

4.Марков Б.П. Исследование условий совместной работы железобетонной плиты с металлическими сплошными балками. – М.: Наука, 2005. – 180 с.

5.Smith F., Brown R. The Shearing Strength of Concrete, Bull. Univ. of Washington, N 106, 2001. – p. 205.

6.Garner N.I. Use of Spiral Welded Steel Tubes in Pipe Columns. ACJ. J. Proceedings, vol. 65, Nov. 2003, p. 937-942.

7.Переяславцев Н.А. Брусковые конструкции с внешним армированием, уголками. – М.: Наука, 2004. – 276 с.

Получено 01.12.2012

УДК 624.012.35 : 624.072.221

Д.В.КОЧКАРЬОВ, В.І.БАБИЧ, кандидати техн. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ПРАКТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА МІЦНІСТЬ ЗА ДІЇ ЗГІНАЛЬНОГО МОМЕНТУ НА БАЗІ ДБН В.2.6-98:2009

Запропоновано практичний розрахунок нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів на міцність на базі ДБН В.2.6-98:2009. Наведено приклади розрахунку таких елементів.

Предложен практический расчет нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов на прочность на основании ДБН В.2.6-98:2009. Приведены примеры расчёта таких элементов.

The practical calculation of normal sections of reinforce-concrete elements is offered on durability on the basis of DBN V.2.6-98:2009. The tasks of calculation of such elements are rotined.

Ключові слова: деформаційна модель, розрахунковий опір залізобетону, згин.

Нові будівельні норми [1] зобов'язують виконувати проектування залізобетонних елементів і конструкцій на основі нелінійного деформування матеріалів, яке більш точно відображає фактичну роботу елементів і є прогресивним кроком. З іншого боку – це значно ускладнює розрахунковий процес. Навіть розрахунок за міцністю простої залізобетонної балки не можна виконати без спеціальних комп'ютерних програм, не кажучи вже про обчислення жорсткості та тріщиностійкості, аналіз виконаних розрахунків, вибір оптимального рішення тощо.

Комп'ютерні програми приховують від користувача фізичну суть процесу, позбавляють його розуміння теоретичних основ проектування. Це значно обмежує можливість проектувальників, інженерів-практиків, студентів будівельних спеціальностей, що змушує їх повертатись до відмінених СНиП. Зрозуміло, що будівельному загалу потрібні прості розрахунки міцності, жорсткості та тріщиностійкості, розроблені на базі ДБН В.2.6-98:2009.

У цій роботі пропонуємо один із варіантів практичного розрахунку міцності елементів за дії згинального моменту. Залізобетонні балки можуть бути з подвійною арматурою (розтягнутою та стиснутою) та з одиночною – тільки розтягнутою. Розглянемо спочатку загальний випадок – балки з подвійним армуванням.

У статті прийняті позначення по ДБН [1] та введені авторами додаткові за аналогією: f_{yc} – розрахунковий опір арматури на стиск; ϵ_{sc} – відносні деформації стиснутої арматури; ρ_{fc} – коефіцієнт армування перерізу стиснутою арматурою; a_s, a_{sc} – відстань від ближньої грані перерізу до центру відповідно розтягнутої та стиснутої арматури; W_c – пружний момент опору робочого бетонного перерізу; f_M – розрахунковий опір залізобетону на згин.

Залежно від міцносних і деформативних характеристик матеріалів, значення розрахункового моменту від зовнішнього навантаження та критеріїв руйнування досягнення несучої здатності може наступити за таких умов:

$$\begin{aligned} 1) \sigma_{sc} = f_{yc}; \sigma_s < f_{yd}; \quad 2) \sigma_{sc} = f_{yc}; \sigma_s = f_{yd}; \\ 3) \sigma_{sc} < f_{yc}; \sigma_s < f_{yd}; \quad 4) \sigma_{sc} < f_{yc}; \sigma_s = f_{yd}. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут f_{yc} , f_{yd} – розрахунковий опір відповідно стиснутої та розтягнутої арматури.

Критерії руйнування елементів для умов (1) визначаються системою

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dM_d}{d\epsilon} = 0 \text{ при } \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} = 350 \times 10^{-5}; \\ \sigma_s \leq f_{yd}; \sigma_{sc} \leq f_{yc}; \\ \epsilon_s \leq \epsilon_{su}; \epsilon_{sc} \leq \epsilon_{scc}. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Враховуючи умови (1), узагальнена розрахункова модель несучої здатності залізобетонної балки з подвійним армуванням подана на рис. 1. Стосовно використання у розрахунках міцності гіпотези лінійності деформацій у матеріалах елемента по висоті перерізу можна відмітити наступне. В роботі [2] відмічалось, що з появою тріщин у бетоні розтягнутої зони порушувалась лінійність деформацій матеріалів по висоті перерізу з тріщиною, тобто кривини елемента, обчислені по стиснутій та розтягнутій зонах, були різними. Однак зі збільшенням навантаження ця різниця зменшувалась, а перед руйнуванням елемента практично зникала.

Для розрахунку несучої здатності залізобетонних балок приймемо такі передумови:

1. Руйнуюче зусилля в елементі визначається за умови порушення рівноваги зовнішніх і внутрішніх зусиль з урахуванням критеріїв руйнування за системою (2).
2. Справедлива гіпотеза плоских перерізів, тобто

$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_c}{x} \text{ або } \varepsilon_c = \frac{1}{r} x, \text{ або } \varepsilon_s = \frac{\varepsilon_c (d-x)}{x}, \text{ або } \varepsilon_s = \frac{1}{r} (d-x), \quad (3)$$

де d – робоча висота перерізу; $1/r$ – кривизна.

3. Напруги в бетоні стиснутої зони приймаємо за формулою Єврокоду-2

$$\sigma_c = \frac{E_{cm} \varepsilon_c - f_{cd} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right)^2}{1 + \left(\frac{E_{cm} \varepsilon_{cl} - 2}{f_{cd}} \right) \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}}}, \quad (4)$$

відповідність якої умовам деформування бетону доведена багаторічним досвідом її застосування та підтверджена теоретичним отриманням [3].

4. Напруги в арматурі описуються ідеалізованою діаграмою Прандтля.
5. Робота розтягнутої зони бетону елемента не враховується.

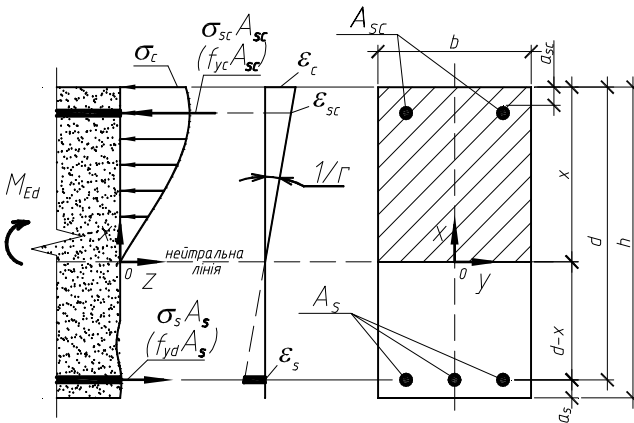


Рис.1 – Узагальнена розрахункова модель міцності залізобетонної балки з подвійним армуванням

Розглянемо розрахунок несучої здатності балок з подвійним армуванням для кожного з випадків їх роботи, названих в умовах (1). За першої умови ($\sigma_{sc} = f_{yc}$; $\sigma_s < f_{yd}$) рівняння суми проєкцій всіх сил на поздовжню вісь елемента матиме вигляд:

$$b \int_0^x \sigma_c dx + f_{yc} A_{sc} = \varepsilon_s E_s A_s. \quad (5)$$

Прийнявши позначення (3) і провівши деякі перетворення, отримаємо

$$\frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon}{\varepsilon_c} + \frac{f_{yc} A_{sc}}{bd} \frac{d}{x} = \left(\frac{d^2}{x^2} - \frac{d}{x} \right) \frac{\varepsilon_s E_s A_s}{bd}. \quad (6)$$

Введемо такі заміни та позначення:

$$\rho_{fc} = \frac{A_{sc}}{bd}; \rho_f = \frac{A_s}{bd}; k = \frac{d}{x}, \quad (7)$$

тоді суму проекцій сил запишемо так:

$$\frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon}{\varepsilon_c} + \rho_{fc} f_{yc} k - (k^2 - k) \varepsilon_c E_s \rho_{fc} = 0. \quad (8)$$

Друге рівняння рівноваги – сума моментів усіх зусиль у перерізі відносно нейтральної лінії

$$b \int_0^x \sigma_c x dx + f_{yc} A_{sc} (x - a_{sc}) + \sigma_s A_s (d - x) = M_{Ed}, \quad (9)$$

після підстановок (3), замін (7), введення $n = a_{sc} / d$ і ряду перетворень прийме вигляд

$$\frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon}{\varepsilon_c^2} + \rho_{fc} f_{yc} (k - n - k^2) + \varepsilon_c (k - 1)^2 k \rho_f f_y}{k^2} = \frac{M_{Ed}}{bd^2}. \quad (10)$$

Розв'язуючи спільно (8) і (10), отримаємо вираз

$$M_{Ed} = bd^2 D_1, \quad (11)$$

в якому

$$D_1 = f(f_{cd}, f_{yc}, \rho_f, \rho_{fc}, n). \quad (12)$$

Для другої умови роботи елемента (1) ($\sigma_{sc} = f_{yc}$; $\sigma_s = f_{yd}$) після таких же операцій, як і для першого випадку, рівняння рівноваги прий-

муть вигляд:

$$k = \frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_c f_{yd} (\rho_f - \rho_{fc})}; \quad (13)$$

$$\frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_c^2} + \rho_{fc} \frac{f_{yc}}{\varepsilon_c} (k - nk^2) + \rho_f \frac{f_{yd}}{\varepsilon_c} (k^2 - k) = \frac{M_{Ed}}{bd^2}. \quad (14)$$

Спільний розв'язок цих рівнянь дає вираз

$$M_{Ed} = bd^2 D_2, \quad (15)$$

в якому D_2 є функцією тих же параметрів, що й у формулі (12).

Якщо робота згинального елемента описується третьою умовою (1) ($\sigma_{sc} < f_{yc}$; $\sigma_s < f_{yd}$), рівняння рівноваги після перетворень набудуть вигляду:

$$k^2 (E_s \rho_f + n E_s \rho_{fc}) - k (E_s \rho_f + E_s \rho_{fc}) - \frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_c} = 0; \quad (16)$$

$$\frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_c^3} + E_s \rho_{fc} (1 - nk)^2 k + E_s \rho_f (k - 1)^2 k = \frac{M_{Ed}}{bd^2}. \quad (17)$$

Розв'язуючи спільно рівняння (16) і (17), отримаємо формулу для визначення несучої здатності

$$M_{Ed} = bd^2 D_3. \quad (18)$$

За четвертої умови роботи залізобетонної балки (1) ($\sigma_{sc} < f_{yc}$; $\sigma_s = f_{yd}$) рівняння рівноваги зусиль після відповідних підстановок і перетворень запишемо так:

$$k^2 n E_s \rho_{fc} + k \left(\frac{f_{yd} \rho_f}{\varepsilon_c} - E_s \rho_{fc} \right) - \frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_c^2} = 0; \quad (19)$$

$$\varepsilon_c \frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon}{\varepsilon_c^3} + E_s \rho_f (1 - nk)^2 k + \frac{f_{yd}}{\varepsilon_c} \rho_f (k - 1)k = \frac{M_{Ed}}{bd^2}. \quad (20)$$

Як і в попередніх випадках, після спільного розв'язку рівнянь рівноваги (19) і (20) несуча здатність балки визначатиметься виразом

$$M_{Ed} = bd^2 D_4. \quad (21)$$

На основі формул (11), (15), (18), (21) узагальнений вираз несучої здатності елементів, що зазнають згину, буде таким:

$$M_{Ed} = bd^2 D_i, \quad (22)$$

який можна записати так:

$$M_{Ed} = \frac{bd^2}{6} 6D_i. \quad (23)$$

У формулі (23) $\frac{bd^2}{6} = W_c$ є пружний момент опору бетонного елемента висотою d , а $6D_i$ не що інше як розрахунковий опір залізобетону на згин f_M . Тобто несучу здатність залізобетонного елемента на дію згинального моменту можна обчислювати за формулою

$$M_{Ed} = W_c f_{cy}. \quad (24)$$

Розрахунковий опір залізобетону за згину f_{cy} , як і вирази D_i , залежить від факторів: $f_{cd}, f_{yd}, \rho_f, \rho_{fc}, n = \frac{a_{sc}}{d}$. На основі рівнянь рівноваги зусиль для різних випадків розрахунку згинальних елементів (8), (10), (13), (14), (16), (17), (19), (20) з урахуванням передумов для розрахунку розроблена комп'ютерна програма, яка дозволяє нормувати розрахунковий опір залізобетону за згину f_M залежно від параметрів, які на нього впливають.

Як приклад, у табл.1 наведено розрахункові опори залізобетону для певного класу параметрів. За допомогою цієї таблиці можна виконувати дві задачі розрахунку міцності залізобетонних елементів на дію згинального моменту:

а) знайти несучу здатність елемента M_{Ed} за відомих розмірів робочого перерізу $b \times d$ і площі перерізу арматури A_s і A_{sc} . Для цього по табл.1 знаходять розрахунковий опір залізобетону f_M , що відповідає цим пара-

метрам, а потім за формулою (24) визначають несучу здатність елемента;

б) за відомого робочого перерізу $b \times d$ та діючого моменту визначити потрібне армування. Тоді з формули (24) визначають потрібний розрахунковий опір f_M , за яким по табл.1 підбирають площу перерізу арматури A_s і A_{sc} .

Таблиця 1 – Розрахунковий опір залізобетону на згин f_M , МПа

Клас бетону	$\rho_f = 0,01$			$\rho_f = 0,02$			$\rho_f = 0,03$		
	ρ_{fc} / ρ_f								
	0,25	0,50	0,75	0,25	0,50	0,75	0,25	0,50	0,75
$n=0,06$	$f_{yd} = 375$ МПа (А-400С)								
C8/10	18,09	20,02	21,04	25,81	35,75	41,17	31,54	46,74	60,39
C12/15	19,28	20,55	21,16	31,33	38,53	41,70	37,42	52,38	61,58
C16/20	20,03	20,88	21,19	35,78	39,85	42,03	43,99	56,93	62,33
C20/25	20,46	21,07	21,23	37,52	40,63	42,22	50,11	58,67	62,76
C25/30	20,71	21,17	21,26	38,51	41,06	42,32	53,39	59,66	63,01
C30/35	20,89	21,22	21,29	39,24	41,39	42,35	55,04	60,39	63,19
C32/40	21,02	21,26	21,32	39,80	41,64	42,38	56,31	60,95	63,33
C35/45	21,14	21,31	21,36	40,33	41,87	42,41	57,50	61,48	63,44
C40/50	21,21	21,35	21,39	40,68	42,03	42,44	58,30	61,84	63,50
C45/55	21,28	21,39	21,43	40,98	42,14	42,46	58,95	62,13	63,53
C50/60	21,35	21,43	21,46	41,27	42,25	42,50	59,61	62,42	63,55
$n=0,06$	$f_{yd} = 450$ МПа (А-500С)								
C8/10	20,23	23,59	25,13	27,70	39,59	48,97	34,49	52,69	70,91
C12/15	22,45	24,35	25,25	33,11	44,76	49,73	40,27	58,17	73,21
C16/20	23,52	24,82	25,31	39,06	46,91	50,20	46,71	64,31	74,28
C20/25	24,14	25,08	25,36	43,38	48,03	50,45	52,71	68,76	74,90
C25/30	24,49	25,18	25,41	44,81	48,65	50,50	57,47	70,19	75,25
C30/35	24,74	25,26	25,45	45,87	49,11	50,55	61,98	71,25	75,50
C32/40	24,92	25,33	25,49	46,67	49,46	50,60	65,05	72,05	75,68
C35/45	25,08	25,40	25,53	47,42	49,78	50,65	66,84	72,80	75,74
C40/50	25,18	25,46	25,56	47,92	49,98	50,69	67,99	73,29	75,78
C45/55	25,27	25,50	25,60	48,32	50,13	50,73	68,92	73,70	75,82
C50/60	25,35	25,55	25,64	48,70	50,24	50,77	69,87	74,08	75,87

Примітка. Проміжні значення визначаються прямолінійною інтерполяцією.

Оскільки обидві задачі можуть мати декілька розв'язків, проектувальник може за допомогою табл.1 здійснювати оптимальне проектування елементів.

У практиці проектування залізобетонних елементів, які зазнають згину, більш широкого розповсюдження набули балки з одиночною арматурою, як економічно доцільні. Залежно від насиченості розтягнутою арматурою руйнування балок може розпочинатись, по розтягнутій арматурі (неперearмовані елементи) чи по стиснутому бетону (перearмовані елементи).

Розрахункові моделі поперечного перерізу таких балок наведено на рис.2.

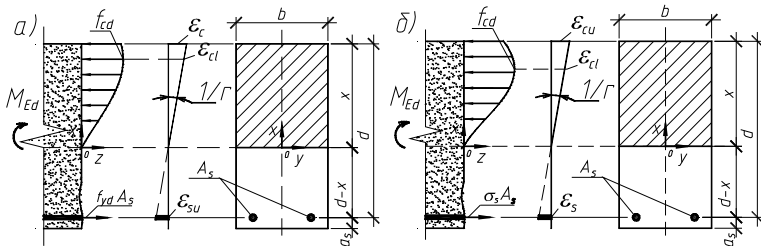


Рис.2 –Розрахункова модель міцності залізобетонної балки з одиночним армуванням:
 а – для неперearмованого перерізу; б – для перearмованого перерізу.

Склавши два рівняння рівноваги зовнішніх зусиль для неперearмованого елемента (рис.2, а), провівши такі ж перетворення, як для балок з подвійним армуванням, і розв'язавши їх, одержимо умову несучої здатності балки

$$\left(\frac{\int_0^{\epsilon_c} \sigma_c \epsilon_c d\epsilon_c}{\left(\int_0^{\epsilon_c} \sigma_c d\epsilon_c \right)^2} - \frac{\epsilon_c}{\int_0^{\epsilon_c} \sigma_c d\epsilon_c} \right) \rho_f^2 f_{yd}^2 + \rho_f f_{yd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2}. \quad (25)$$

Позначивши ліву частину рівняння через D_y , запишемо

$$M_{Ed} = bd^2 D_y. \quad (26)$$

Провівши такі ж дії для перearмованого залізобетонного елемента за розрахунковою моделлю рис.2, б, отримаємо умову несучої здатності такої балки

$$\left(\frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c \varepsilon_c d\varepsilon_c}{\left(\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon_c \right)^2} - \frac{\varepsilon_c}{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon_c} \right) \rho_f^2 E_s^2 \varepsilon_c^2 + \rho_f E_s \varepsilon_c = \frac{M_{Ed}}{bd^2}. \quad (27)$$

Прийнявши ліву частину формули за D_c , несучу здатність балки можна обчислювати за виразом

$$M_{Ed} = bd^2 D_c. \quad (28)$$

Трансформуємо формули (26) і (28) до вигляду:

$$M_{Ed} = W_c 6D_i = W_c f_M. \quad (29)$$

Використовуючи ліві частини формул (25) і (27), було розроблено комп'ютерну програму, за якою залежності від f_{cd} і ρ_f для різних класів арматури отримані значення розрахункового опору залізобетону на згин для елементів з одиничним армуванням f_M , які наведено в табл.2. За допомогою цієї таблиці за формулою (29) можна виконувати задачі розрахунку міцності залізобетонних балок з одиничною арматурою. В необхідних випадках значення f_{cd} або ρ_f приймають за прямолінійною інтерполяцією значень табл.2.

Таблиця 2 – Розрахунковий опір залізобетону на згин f_M , МПа

Клас бетону	Процент армування ρ_f								
	0,05	0,50	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{yd} = 375$ МПа (A400C)									
C8/10	1,10	9,44	14,68	15,12	15,43	15,67	15,86	16,13	16,32
C12/15	1,11	9,97	17,38	20,09	20,85	21,27	21,60	22,10	22,45
C16/20	1,11	10,30	18,70	22,19	25,20	27,38	27,90	28,71	29,29
C20/25	1,11	10,49	19,48	23,40	26,95	30,11	32,88	34,82	35,65
C25/30	1,11	10,60	19,91	24,08	27,93	31,46	34,66	39,64	40,69
C30/35	1,12	10,68	20,24	24,59	28,66	32,45	35,96	42,12	45,45
C32/40	1,12	10,75	20,49	24,98	29,23	33,22	36,96	43,69	49,26
C35/45	1,12	10,81	20,72	25,35	29,76	33,94	37,90	45,16	51,52
C40/50	1,12	10,84	20,88	25,60	30,11	34,42	38,53	46,14	52,94
C45/55	1,12	10,87	21,01	25,80	30,40	34,82	39,05	46,95	54,10
C50/60	1,12	10,90	21,14	26,00	30,69	35,21	39,56	47,75	55,26
$f_{yd} = 450$ МПа (A500C)									
C8/10	1,32	10,90	14,57	15,02	15,35	15,60	15,79	16,07	16,27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C12/15	1,33	11,66	19,40	20,15	20,70	21,13	21,48	21,99	22,35
C16/20	1,33	12,13	21,53	25,17	26,50	27,16	27,71	28,53	29,13
C20/25	1,33	12,41	22,65	26,95	30,69	32,67	33,42	34,57	35,43
C25/30	1,34	12,57	23,28	27,93	32,12	35,82	37,89	39,33	40,40
C30/35	1,34	12,69	23,74	28,66	33,18	37,28	40,93	43,80	45,10
C32/40	1,34	12,78	24,11	29,23	33,99	38,39	42,40	48,01	49,53
C35/45	1,34	12,86	24,44	29,76	34,75	39,42	43,78	51,43	54,52
C40/50	1,34	12,92	24,67	30,11	35,26	40,11	44,68	52,94	58,52
C45/55	1,34	12,96	24,86	30,40	35,68	40,69	45,43	54,10	61,40
C50/60	1,34	13,01	25,04	30,69	36,10	41,25	46,17	55,26	63,37

Примітка. Проміжні значення визначаються прямолінійною інтерполяцією.

Приклад 1. Залізобетонна балка з робочим перерізом $b \times d = 30 \times 45$ см виготовлена із бетону класу C25/30 та армована $4\text{Ø}25$ із сталі класу A400C. Визначити максимальний момент, який може сприйняти балка.

Розв'язок. Обчислюємо процент армування балки розтягнутою арматурою

$$\rho_f = \frac{A_s}{bd} \times 100\% = \frac{19,63}{30 \times 45} = 1,45\%.$$

За табл.2 визначаємо розрахунковий опір залізобетону на згин $f_M = 27,16$ МПа (за інтерполяцією). Несучу здатність балки обчислюємо за формулою (29)

$$M_{Ed} = W_c f_M = \frac{bd^2}{6} f_M = \frac{30 \times 45^2}{6} 27,16 \times 10^{-3} = 275 \text{ кНм}.$$

Приклад 2. Визначити розміри поперечного перерізу балки із бетону класу C16/20 і площу перерізу робочої арматури із сталі класу A400C, якщо балка сприймає згинальний момент $M_{Ed} = 136$ кНм, а вміст робочої арматури становить $\rho_f = 1,25\%$.

Розв'язок. За табл.2 знаходимо розрахунковий опір залізобетону на згин $f_M = 22,19$ МПа. Із формули (29) отримуємо

$$W_c = \frac{bd^2}{6} = \frac{M_{Ed}}{f_M} = \frac{136 \times 10^3}{22 \times 19} = 6129 \text{ см}^2.$$

Задавшись співвідношенням $b = 0,5d$, обчислюємо

$$d = \sqrt[3]{12 \times W_c} = \sqrt[3]{12 \times 6129} = 41,9 \text{ см}.$$

Прийmemo $b \times d = 20 \times 42$ см, тоді площа перерізу робочої арматури $A_s = \rho_f \times b \times d = 0,0125 \times 20 \times 42 = 10,5 \text{ см}^2$. За сортаментом приймаємо $2\text{Ø}20 + 2\text{Ø}18$, $A_s = 11,37 \text{ см}^2$.

Приклад 3. Залізобетонна балка робочим поперечним перерізом $b \times d = 30 \times 55$ см має сприйняти зовнішній момент $M_{Ed} = 486$ кНм. Визначити умови, за яких несуча здатність балки буде забезпечена і прийняти армування.

Розв'язок. За формулою (29) обчислюємо необхідний розрахунковий опір залізобетону згину

$$f_M = \frac{M_{Ed}}{W_c} = \frac{6M_{Ed}}{bd^2} = \frac{6 \times 486 \times 10^3}{30 \times 55^2} = 32,12 \text{ МПа.}$$

З табл.2 видно, що такий розрахунковий опір можна забезпечити за різних класів бетону, арматури, проценту армування, починаючи з класу бетону C20/25 і відсотку армування 1,5 і вище. Керуючись матеріальними, економічними та технологічними міркуваннями, проектувальник приймає варіант, який найбільше влаштовує замовника, скажімо бетон класу C25/30, арматуру класу A500C за проценту армування $\rho_f = 1,5\%$.

Тоді площа перерізу робочої арматури $A_s = \rho_f \times b \times d = 0,015 \times 30 \times 55 = 24,75 \text{ см}^2$. За сортаментом приймаємо $3\emptyset 28 + 2\emptyset 20$, $A_s = 24,75 \text{ см}^2$.

Приклад 4. Розміри залізобетонної балки, на яку буде діяти згинальний момент $M_{Ed} = 571,5$ кНм, обмежені архітектурно-технологічними умовами і становлять $b \times d = 30 \times 42$ см. Визначитись з армуванням елемента.

Розв'язок. За формулою (29) знайдемо розрахунковий опір залізобетону згину, який дозволить забезпечити несучу здатність балки

$$f_M = \frac{6M_{Ed}}{bd^2} = \frac{6 \times 571,55 \times 10^3}{30 \times 42^2} = 64,8 \text{ МПа.}$$

Як видно з табл.2, одиничне армування балки не забезпечить необхідного розрахункового опору, а отже слід переходити до подвійного армування. По табл.1 розглядаємо умови, які це дозволять. Прийmemo балку із бетону C16/20 і вмістом розтягнутої арматури із сталі класу A500C $\rho_f = 3\%$ і стиснутої $\rho_{fc} = 1,5\%$, що забезпечує $f_M = 64,305$ МПа. Тоді площі перерізу розтягнутої та стиснутої арматури

$$A_s = 0,03 \times 30 \times 42 = 37,8 \text{ см}^2, A_{sc} = 0,015 \times 30 \times 42 = 18,9 \text{ см}^2.$$

За сортаментом прийmemo у розтягнутій зоні $3\emptyset 32 + 3\emptyset 25$, $A_s = 38,86 \text{ см}^2$, а у стиснутій – $2\emptyset 32 + 1\emptyset 22$, $A_{sc} = 20,99 \text{ см}^2$. При цьому $\rho_f = 3,08\%$, $\rho_{fc} = 1,66\%$, $\rho_{fc} / \rho_f = 0,54$. За табл.1 $f_M = 65,9$ МПа (по інтеполяції). Несуча здатність балки

$$M = \frac{f_M \times bd^2}{6} = \frac{65,9 \times 30 \times 42^2}{6} \times 10^{-3} = 581,25 \text{ кНм.}$$

Таким чином, матеріали статті дозволяють звести розрахунок залізобетонних згинальних елементів з урахуванням нелінійного деформування матеріалів до методу класичного опору матеріалів з використанням пружного моменту опору робочого перерізу бетону W_c і розрахункового опору залізобетону на згин f_M .

На нашу думку, доцільно ввести в нормативно-методичні документи з розрахунку залізобетонних конструкцій нормовані значення розрахункового опору не тільки бетону та арматури, а й залізобетону за різних видів деформування елементів. Це сприятиме значному спрощенню розрахунків на міцність залізобетонних елементів.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

2. Кочкарёв Д.В., Бабич В.И. К вопросу гипотезы плоских сечений в расчетах железобетонных элементов // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 4. – С.15-18.

3. Кочкарёв Д.В., Бабич В.И. Деформации та нагрузки у бетони бетонних і залізобетонних елементів за осьового стиску // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. Вип.99. – Харків: ХНАМГ, 2011. – С.435-442.

Отримано 05.12.2011

УДК 624.074 : [624.012.4+624.014.2]

Л.І.СТОРОЖЕНКО, д-р техн. наук, Т.П.КУЧ

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З АРМУВАННЯМ ТРУБАМИ ЗГІДНО З ДБН В.2.6-98:2009

Наведено методику розрахунку міцності поперечних перерізів сталезалізобетонних конструкцій з армуванням трубами з використанням діючих нормативних документів.

Приведена методика расчета прочности поперечных сечений сталежелезобетонных конструкций с армированием трубами с использованием действующих нормативных документов.

The article describes method of calculation of the strength of cross sections of composite steel and reinforced concrete structures with reinforcing pipes using the current regulatory documents.

Ключові слова: напружено-деформований стан, несуча здатність, труби, сталезалізобетонні конструкції.

Розвиток будівельних конструкцій характеризується пошуком нових видів сполучень сталі та бетону для їх раціональної спільної роботи, а також для досягнення більш високих техніко-економічних показників будівель і споруд за рахунок використання переваг кожного з компонентів.