon_s; \quad (4)$$

- діаграма стану арматури з фізичною ділянкою плинності

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \text{ при } \varepsilon_s \leq \sigma_y / E_s, \quad \sigma_s = \sigma_y \text{ при } \varepsilon_s > \sigma_y / E_s; \quad (5)$$

- умова для визначення граничного значення фібрових відносних деформацій бетону ε_{bu} ($\varepsilon_{bu} / \varepsilon_R = \eta_u$) [6,7]

$$M(\eta_u) = M_u = \max M(\eta_m). \quad (6)$$

Шукані залежності для розрахункової схеми на рис.1, б, виведені шляхом підстановки в (1) і (2) таких отриманих виразів:

$$M_{1u} = R_b b x (h_0 - 0,5x) = R_b b h_0^2 \xi (1 - 0,5\xi) = \alpha_m R_b b h_0^2, \quad (14)$$

$$M_{2m} = R_b b x (h_0 - \chi x) = R_b b h_0^2 \xi (1 - \chi\xi) = \bar{\alpha}_m R_b b h_0^2, \quad (15)$$

де $\bar{\alpha}_m = \xi(1 - \chi\xi)$.

З (10) і (12), а також з (14) і (15) випливає, що

$$x = X\omega, \quad (16)$$

$$\bar{\alpha}_m = \alpha_m \frac{1 - \chi\xi}{1 - 0,5\xi}, \quad (17)$$

$$\bar{\xi} = \xi \frac{1 - \chi\xi}{1 - 0,5\xi}. \quad (18)$$

Для обчислення значень $\eta_m = \eta_u$ використано критерій (6) у вигляді $M_{2m}(\eta_u) = \max M_{2m}(\eta_m)$, який характеризує такий стан балкового елемента, коли його опір дії зовнішньому навантаженню досягає максимуму. Спираючись на цей критерій, для визначення значень η_u з рівняння (15) за умовою $\partial M_{2m} / \partial \eta_m = 0$ отримано диференціальне рівняння

$$\chi(\varphi(\eta_m), \omega(\eta_m))' = (2\varphi - \omega)\omega' - \omega\varphi' = 0, \quad (19)$$

розв'язок якого після підстановки в нього виразів ω та φ з [9] має вигляд трансцендентного алгебраїчного рівняння відносно $\eta_m = \eta_u$:

$$a^5 \eta_u^5 - (K + b)(a + b)a^4 \eta_u^4 - 24b^2 a^3 \eta_u^3 + \\ + 12(b^2 - 2)b^2 a^2 \eta_u^2 - 12b^4 c (\ln c)^2 + 12\eta_u a b^2 (c + 1)c \ln c = 0, \quad (20)$$

де $a = (K - 2)$, $b = (K - 1)$, $c = (a \eta_u + 1)$.

Графічно розв'язки рівняння (20) можна використовувати у вигляді діаграми, наведеної на рис.2.

За фізичним змістом рівняння (20) являє собою залежно від фізико-механічних властивостей бетону сукупність граничних рівнів фібрових відносних деформацій бетону у ЗБЕ в момент досягнення ним найбільшого опору дії моменту M_{2u} при досягненні поздовжньою розтягнутою арматурою межі текучості. Ці фіброві деформації бетону є критичними деформаціями конструкційної деформативності бетону на діаграмі стану елемента і одночасно є закритичними для діаграми стану бетону.

Оскільки в отриманих залежностях (16)-(20) параметри ω , φ , χ

залежать від коефіцієнта K та граничного рівня фібрових відносних деформацій бетону η_u в балковому елементі, то для зручності їх застосування в розрахунках складена таблиця значень цих параметрів залежно від значень K (таблиця) і значень η_u .

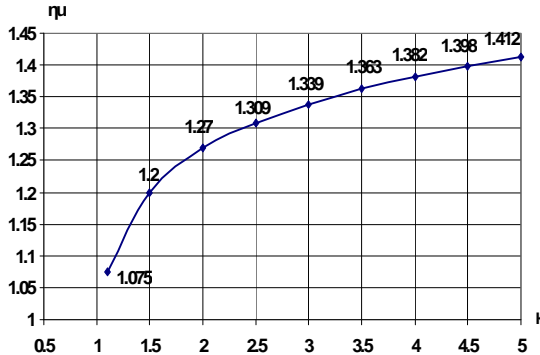


Рис.2 – Графік рівня закритичних фібрових конструкційних деформацій бетону в стиснутій зоні ЗБЕ за (20) залежно від параметра K

Значення параметрів ω , φ , χ залежно від значень коефіцієнтів K та η_u

	K								
	1,18	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
η_u	1,075	1,200	1,270	1,309	1,339	1,363	1,382	1,398	1,412
ω	0,587	0,673	0,740	0,768	0,792	0,811	0,825	0,838	0,848
φ	0,383	0,421	0,446	0,455	0,462	0,467	0,471	0,474	0,476
χ_u	0,591	0,555	0,537	0,531	0,526	0,523	0,520	0,518	0,517
φ/ω	0,652	0,625	0,603	0,592	0,586	0,576	0,574	0,566	0,561

Аналіз залежності (16) з урахуванням межі змін параметра $\omega = x/X$ у цій таблиці показує, що визначена за деформаційною моделлю висота стиснутої зони бетону X завжди більша від висоти x , визначеної за СНиП 2.03.01-84. При зміні параметра K у межах 1,18...5 відношення висот стиснутої зони x/X відповідно змінюється в межах 0,587...0,848 (чим нижчий клас бетону ЗБЕ, тим менша різниця між висотою стиснутої зони x , визначеної за СНиП 2.03.01-84 та висотою стиснутої зони X , обчисленою за деформаційною моделлю).

Порівнюючи між собою залежності (14) і (15) з урахуванням зміни параметра χ в таблиці можна дійти висновку, що значення руйнів-

ного моменту для балкового ЗБЕ, обчисленого із застосуванням деформаційної моделі, завжди буде меншим від значень руйнівного моменту, обчисленого за СНиП 2.03.01-84. При зміні відносного значення висоти стиснутої зони ξ у межах 0,06...0,6 відношення моментів, обчислених за СНиП 2.03.01-84 і деформаційною моделлю M_{1u} / M_{2u} , змінюється в межах 1,006...1,085.

Таким чином, отримані нами формули доводять, що між методикою розрахунків міцності ЗБЕ, основаною на деформаційній моделі та сучасною нормативною методикою існують аналогії. Це робить можливим використання в останній особливостей деформаційної моделі за рахунок уведення в формули уточнених коефіцієнтів $\bar{\alpha}_m$ та $\bar{\zeta}$, які враховують відмінності в розрахунках, обумовлених різницею в формах епюр напружень в бетоні стиснутої зони. Розроблена методика та отримані на її основі формули та рівняння дозволяють у повній мірі здійснювати розрахунок міцності ЗБЕ за СНиП 2.03.01-84 з урахуванням особливостей деформаційної моделі. Також у даній статті наведено граничні значення фібрових деформацій бетону на стиск, які легко обчислюються за наведеними залежностями або з діаграми (рис.2).

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

2.Беккиев М.Ю., Маилян Л.Р. Расчет изгибаемых железобетонных элементов различной формы поперечного сечения с учетом нисходящей ветви деформирования // Методические разработки. – Нальчик: Кабардино-Балкарский агромилиорат. ин-т, 1985. – 132 с.

3.Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе // Будівельні конструкції. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: Зб. наук. пр. Вип.59. Кн.1. – К.: НДІБК, 2003. – С.121-130.

4.Байков В.Н., Горбатов С.В. Определение предельного состояния внецентренно сжатых элементов по неупругим зависимостям напряжения-деформации бетона и арматуры // Бетон и железобетон. – 1985. – №6. – С.13-14.

5.Дорофеев В.С., Барданов В.Ю. Расчет изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона. – Одесса: ОГАСА, 2003. – 210 с.

6.Mitrofanov V.P. Optimization strength theory of reinforced concrete bar elements and structures with practical aspects of its use / Byggningsstatistiske meddelelser. Edited and published by the Danish Society for Structural Science and Engineering. – Kobenhavn, 2000. – P.73-125.

7.Митрофанов В.П., Павліков А.М. Екстремальний критерій міцності залізобетонних елементів у деформаційній моделі // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. Вип.62. Т.1. – К.: НДІБК, 2005. – С.205-212.

8.Comite Euro-international du beton. Code modele CEB-FIP pour les structures en beton (Version de reference) / Bulletin d'information N 124/125 – F. – Paris, 1978.

9.Павліков А.М. Розрахунок площі поздовжньої арматури в згинальних елементах з використанням деформаційної моделі // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури: Зб. наук. праць. Вип.33. – Одеса: ОДАБА, 2009. – С.119-125.

Отримано 24.11.2009