

УДК 624. 012

**Чернецька О. І., здобувач** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ПОРІВНЯЛЬНІ РОЗРАХУНКИ ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ЧИННИХ НОРМ**

**В статті розглянуті різні методики розрахунку згинальних залізобетонних елементів на основі чинних норм.**

**Ключові слова:** залізобетонні елементи, діючі норми, розрахунок.

**Вступ.** Введення нових документів з розрахунку та проектування залізобетонних елементів і конструкцій надає можливість проектувальникам самостійно визначатись із вибором обґрунтованих методів розрахунку. Розглянемо визначення несучої здатності згинальних залізобетонних елементів на основі різних методів розрахунку за чинними нормами.

**Аналіз останніх досліджень.** Розвитку нового напрямку моделювання напружено-деформованого стану складно завантажених ЗБЕ сприяли успіхи у розв'язанні низки проблем з побудови загальної теорії залізобетону, спрямованої на врахування нелінійних та нерівновісних його властивостей, започаткованої у 70-х роках в опублікованих роботах А.Я. Барашикова; В.М. Бондаренка, М.В. Смирнова та Є.І. Гамаюнова; О.Б. Голишева; В.М. Байкова, С.В. Горбатова та З.А. Дімітрова; В.Я. Бачинського, А.М. Бамбури, С.С. Ватагіна, О.Б. Гурківського, Н.В. Журавльової та М.С. Безбожної а також інших учених.

Удосконалюючи теорію розрахунку залізобетонних елементів, дослідники багато уваги приділяють вивченню міцнісних властивостей бетону та арматури, встановленню співвідношення між силовою та деформативною моделями розрахунку залізобетонних елементів, використанню цих залежностей у розрахунку елементів.

**Методика досліджень.** Мета даної статі полягає в тому, щоб з'ясувати, як співвідносяться спрощена методика розрахунку ЗБЕ і силова модель, яка закладена в СНиП 2.03.01–84\* (БіЖБК).

Введення нових норм [2] передбачає розрахунок залізобетонних елементів за деформативною моделлю, для якої рекомендованими є складні функції деформацій бетону (наприклад, поліном 5-го ступеня). Натомість допускається виконання спрощених розрахунків ЗБЕ (або

перевірочні). Для виконання перевірочних розрахунків можна з високою точністю використовувати силову модель.

Проведемо числовий експеримент розрахунку міцності ЗБЕ одного перерізу за силовою та спрощеною моделями. Розглянемо з/б балку з наступними її геометричними характеристиками:  $b=300$  мм;  $h=600$  мм;  $a=20$  мм ( $a_{sc}=28$  мм;  $a_s=30$  мм); необхідна робоча висота перерізу  $h_o=h-a_s=600-30=570$  мм.

Розрахунок нормального перерізу елемента за силовою моделлю [1] виконують залежно від співвідношення значення відносної висоти стиснутої зони  $\xi=x/h_o$ , що визначається з відповідних умов рівноваги, і значення відносної висоти стиснутої зони  $\xi_R$ , при якому граничний стан елемента настає одночасно з досягненням в розтягнутій арматурі напруження, рівного розрахунковому опору  $R_s$ , з врахуванням відповідних коефіцієнтів умов роботи арматури. Значення граничної висоти стиснутої зони бетону  $\xi_R$ , за якої напруження розтягання в арматурі  $\sigma_s$  будуть досягати граничних значень  $\sigma_s \rightarrow R_s$ , знаходимо за формулою

$$\omega_R = \frac{\omega}{1 + \frac{y_{SR}}{y_{SC,u}} \left( 1 - \frac{\omega}{1,1} \right)}, \quad (1)$$

де  $\omega$  – характеристика стиснутої зони бетону, яку обчислюємо за формулою

$$\omega = 0,85 - 0,008\gamma_{b2}R_b. \quad (2)$$

Дійсне значення відносної висоти стиснутої зони бетону  $\xi$  не повинно перевищувати  $\xi_R$  ( $\xi \leq \xi_R$ ).

При виконанні умови  $\xi \leq \xi_R$  знаходимо несучу здатність з/б балки:

$$M_u = R_b \cdot b \cdot x (h_o - 0,5x) + R_{SC} \cdot A_{SC} (h_o - a_{SC}), \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (3)$$

Як вище було зазначено, введення нових норм [2] передбачає розрахунок залізобетонних елементів за деформаційною моделлю, яка допускає виконання спрощених розрахунків ЗБЕ (або перевірочні) за використанням рівномірного характеру розподілу нормальних стискаючих напружень у стиснутій зоні бетону, який наведено на рис. 1. За п. 3.1.6.2 ДБН В.2.6-98:2009 приймаємо коефіцієнт  $\lambda=0,8$ , що визначає розрахункову висоту стиснутої зони, та рекомендовану величину  $\eta=1$ , що визначає вплив різних факторів на міцність бетону.

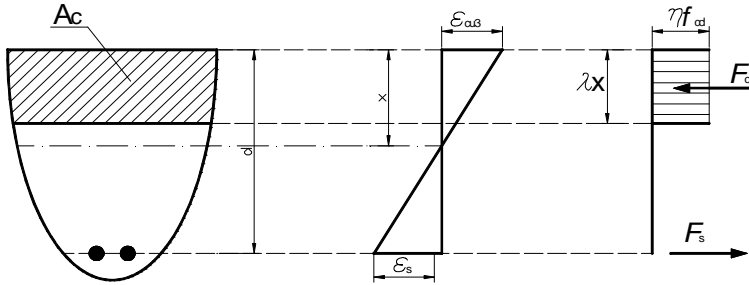


Рис. 1. Рівномірний характер розподілу напружень у стиснутій зоні бетону

Запишемо рівняння рівноваги поздовжніх сил і згинаючих моментів у перерізі, нормальному до поздовжньої осі елемента:

$$F_C - F_S = 0 \quad , \quad (4)$$

$$F_C \frac{h - \lambda x}{2} - F_S \cdot z - M_{max} = 0 \quad , \quad (5)$$

де  $F_C$  – рівнодіюча зусиль у стиснутій зоні бетону обчислюється за такою формулою

$$F_C = f_{ck} \cdot \lambda x \cdot b \quad , \quad (6)$$

$F_S$  – рівнодіюча зусиль у розтягнутій зоні бетону обчислюється за такою формулою

$$F_S = f_{yk} \cdot A_s \quad . \quad (7)$$

Підставимо рівняння 6 і 7 в 5 і 4 та отримаємо рівняння:

$$f_{ck} \cdot \lambda x \cdot b - f_{yk} \cdot A_s z = 0 \quad , \quad (8)$$

$$f_{ck} \cdot \lambda x \cdot b \frac{h - \lambda x}{2} - f_{yk} \cdot A_s z - M_{max} = 0 \quad . \quad (9)$$

Після приведення рівнянь (8) та (9) товщина стиснутої зони бетону відповідно становить

$$f_{cd} \cdot 0.8x^2 \cdot b + \xi_{cu} \cdot E_S \cdot A_s \cdot x - \xi_{cu} \cdot E_S \cdot A_s \cdot h_0 = 0 \quad , \quad (10)$$

$$x = f_{ck} \cdot A_s / f_{cd} \cdot \lambda \cdot b = 0 \quad . \quad (11)$$

Оскільки розрахунок за спрощеними залежностями передбачає 2 можливих випадки, то приймаємо мінімальне значення  $x$ , для якого розраховуємо несучу здатність ЗБЕ.

Після приведення рівнянь (8) і (9) та знаходження товщини стиснутої зони несучої здатності залізобетонного елемента визначаємо відпо-

відно за формулами

$$M_u = f_{cd} \cdot \lambda x \cdot b \frac{h_0 - \lambda x}{2}, \quad (12)$$

$$M_{max} = f_{ck} \cdot \lambda x \cdot b \frac{h - \lambda x}{2} - f_{yk} \cdot A_s z. \quad (13)$$

Згідно з даними методиками розрахунків залізобетонних елементів були виконані розрахунки балок одного поперечного перерізу таких класів бетону С12; С16; С25; С40; С50 та найбільш поширених процентів армування  $\mu=1,0$ ;  $\mu=2,0$ ;  $\mu=3,0$ . Усереднені значення несучої здатності, обчислені на основі різних методів розрахунку за чинними нормами, наведені у табл. 1, згідно з якою можна стверджувати, що за одного і того ж класу бетону за будь-якого методу розрахунку несуча здатність балок відрізняється не більше 4,9%, при тому у меншу сторону.

Основними факторами, які впливають на міцність балок, є процент армування, клас арматури, призмova міцність та початковий модуль деформацій бетону, а також розміри поперечного перерізу.

На рис. 2. та рис. 3. показано характер зміни несучої здатності балки із бетону класу С12, С16, С25, С40, С50, обрахованої на основі деформаційної та силової моделей. Значення несучої здатності, що відповідають 2% заармованості елемента, мають найбільші середньоквадратичні відхилення – 2,1%.

Таблиця 1

Усереднені значення несучої здатності залізобетонної балки  
для арматури класу А400С ( $R_s=375$ МПа)

Клас бетону	Процент армування конструкції								
	1%			2%			3%		
	Несуча здатність, тм								
	с/н	н/н	$\Delta, \%$	с/н	н/н	$\Delta, \%$	с/н	н/н	$\Delta, \%$
С12/15	28,49	28,49	0	35,29	34,11	3,3	35,29	35,75	1,3
С16/20	30,59	30,59	0	46,48	44,2	4,9	46,48	46,72	0,5
С25/30	32,52	32,53	0,03	56,98	56,97	0,02	65,11	64,73	0,06
С40/50	34,06	34,07	0,03	63,13	63,13	0	87,22	87,23	0,01
С50/60	34,47	34,49	0,06	64,80	64,78	0,03	90,96	90,96	0

Оскільки різниця у міцності балок, обчислених за різними методиками старих і нових норм, не виходить за межі можливого відхилення, можна стверджувати, що результати розрахунку згинальних залізобетонних елементів за міцністю за чинними нормами істотно не відрізняється від попередньо застосовуваних методів.

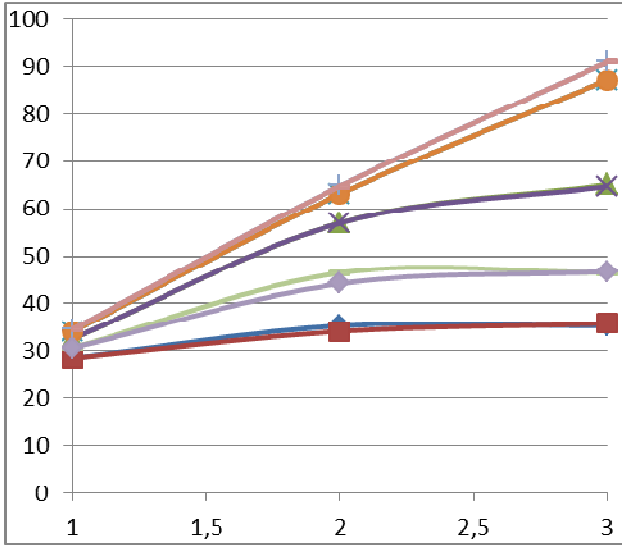


Рис. 2. Графік порівняння розрахункових значень несучої здатності залізобетонної балки залежно від процента армування

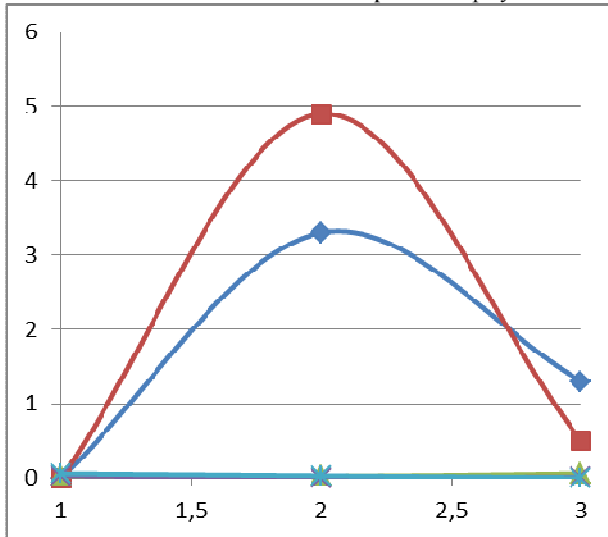


Рис. 3. Графіки порівняння розрахункових значень похибок несучої здатності з/б балки залежно від процента армування

**Висновки:**

1. Розрахунок міцності залізобетонних балок, які зазнають згину,

можна виконувати на основі різних методів розрахунку за чинними нормами та розрахунку за старими нормами. Різниця у значеннях несучої здатності не перевищує 4,9%. Максимальне середньоквадратичне відхилення становить 2,5.

2. Для виконання перевірочних розрахунків можна з високою точністю використовувати силову модель, яка істотно не відрізняється від чинної спрощеної моделі.

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01–84\*. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 84 с.
2. ENV 1992-1. Eurocode 2. Design of concrete structure. Part 1, General rules and rules for buildings. – GEN, 1993.
3. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції.
4. Шаповалов О. М. Залізобетонні конструкції / О. М. Шаповалов. – Харків : ХНАМГ, 2005.
5. Алмазов В. О. Проектирование железобетонных конструкций по евронормам / В. О. Алмазов; Ассоциация строительных вузов. – Москва, 2007. – 216 с.
6. Пецольд Т. М. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования / Т. М. Пецольд. – Издательство БГТУ, 2003. – 380 с.
7. ДСТУ Б В.2.6-7-95 Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості.
8. Бабич В. І. Розрахунок міцності нормальних перерізів і прогинів зігнутих елементів спрощеним деформаційним методом / В. І. Бабич, Д. В. Кочкар'єв // Бетон і залізобетон в Україні. – 2003. – № 2. – С. 23-30.

Рецензент: д.т.н., професор Ткачук О. А. (НУВГП)