

УДК 624.012.35:620.173

**РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ЗГІНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ РОЗПОДІЛЕНОЮ ПО ВИСОТІ ПЕРЕРІЗУ
АРМАТУРОЮ**

**РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПО ВЫСОТЕ СЕЧЕНИЯ
АРМАТУРОЙ**

**STRENGTH CALCULATION OF BENDING REINFORCED CONCRETE
BEAMS WITH DISTRIBUTED ALONG THE HEIGHT OF THE SECTION
OF STEEL**

Кочкаръов Д.В., к.т.н., доц. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Кочкарёв Д.В., к.т.н., доц. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Kochkarev D.V., candidate of technical sciences, associate professor (National university of water management and nature resources use, Rivne)

Приведено практичну методику розрахунку згинальних залізобетонних елементів із розподіленою по висоті перерізу арматурою.

Рассмотрена практическая методика расчёта изгибаемых железобетонных элементов с распределенной по высоте сечения арматурой.

We consider the practical method of calculating the bent concrete elements with distributed along the height of the section steel.

Ключові слова:

залізобетон, згин, балка, опір.
железобетон, изгиб, балка, сопротивление.
reinforced concrete, bend, beam, resistance.

Стан питання та задачі дослідження. Сучасна методика розрахунку згинальних залізобетонних елементів, закладена в основу діючих норм проектування [1, 2], має цілий ряд переваг у порівнянні із силовою [3]. При цьому значення несучої здатності згинальних залізобетонних елементів прямокутного профілю із одиночним і подвійним армуванням, визначені за

обом методиками, доволі близькі. Але методика діючих норм [1, 2] є складною, а тому у більшості випадків при проведенні перевірочних розрахунків перевагу віддають саме силовим [3]. При цьому діюча методика дозволяє виконувати за єдиною методологією розрахунок як елементів із одиночною та подвійною арматурою, так і розподіленою [1, 2, 4, 5, 6]. Хоча силові моделі [3] і містять певні рекомендації по розрахунку елементів із розподіленою арматурою, вони стосуються в основному позацентрово стиснутих елементів, та в своїй основі ґрунтуються на емпірично-експериментальних формулах, застосування яких є доволі обмеженим. Саме тому пропонується виконувати розрахунок таких елементів з урахуванням дійсних діаграм деформування матеріалів методом розрахункових опорів залізобетону [7, 8].

Мета дослідження полягає у розгляді практичної методики розрахунку методом розрахункових опорів залізобетону згинальних залізобетонних елементів прямокутного профілю при розподіленій по перерізу арматурі.

Методика досліджень. Для розрахунку елементів із розподіленою арматурою використаємо методику розрахунку методом розрахункових опорів залізобетону [7, 8]. Дана методика полягає у зведенні складних розрахункових формул до табульованих значень певних параметрів. Вона не містить емпіричних коефіцієнтів та повністю відповідає розрахунковим формулам класичного опору матеріалів. Для неї не має суттєвого значення вигляд діаграми деформування бетону, а її універсальність полягає у можливості уточнення значень розрахункових опорів залізобетону за відповідного напружено-деформованого стану, без зміни методики їх розрахунку. Далі покажемо, що для елементів із розподіленою арматурою також, можна звести основні параметри до безрозмірних табульованих значень.

Для розрахунку міцності перерізів залізобетонних балок із розподіленою по висоті перерізу арматурою приймемо такі передумови:

1. Справедлива гіпотеза плоских перерізів, тобто

$$\frac{l}{r} = \frac{\varepsilon_c}{x} \text{ або } \varepsilon_c = \frac{l}{r} x, \quad (1)$$

де d – робоча висота перерізу, l/r – кривина.

2. Напруги у бетоні стиснутої зони приймаємо за однією із діаграм, яка відповідає граничним критеріям деформування [1, 2].
3. Напруги в арматурі описуються ідеалізованою діаграмою Прандтля.
4. Робота розтягнутої зони бетону елемента не враховується.

Розглянемо напружено-деформований стан перерізу згинального залізобетонного елемента прямокутного профілю із розподіленою по висоті перерізу арматурою (рис.1).

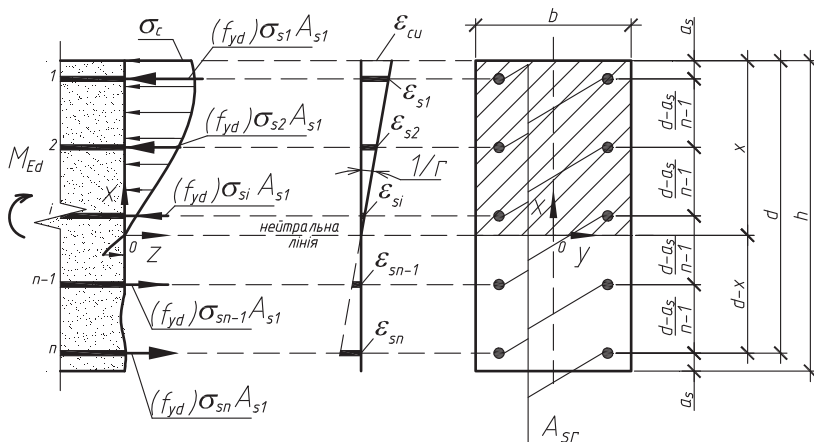


Рис. 1. Напружено-деформований стан перерізів згинальних залізобетонних елементів із розподіленням по висоті армуванням

Складемо для перерізу показаного на рис.1 рівняння рівноваги, застосуємо гіпотезу плоских перерізів для стиснутого бетону та розподіленої по висоті арматури, і після нескладних перетворень, отримаємо:

$$\int_0^{\varepsilon} \sigma_c d\varepsilon = \frac{E_s}{n} \rho_f \sum_{i=1}^n \varepsilon_{s_i};$$

$$\int_0^{\varepsilon} \sigma_c \varepsilon d\varepsilon + \frac{E_s}{n} \rho_f \left(1 - \frac{l}{k}\right) \sum_{i=1}^n \varepsilon_{s_i} = \frac{M_{Ed}}{bd^2}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_{s_i} = \left(1 - kn_a - (1 - n_a) \frac{i-1}{n-1}\right) \varepsilon.$$

В системі (1) введено наступні позначення

$$\rho_f = \frac{A_{sr}}{bd}, k = \frac{d}{x}, n_a = \frac{a_s}{d}, \quad (3)$$

У формулах (2) та (3): A_{sr} – площа всіх стержнів у перерізі залізобетонного елемента, n – кількість стержнів по висоті перерізу, i – порядковий номер стержнів по висоті перерізу, всі інші позначення відповідають прийнятим у [1, 2].

Для запропонованої системи прийемо наступні критерії руйнування

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dM_{Ed}}{d\varepsilon_c} = 0 \text{ при } \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}; \\ \sigma_{si} = \varepsilon_{si} E_s \leq f_{yd}; i = 1..n; \\ \varepsilon_{si} \leq \varepsilon_{su}, i = 1..n. \end{array} \right. \quad (4)$$

Формули (2) разом з критеріями (4) дають можливість виконувати розрахунки міцності згинальних залізобетонних елементів із розподіленою по перерізу арматурою, попередньо прийнявши певну діаграму деформування бетону. Для кожного стержня по висоті необхідно перевіряти умови (4). Даний розрахунок виконується методом ітерацій, тобто задаються певною висотою стиснутої зони і перевіряють виконання заданих умов. Такий розрахунок, як правило виконують з допомогою ЕОМ.

Розглянувши формули (1) та (3) можна помітити, що несуча здатність визначається фізичними і геометричними характеристиками, які можна відокремити один від одного. Тоді запишемо умови міцності за методом розрахункових опорів залізобетону для перерізів із розподіленою арматурою у вигляді

$$M_{Ed} / W_c \leq f_M, \quad (5)$$

де M_{Ed} – згинальний момент від граничних навантажень; f_M , – розрахунковий опір залізобетону на згин при розподіленій по перерізу арматурі; W_c – пружний момент опору бетонного робочого перерізу, $W_c = bd^2/6$.

Розрахунковий опір залізобетону у формулі (5) залежить від характеристик бетону, арматури та процента армування. Це дає змогу виконати його табулювання. В табл.1 наведено значення розрахункового опору залізобетону для перерізів із розподіленим по висоті армуванням. В якості діаграми деформування бетону прийнята функція Єврокод-2 [1,2]. Таблиця складена у залежності від процента армування перерізу, який визначається відношенням повної площі арматури розподіленої по висоті перерізу до площі бетонного перерізу. Варто відзначити, що значення згинального моменту визначене за даною методикою повністю відповідає точним комп'ютерним розрахункам при розрахунках елементів у яких по висоті не менше 5 рядів стержнів. Аналогічним чином можна отримати значення розрахункового опору для круглих, трикутних та інших перерізів із розподіленою по перерізу арматурою.

Результати досліджень. На прикладах визначення міцності та площі перерізу робочої арматури розподіленої по висоті перерізу покажемо переваги запропонованої методики.

Таблиця 1

Розрахунковий опір залізобетону на згин f_M при розподіленому по висоті перерізу армуванні, МПа

Клас бетону	Процент армування ρ_f							
	0.05	0.5	1	2	3	4	5	6
	$f_{yd}=375 \text{ МПа (A-400C)}, n_a=0,06-0,1, n=5$							
C8/10	0.572	2.941	3.962	5.316	6.328	7.187	7.958	8.673
C12/15	0.580	3.894	5.317	7.134	8.486	9.626	10.646	11.588
C16/20	0.588	4.547	7.126	9.133	10.857	12.301	13.585	14.764
C20/25	0.592	4.879	7.833	10.874	12.923	14.630	16.137	17.514
C25/30	0.596	5.114	8.462	12.177	14.475	16.379	18.051	19.571
C30/35	0.597	5.219	8.976	13.373	15.904	17.994	19.821	21.474
C32/40	0.597	5.310	9.264	14.362	17.092	19.338	21.295	23.059
C35/45	0.598	5.403	9.564	15.176	18.350	20.768	22.868	24.754
C40/50	0.598	5.466	9.769	15.677	19.222	21.761	23.962	25.935
C45/55	0.599	5.510	9.908	16.012	19.785	22.406	24.674	26.705
C50/60	0.599	5.550	10.037	16.322	20.302	23.000	25.333	27.417

Приклад 1. Залізобетонна балка з робочим перерізом $b \times d = 25 \times 70$ см (див. рис.2) виготовлена із бетону класу C20/25 та армувана $10\varnothing 12$ із сталі класу A400C. Визначити міцність перерізу.

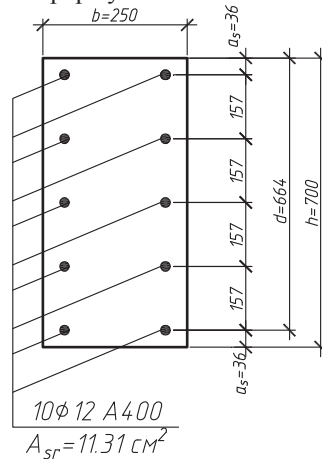


Рис. 2. До визначення міцності перерізу згинального елемента

Розв'язок. Обчислюємо процент армування балки розподіленому по висоті перерізу арматурою

$$\rho_f = \frac{A_s}{bd} \times 100\% = \frac{11,31}{25 \times 66,4} \times 100\% = 0,681\%.$$

За табл.1 визначаємо розрахунковий опір залізобетону на згин $f_M=5,949$ МПа (за інтерполяцією).

Несучу здатність перерізу обчислюємо за формулою (5)

$$M_{Ed} = W_c f_M = \frac{bd^2}{6} f_M = \frac{25 \times 66,4^2}{6} 5,949 \times 10^{-3} = 109,29 \text{ кНм.}$$

Приклад 2. Визначити розподілене по перерізу залізобетонної балки армування необхідне для прийняття згинального моменту $M=500 \text{ кНм}$, за даними прикладу 1.

Розв'язок. Обчислюємо необхідний розрахунковий опір залізобетону на згин при розподіленому по висоті перерізу армуванні

$$f_M = \frac{M_{Ed}}{W_c} = \frac{6M_{Ed}}{bd^2} = \frac{6 \times 500 \times 10^3}{25 \times 66,4^2} = 27,21 \text{ МПа.}$$

Із табл.1 видно, що такий розрахунковий опір можна забезпечити тільки за класу бетону $C50/60$ і відсотку армування $\rho_f = 5,901$ і вище. Тоді площа перерізу робочої арматури $A_s = \rho_f \times b \times d = 0,05901 \times 25 \times 66,4 = 97,96 \text{ см}^2$. За сортаментом приймаємо $10\emptyset 36$, $A_s = 101,788 \text{ см}^2$.

Висновки. Метод розрахункових опорів залізобетону дозволяє однаково просто виконувати розрахунки міцності згинальних залізобетонних елементів, як з одиничним та подвійним армуванням [7], так і розподіленим по висоті перерізу, чого позбавлені більшість існуючих практичних методик. Даний метод розкриває широкі можливості перед проектувальником у випадках варіантного проектування залізобетонних конструкцій, так як визначивши лише один параметр – розрахунковий опір залізобетону, проектувальник зразу встановлює необхідне одиничне, подвійне або розподілене по висоті армування.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.:Мінрегіонбуд України, 2011.– 71 с. 2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мін-во регіонального розвитку та будівництва України, 2010.– 166 с. 3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84)/ ЦНИИпромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 192 с. 4. Голишев О.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона. – К.:Основа, 2009 – 432 с. 5. Голишев О.Б. Курс лекцій з основ розрахунку будівельних конструкцій і з опору залізобетону/ О.Б. Голишев, А.М. Бамбура. – К.: Логос, 2004. – 340 с. 6. McCormac James C. Design of Reinforced Concrete. / James C. McCormac, James K. Nelson. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006. – 725 p. 7. Кочкаръов Д.В. Практичний розрахунок залізобетонних елементів на міцність за дії згинального моменту на базі ДБН В.2.6-98:2009/ Д.В. Кочкаръов, В.І. Бабич //Коммунальное хозяйство городов. – 2012. – Вип.103. – С.46 – 57. 8. Кочкаръов Д.В. Теорія та практика розрахунку залізобетонних згинальних елементів за граничними станами першої та другої груп на основі загальної деформаційної моделі / Д.В. Кочкаръов, В.І. Бабич // Бетон и железобетон в Украине. – 2012. – №3. – С.7 – 13.