

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА
Кафедра будівництва і геомеханіки

ЗАЛІЗОБЕТОНІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

для студентів напряму підготовки 6.060101 Будівництво

Дніпропетровськ
НГУ
2013

Залізобетонні конструкції. Методичні рекомендації до практичних занять для студентів напряму підготовки 6.060101 Будівництво/ В.Є. Волкова. – Д.: ДВНЗ Національний гірничий університет, 2013. – 25 с.

Автор:

В.Є. Волкова, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до видання редакційною радою НГУ (протокол № 5 05.11.2013) за поданням методичної комісії напряму підготовки 6.060101 Будівництво (протокол № 1 від 13.12.2012).

Методичні матеріали призначено для самостійної роботи студентів напряму 6.060101 Будівництво під час підготовки до модульного контролю за результатами практичних занять з нормативної дисципліни «Залізобетонні конструкції».

Розглянуто теоретичні відомості про ключові питання розрахунків елементів залізобетонних конструкцій за методом граничних станів. Подано рекомендації до розв'язування типових практичних задач з визначення напружено-деформованого стану елементів конструкції, а також рекомендації з їх конструювання. Наведено приклади розрахунків залізобетонних конструкцій, а також конструктивні вимоги до них.

Рекомендації орієнтовано на активізацію виконавчого етапу навчальної діяльності студентів.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри будівництва і геомеханіки, д-р. техн. наук, проф. О.М. Шашенко.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Студентам будівельних спеціальностей в курсах «Будівельні конструкції» та «Залізобетонні конструкції» необхідно набути певного досвіду самостійного застосування теоретичні знання для вирішення практичних інженерних задач, на початку курсу – елементарних, а в курсових роботах та проектах – комплексних задач.

Приступаючи до рушення задач, студент повинен уважно ознайомитись із запропонованими прикладами розрахунків елементів залізобетонних конструкцій. Потім в умову кожної задачі ввести вихідні дані і виконати розрахунки.

Вихідні дані отримують за шифром, котрим є ініціали та перші букви прізвища студента. У разі невірно вибраних вихідних даних рішення задач вважається недійсним.

Методичні вказівки складені з урахуванням того, що студенти уже знайомі з курсами будівельних матеріалів, опору матеріалів, основ будівельної механіки.

Задачі оформляють у вигляді пояснювальної записки на аркушах формату А4 (29,7 x 21,0 см). З лівого боку сторінки передбачити поле шириною 2 см, а з інших боків 0,5 см. Для кожної задачі необхідно виконати ескізи залізобетонного елемента, розрахунки якого виконує студент.

ЗАДАЧІ ДО РОЗРАХУНКІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Задача № 1

Визначити розміри поперечного перерізу залізобетонної балки та площу подовжньої робочої арматури.

Вихідні дані прийняті за шифром ПРИЙ (Приймак).

Розрахункове навантаження на балку $\vartheta = 11,3$ кН/м. Розрахунковий проліт $l = 6,5$ м, бетон класу С15, повздовжня робоча арматура класу А400С.

Рішення

Визначимо характеристики міцності матеріалів по таблицях 1 і 3 додатку. Розрахунковий опір бетону класу С15 на стиск дорівнює $f_{cd} = 8,5$ МПа. Розрахунковий опір арматури класу А400С на розтяг $f_{yd} = 365$ МПа.

Спочатку визначимо розміри поперечного перерізу балки. На підставі досвіду проектування висоту перерізу приймаємо $h = 0,07l$ в межах $(0,1 \dots 0,5) l$, та ширину $b = 0,4h$, тобто в межах $(0,3 \dots 0,5) h$.

Отже,

$$h = 0,07 l = 0,07 \cdot 650 = 45,5 \text{ см};$$

$$b = 0,4 \cdot 45,5 = 18,2 \text{ см}.$$

Розміри поперечного перерізу за умови типової опалубки повинні бути кратними 5 см. Приймаємо $h = 45$ см, $b = 20$ см.

Вихідні дані до задачі № 1

Вихідні дані	Вихідні дані									
	В Є Ч	А Л Х	Р И,Й Н	Б І М	К Ф Ь	Г О Ш	Ж Е С	Д У Щ	П Я Ц	Т Ю З
Розрахунковий проліт балки $l, м$	8,0	7,5	7,3	7,2	7,0	6,8	7,1	7,4	6,5	6,3
Розрахункове навантаження , $кН/м$	10,0	12,8	11,3	9,8	13,3	13,0	12,2	10,9	11,1	12,6
Клас бетону	C15	C20	C15	C20	C15	C20	C15	C20	C15	C20
Клас арматури	A500	A500	A400С	A400С	A500	A400С	A500	A400С	A500	A400С

Визначаємо власну вагу 1 м балки, щільність важкого бетону $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$

$$g_n = hb\gamma = 0,45 \cdot 0,25 \cdot 25 = 2,25 \text{ кН/м}.$$

Визначаємо розрахункове навантаження від власної ваги балки

$$g = g_n \gamma_f = 2,25 \cdot 1,1 = 2,475 \text{ кН/м}.$$

Повна розрахункова величина навантаження

$$q = \vartheta + g = 2,475 + 11,3 = 13,775 \text{ кН/м}.$$

Розрахункова схема балки наведена на рис. 1.

Розрахунковий згинаючий

$$M = \frac{q l^2}{8} = \frac{13,775 \cdot 6,5^2}{8} = 72,75 \text{ кНм}$$

Знаходимо робочу висоту балки

$$d = h - a = 45 - 4 = 41 \text{ см},$$

де $a = 4$ см – відстань від крайніх розтягнутих волокон до центра ваги робочої арматури.

Визначаємо величину відносного моменту α_m

$$\alpha_m = \frac{M}{\sigma_s d^2 f_{cd}} = \frac{72,75 \cdot 100 \cdot 10}{20 \cdot 41^2 \cdot 8,5} = 0,254.$$

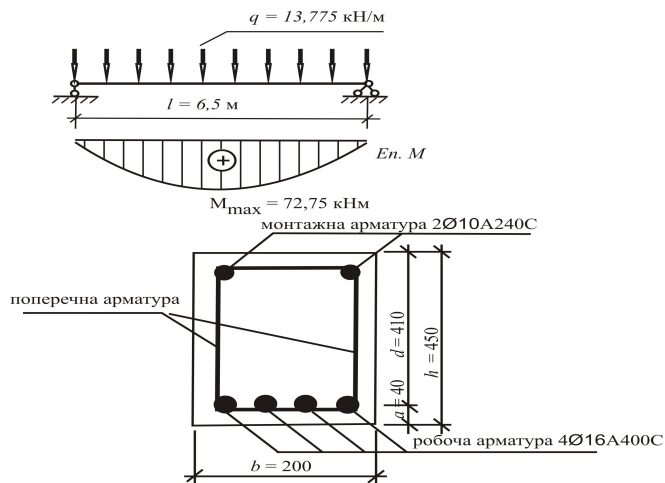


Рис. 1. Розрахункова схема

З табл. 6 додатку I за величиною $\alpha_0 = 0,254$ знаходимо відносну висоту стиснутої зони $\xi = 0,373$ і $\zeta = 0,851$. Розрахунки виконуємо з урахуванням $\xi \leq \xi_R$.

Визначимо граничне значення відносної висоти стиснутої зони перерізу за табл. 5. додатку. Для бетону класу С15 і арматури класу А400С – $\xi_R = 0,657$

Таким чином, $\xi = 0,373 < \xi_R = 0,657$ – умова виконується і елемент розраховуємо, як елемент з одиночною арматурою.

Площу перерізу подовжньої робочої арматури знаходимо за формулою

$$A_s = \frac{M}{f_{yd} \zeta d} = \frac{72,75 \cdot 100 \cdot 10}{365 \cdot 0,851 \cdot 41} = 5,71 \text{ см}^2.$$

Мінімальна площа робочої арматури дорівнює

$$A_{s, \min} = 0,0013bd = 0,0013 \cdot 20 \cdot 41 = 1,06 \text{ см}^2 < A_s = 5,71 \text{ см}^2.$$

По табл. 8 додатку I приймаємо 4Ø 16А400С, $A_s = 6,16 \text{ см}^2$.

Кількість стержнів робочої арматури доцільно прийняти в межах 3 ... 6 штук. Переріз балки наведений на рис. 2.

Визначимо коефіцієнт армування перерізу

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{6,16}{20 \cdot 41} = 0,0075 < [\rho] = 0,04.$$

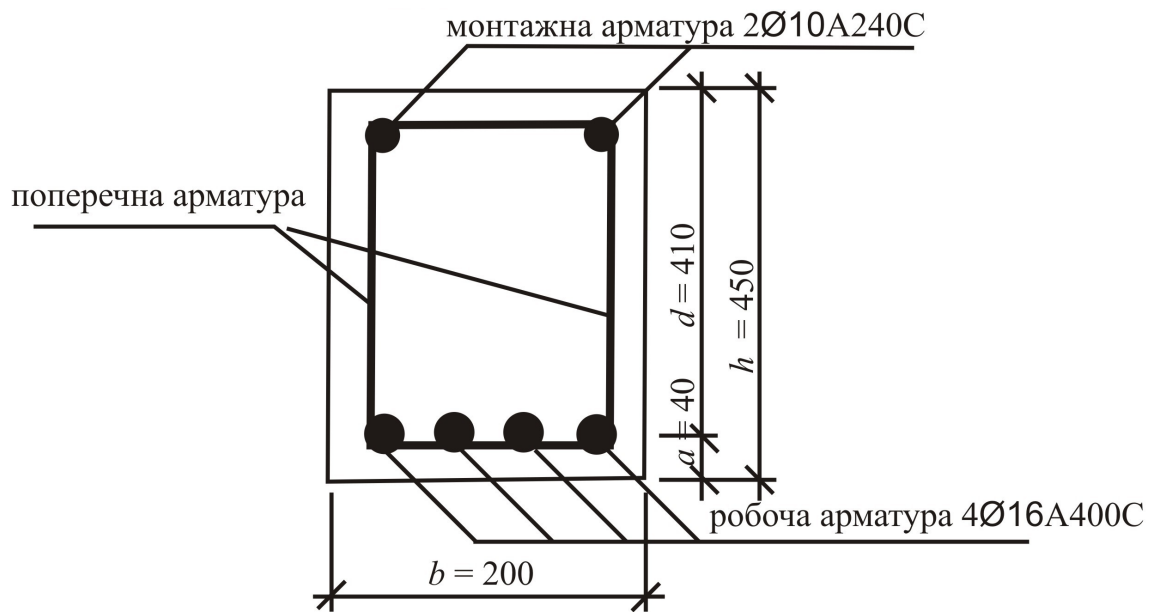


Рис. 2. Компонівка поперечного перерізу

Задача №2

Визначити площу перерізу подовжньої арматури залізобетонної балки.

Таблиця 2

Вихідні дані до задачі № 2

Вихідні дані	Вихідні дані									
	Г О Ш	Ж Є С	Д У Щ	П Я Ц	Т Ю З	В Е Ч	А Л Х	Р И Н	Б І М	К Ф Б
Розрахункове навантаження q , кН/м	74,2	69,8	66,7	70,0	65,3	72,1	68,0	69,1	68,2	68,0
Розрахунковий проліт l , м	7,2	7,2	7,0	7,0	7,8	7,8	7,8	7,5	6,9	6,9
Клас бетону	C20	C15	C15	C20	C15	C15	C15	C20	C15	C15
Клас арматури	A400С	A500С	A400С	A500С	A400С	A400С	A400С	A500С	A400С	A500С
Розміри поперечного перерізу балки $b \times h$, мм	300×600	250×600	250×600	300×600	300×600	250×600	300×600	250×600	250×600	300×600

Вихідні дані прийняті за шифром ПРИЙМ (Приймак).

Розрахункове навантаження на балку $q = 70$ кН/м, розрахунковий проліт $l = 7,5$ м, бетон класу С20; поздовжня арматура класу А400С. Розміри поперечного перерізу балки $b \times h = 25 \times 60$, товщина захисного шару бетону $a = d' = 4$ см.

Рішення

Визначимо характеристики міцності матеріалів по таблицях 1 і 3 додатку. Розрахунковий опір бетону класу С20 на стиск дорівнює $f_{cd} = 11,5$ МПа. Розрахунковий опір арматури класу А400С на розтяг $f_{yd} = f_{kd} = 365$ МПа.

Визначаємо розрахунковий згинаючий момент.

$$M = \frac{q l^2}{8} = \frac{70 \cdot 7,5^2}{8} = 492,18 \text{ кНм}.$$

Розрахункова схема балки показана на рис. 3.

Знаходимо робочу висоту балки

$$d = h - a = 60 - 4 = 56 \text{ см}.$$

Визначимо табличний коефіцієнт α_m

$$\alpha_m = \frac{M}{b d^2 f_{cd}} = \frac{492,18 \cdot 100 \cdot 10}{25 \cdot 56^2 \cdot 11,5} = 0,546.$$

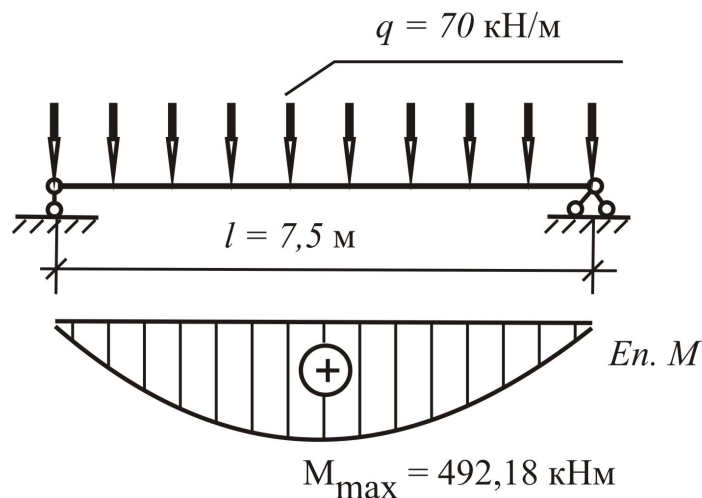


Рис. 3 Розрахункова схема

По таблиці 5 додатку I визначимо граничні значення табличних коефіцієнтів α_R і ξ_R . Для бетону класу С20 і стрижневої арматури класу А400С відповідає $\xi_R = 0,65$, тоді по табл. 6 . $\alpha_R = 0,384$.

У зв'язку з тим, що $\alpha_m = 0,546 > \alpha_R = 0,384$, то при заданих розмірах балки її необхідно армувати як в розтягнутій, так і в стиснутій зонах (елементи з подвійною арматурою).

Граничне значення висоти стиснутої зони бетону дорівнює

$$x_R = \xi_R d = 0,65 \cdot 56 = 36,4 \text{ см}.$$

Визначимо граничне значення згинального моменту

$$M_R = \lambda x_R b f_{cd} (d - 0,5 \lambda x_R) =$$

$$= 0,1 \cdot 0,8 \cdot 36,4 \cdot 25 \cdot 11,5 \cdot (56 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 36,4) = 34694 \text{ Кн см},$$

де $\lambda = 0,8$ для бетонів, що мають характеристичний опір стиску $f_{ck} \leq 50 \text{ МПа}$.

Деформації стиснутої арматури

$$\epsilon'_s = \epsilon_{cu,3} (1 - d'/x_R) = 0,00323 (1 - 4/36,4) = 0,00288, \text{ де по табл. 1. додатку I}$$

визначається $\epsilon_{cu,3} = 3,23\% = 0,00323$ для бетону класу С20.

Виконаємо перевірку напружень в стиснутій арматурі

$$\sigma'_s = \frac{\epsilon'_s E_s}{\gamma_s} = \frac{0,00288 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{1,1} = 549,8 \text{ МПа} > \frac{f_{yd}}{\gamma_s} = \frac{365}{1,1} = 331,8 \text{ МПа}.$$

Враховуючи, що $\sigma'_s > f_{yd}/\gamma_s$ для подальших розрахунків приймаємо

$$\sigma'_s = f_{yd}/\gamma_s = 331,8 \text{ МПа}.$$

Розрахункова площа арматури стиснутої зони перерізу

$$A'_s = \frac{M - M_R}{\sigma'_s (d - d')} = \frac{49218 - 34694}{\frac{331,8}{10} (56 - 4)} = 8,42 \text{ см}^2.$$

Визначимо деформації розтягнутої арматури

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu,3} \frac{d - x_R}{x_R} = 0,00323 \frac{54 - 36,4}{36,4} = 0,00156, \text{ тоді напруження в розтягнутій}$$

арматурі дорівнюють

$$\sigma_s = \epsilon_s E_s = 0,00156 \cdot 2,1 \cdot 10^5 = 327,95 \text{ МПа} > f_{yd} = 365 \text{ МПа}.$$

Площу поздовжньої робочої арматури розтягнутої зони визначаємо за формулою

$$A_s = \lambda x_R b \frac{f_{cd}}{\sigma_s} + A'_s \frac{\sigma'_s}{\sigma_s} = 0,8 \cdot 36,4 \cdot 25 \cdot \frac{11,5}{365} + 8,42 \frac{365}{365} = 31,35 \text{ см}^2.$$

Мінімальна площа робочої арматури дорівнює

$$A_{s,\min} = 0,0013 b d = 0,0013 \cdot 25 \cdot 56 = 1,82 \text{ см}^2 < A_s \cong 31,35 \text{ см}^2.$$

З табл. 8 додатку 1 приймаємо: а) робоча арматура стиснутої зони 5Ø 16A400С, $A'_s = 10,05 \text{ см}^2$;

б) робоча арматура розтягнутої зони 6Ø 28A400С, $A_s = 34,36 \text{ см}^2$.

Визначимо коефіцієнт армування перерізу

$$\rho = \frac{A_s}{b d} = \frac{34,36}{25 \cdot 56} = 0,0245 < [\rho] = 0,04.$$

Поперечний переріз балки наведений на рис. 4.

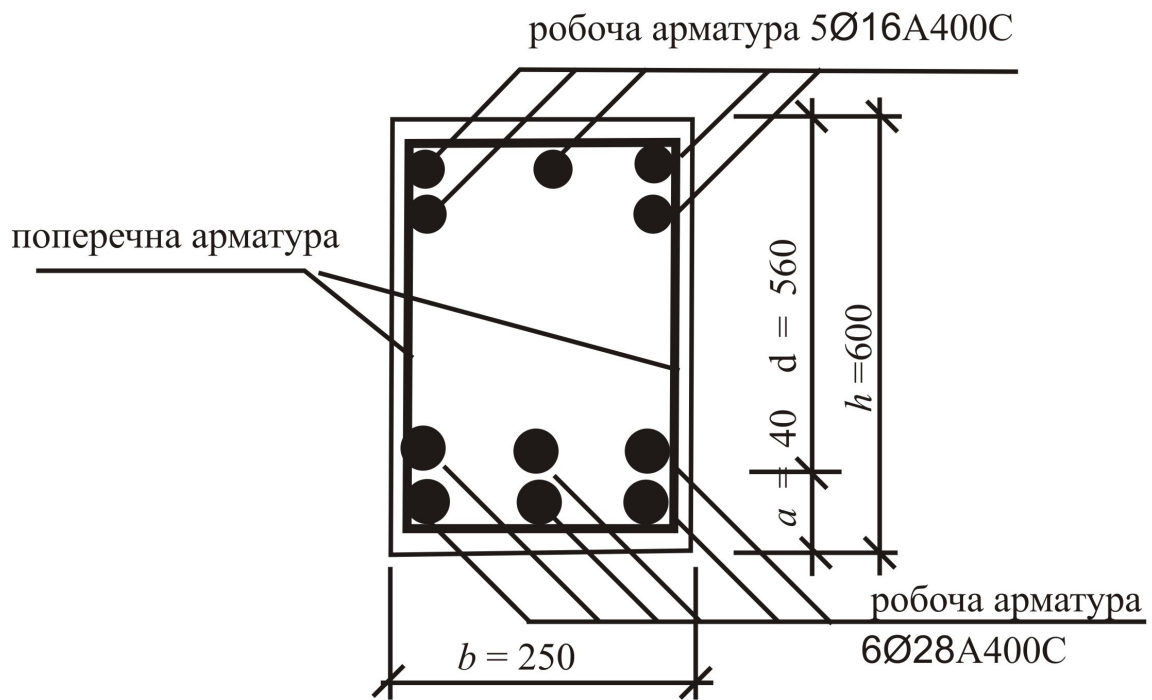


Рис. 4. Компоновка поперечного перерізу

Задача №3

Визначити граничний згинаючий момент залізобетонної балки.

Таблиця 3

Вихідні дані до задачі № 3

Вихідні дані	Вихідні дані									
	Д Щ	Г Ш	К Ф Ь	Б І М	А Л Х	Р И Н	П Я Ц	Ж Е С	Т Ю з	В Є Ч
Клас бетону	C15	C20	C15	C15	C20	C15	C15	C20	C15	C20
Клас арматури	A500C	A400C	A500C	A400C	A500C	A400C	A500C	A400C	A500C	A400C
Кількість стержнів, шт.	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4
Діаметр	10	12	14	16	18	20	22	25	28	10
Розміри поперечного перерізу балки $b \times h$, мм	250×400	300×500	250×400	250×400	200×400	250×500	300×500	200×400	250×400	250×400

Вихідні дані прийняті з табл. 3 додатку I за шифром ПРИЙМ (Приймак).

Бетон класу С15; одиночна поздовжня арматура розтягнутої зони $4\emptyset 16A400C$. Розміри поперечного перерізу балки $b \times h = 25 \times 40$ см, $a = 4$ см. Поперечний переріз балки наведений на рис. 5.

Рішення

Визначимо характеристики міцності матеріалів по таблицях 1 і 3 додатку. Розрахунковий опір бетону класу С15 на стиск дорівнює $f_{cd} = 8,5$ МПа. Розрахунковий опір арматури класу А400С на розтяг $f_{yd} = 365$ МПа.

Визначаємо робочу висоту перерізу

$$d = h - a = 40 - 4 = 36 \text{ см.}$$

За табл. 8 додатку I площа перерізу арматури $A_s = 10,17$ см² відповідно $4\emptyset 16A400C$.

Коефіцієнт армування перерізу балки дорівнює

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{10,17}{25 \cdot 36} = 0,0113 < [\rho] = 0,04.$$

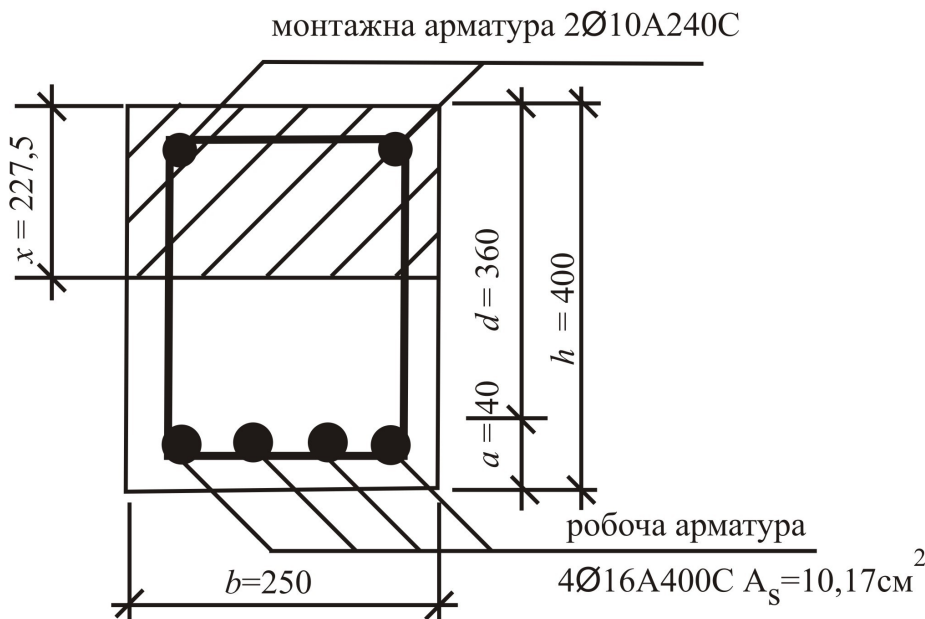


Рис 5. Поперечний переріз балки

По таблиці 4 додатку I для бетону класу С15 і арматури класу А400С знаходимо значення $f_{yd} / f_{cd} = 42,94$. Відносний момент перерізу дорівнює

$\zeta = 1 - 0,5\rho \left(f_{yd} / f_{cd} \right) = 1 - 0,5 \cdot 0,0113 \cdot 42,94 = 0,757$. Відповідне значення висоти стиснутої зони перерізу визначаємо по табл. 6 додатку I $\xi = 0,632$.

Граничне значення відносної висоти стиснутої зони балки для бетону класу С15 і арматури класу А400С відповідно до табл. 5 додатку I $\xi_R = 0,657$.

За умови, що $\xi \leq \xi_R$ будемо вважати, що балка армована одиночною арматурою.

Визначимо граничний момент, який може бути сприйнятий перерізом

$$M_u = A_s d \zeta f_{yd} = 10,17 \cdot 36 \cdot 0,757 \frac{365}{10} = 10116 \text{кН см} = 101,16 \text{кНм}.$$

відповідна до граничного значення моменту висота стиснутої зони бетону $x = d \xi = 36 \cdot 0,632 = 22,75 \text{см}.$

Задача №4

Визначити площу перерізу арматури розтягнутої зони залізобетонної балки таврового профілю.

Вихідні дані прийняті за шифром ПРИЙМА (Приймак).

Розрахунковий момент $M = 280$ кНм, розміри перерізу $b_{eff} = 60$ см, $h_f = 10$ см (незалежно від шифру), $b_w = 30$ см, $h = 60$ см, $a = 6$ см ; бетон класу C15; робоча арматура класу A400C.

Таблица 4

Вихідні дані до задачі № 4

Вихідні дані	Вихідні дані									
	Д У Щ	Г О Ш	К Ф Б	В Е Ч	А Л Х	Р И Н	Б І М	П Я Ц	Ж Є С	Т Ю З
Розрахунковий момент M , кНм	270	310	300	290	280	270	280	280	290	300
Ширина полки b_{eff}	500	600	500	600	500	600	500	600	500	600
Ширина ребра b_w , мм	250	300	250	300	250	300	250	300	250	300
Висота перерізу h , мм	550	600	550	600	550	600	550	600	550	600
Клас бетону	C20	C15	C20	C15	C20	C15	C20	C15	C20	C15
Клас арматури	A400C	A400C	A500	A500	A400C	A400C	A500	A500	A400C	A400C

Рішення

Визначимо характеристики міцності матеріалів по таблицях 1 і 3 додатку. Розрахунковий опір бетону класу С15 на стиск дорівнює $f_{cd} = 8,5$ МПа. Розрахунковий опір арматури класу А400С на розтяг $f_{yd} = 365$ МПа.

Знаходимо робочу висоту перерізу

$$d = h - a = 60 - 6 = 54 \text{ см.}$$

Для визначення випадку розрахунку необхідно знати положення нейтральної лінії. Для цього обчислимо величину моменту, який сприймається полкою

$$M_f = b_{eff} h_f \frac{f_{cd}}{10} (d - 0,5h_f) = 60 \cdot 10 \cdot \frac{8,5}{10} (54 - 0,5 \cdot 10) = 249,9 \text{ кНм}$$

так як $M = 280 > M_f = 249,9$ кНм, то нейтральна лінія перетинає ребро і розрахунки перерізу виконуємо за другим випадком, тобто розрахунковий момент буде сприйматись і звісами і ребром $M = M_1 + M_2$.

Згинальний момент, що сприймається звісами визначається по формулі

$$M_2 = M_f \frac{(b_{eff} - b_w)}{b_{eff}} = 249,9 \cdot \frac{(60 - 30)}{30} = 124,95 \text{ кНм.}$$
 Тоді з умови рівноваги

перерізу згинальний момент, що сприймається ребром дорівнює

$$M_1 = M - M_2 = 280 - 124,95 = 155,05 \text{ кНм.}$$

Обчислимо значення відносного моменту опору

$$\alpha_m = \frac{M_1}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{15505 \cdot 10}{30 \cdot 56^2 \cdot 8,5} = 0,2085.$$

По табл. 6 додатку I відповідно $\xi = 0,295$.

Граничне значення відносної висоти стиснутої зони балки для бетону класу С15 і арматури класу А400С відповідно до табл. 5 додатку I $\xi_R = 0,657$.

Так як, $\xi = 0,295 \leq \xi_R = 0,657$ то балка армується одиночною арматурою.

Площу перерізу розтягнутої арматури визначаємо за формулою

$$A_s = \frac{M_1}{d \zeta f_{yd}} + \frac{M_2}{(d - 0,5h_f) f_{yd}} = \frac{15505 \cdot 10}{54 \cdot 0,882 \cdot 365} + \frac{12495 \cdot 10}{(54 - 0,5 \cdot 10) \cdot 365} = 15,91 \text{ см}^2,$$

де $\zeta = 1 - 0,4\xi = 1 - 0,4 \cdot 0,295 = 0,882$.

По сортаменту арматури табл. 8 додатку 1 приймаємо $2\text{Ø}22\text{A}400\text{C} + 22\text{Ø}25\text{A}400\text{C}$, площа арматури $A_s = 7,6 + 9,82 = 17,42 \text{ см}^2$.

Коефіцієнт армування перерізу балки дорівнює

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{17,42}{30 \cdot 54} = 0,0108 < [\rho] = 0,04.$$

Переріз балки наведений на рис. 6.

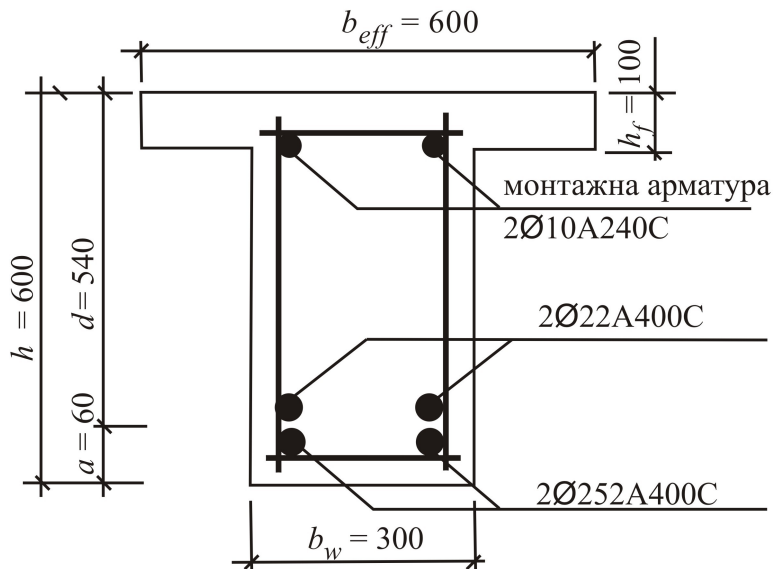


Рис. 6. Компонівка поперечного перерізу балки

Задача №5

Перевірити міцність по похилих перерізах залізобетонної балки прямокутного профілю.

Таблиця 5

Вихідні дані до задачі № 5

Вихідні дані	Вихідні дані									
	Р И Н	Б І М	П Я Ц	Ж Є С	Т Ю З	А Л Х	Д У Щ	Г О Ш	К Ф Ь	В Е Ч
Поперечна сила V_{Ed} , кН	90	110	100	130	160	100	120	140	90	150
Розміри поперечного перерізу балки $b \times h$, мм	200 × 400	200 × 450	200 × 500	200 × 400	200 × 400	250 × 550	200 × 450	200 × 450	250 × 550	200 × 400
Клас бетону	C15	C25	C15	C15	C20	C15	C20	C25	C15	C20
Клас арматури	A240C	A240C	A400C	A400C	A240C	A400C	A240C	A400C	A240C	A400C
Діаметр поперечної арматури d_{sw} , мм	6	8	6	8	6	8	6	8	6	8
Площа повздовжньої робочої арматури, см ²	12,72	10,18	9,41	14,73	12,72	10,18	9,41	14,73	16,08	15,20

Вихідні дані прийняті за шифром ПРИЙМА (Приймак).

Поперечна сила $V_{Ed} = 100$ кН, розміри перерізу $b = 20$ см, $h = 40$ см, товщина захисного шару бетону $a = 3,5$ см; бетон класу С20; робоча поперечна арматура класу А240С, діаметр $d_{sw} = 8$ мм. Площа повздовжньої робочої арматури $A_s = 10,18$ см².

Рішення

Визначимо характеристики міцності матеріалів по таблицях 1 – 3 додатку. Розрахункове значення опору бетону класу С20 на стиск $f_{cd} = 11,5$ МПа, характеристичне значення опору на стиск $f_{ck,prism} = 15$ МПа, опір на зсув $C_{Rdc} = 0,22$ МПа. Розрахункове значення опору арматури класу А240С на розтяг $f_{yd} = 225$ МПа, характеристичне значення опору на розтяг $f_{yk} = 240$ МПа, розрахунковий опір на дію поперечних сил $f_{ywd} = 170$ МПа. Площа перерізу стержня арматури $d_{sw} = 8$ мм дорівнює $A_{sw} = 0,503$ см² (дивись табл. 5 додатку І).

Знаходимо робочу висоту перерізу

$$d = h - a = 40 - 3,5 = 36,5 \text{ см}.$$

Визначимо коефіцієнт повздовжнього армування

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{10,18}{20 \cdot 36,5} = 0,0139 < 0,02$$

За умови, що $\rho_1 \leq 0,02$, коефіцієнт k визначається по емпіричній формулі

$$k = 1 + \sqrt{20/d} = 1 + \sqrt{20/36,5} = 1,74 \leq 2. \text{ Значення коефіцієнту } k \text{ не повинно}$$

перевищувати 2.

Міцність бетону перерізу на зсув складає

$$v_{Ed,c} = C_{Rdc} k \sqrt[3]{100 \rho_1 f_{ck,prism}} + \sigma_{cp} k_1 = 0,22 \cdot 1,74 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot 0,0139 \cdot 15} + 0 = 1,054 \text{ МПа}$$

За відсутністю попередньо напруженої арматури в перерізі $k_1 = 0$ і $\sigma_{cp} = 0$.

Розрахункове напруження зсуву в перерізі балки

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w d} = \frac{100 \cdot 10}{20 \cdot 36,5} = 1,37 \text{ МПа} > v_{Ed,c} = 1,054 \text{ МПа}$$

Так, як розрахункове значення напружень зсуву в перерізі балки перевищує міцність бетону на зсув, необхідно виконати армування балки поперечною арматурою. Визначимо емпіричний коефіцієнт

$$v = 0,6 \left[1 - \left(f_{ck,prism} / 250 \right) \right] = 0,6 \cdot \left[1 - (15/250) \right] = 0,564 < 0,6$$

Максимальна міцність бетону на зріз у випадку, якщо $\cot \theta = 2,5$; $\text{tg} \theta = 0,4$; $\cot^2 \theta = 6,25$, де θ - кут нахилу стиснутої смуги до осі балки

$$v_{Rd,max} = v f_{cd} \left(\frac{\cot \theta + \text{tg} \theta}{1 + \cot^2 \theta} \right) = 0,564 \cdot 11,5 \cdot \left(\frac{2,5 + 0,4}{1 + 6,25} \right) = 2,59 \text{ МПа}$$

$v_{Rd,max} = 2,59\text{МПа} > v_{Ed} = 1,37\text{МПа}$ - тобто умова міцності виконується.

Відповідно до конструктивних вимог, на приопорних ділянках балки довжиною $0,25l$, де діють достатньо значні поперечні сили, крок поперечної робочої арматури призначається виходячи з наступних умов:

при висоті балки $h \leq 40\text{см}$ $s_1 \leq h/2$ і $s_1 \leq 15\text{см}$, а для $h > 40\text{см}$ - $s_1 \leq h/3$ крім того $s_1 \leq 30\text{см}$. В середній частині прольоту балки $s_2 \leq 3h/4$ і $s_2 \leq 50\text{см}$.

Відповідно до завдання $s_1 \leq \frac{h}{2} = \frac{40}{2} = 20\text{см}$, прийmemo $s_1 = 15\text{см}$.

Визначимо розрахункову площу перерізу поперечної арматури

$$A_{sw} = \frac{v_{Ed} s_w b_w}{0,8 f_{ywd} \cot \theta} = \frac{1,37 \cdot 15 \cdot 20}{0,8 \cdot 170 \cdot 2,5} = 1,209\text{см}^2.$$

Приймаємо по табл. 8 додатку I $2\text{Ø} 10\text{A}240\text{C}$ $A_{sw} = 1,57\text{см}^2$.

Обчислимо коефіцієнт поперечного армування

$$\rho_2 = \frac{A_{sw}}{b_w s_w} = \frac{1,57}{20 \cdot 15} = 0,00523 > \rho_{2,min} = 0,0016.$$

Рекомендовані мінімальні значення коефіцієнтів поперечного армування наведені в табл. 7 додатку I.

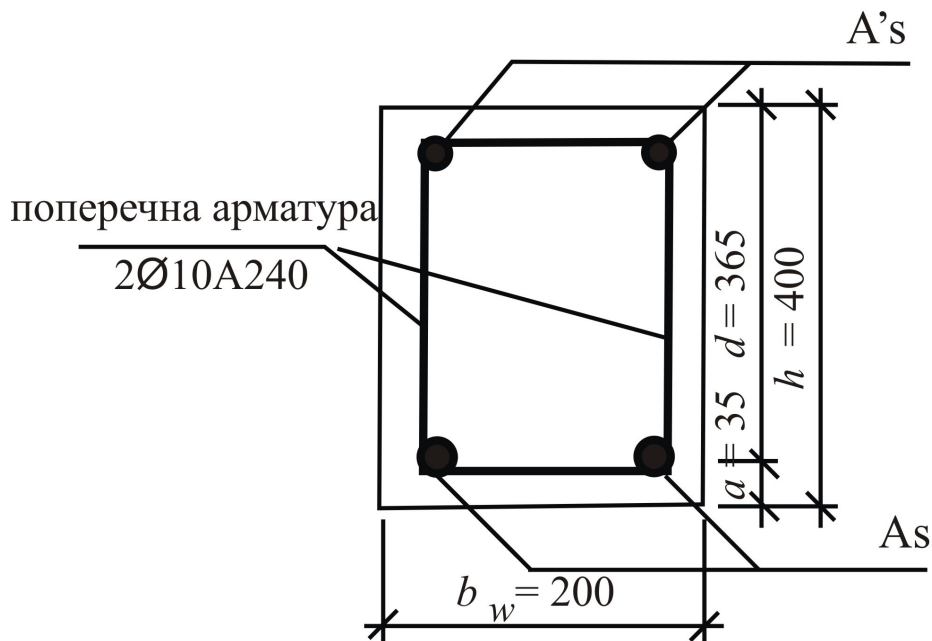


Рис. 7. До розрахунку міцності балки по похилих перерізах

Відповідно до конструктивних вимог, на приопорних ділянках балки довжиною $0,25l$, де діють достатньо значні поперечні сили, крок поперечної робочої арматури призначається виходячи з наступних умов:

при висоті балки $h \leq 40\text{см}$ $s_1 \leq h/2$ і $s_1 \leq 15\text{см}$, а для $h > 40\text{см}$ - $s_1 \leq h/3$ крім того $s_1 \leq 30\text{см}$. В середній частині прольоту балки $s_2 \leq 3h/4$ і $s_2 \leq 50\text{см}$.

Відповідно до завдання $s_1 \leq \frac{h}{2} = \frac{40}{2} = 20\text{см}$, прийmemo $s_1 = 15\text{см}$.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп./Байков В.Н., Сигалов Э.Е. - М.: Стройиздат, 1991. - 767 с.
2. Стасюк М.І. Залізобетонні конструкції./ Стасюк М.І. - К.: Вища школа, 1997- 270с.
3. ДБН В.2.6-98:2009 Бетоні та залізобетонні конструкції . Загальні положення. [Текст] Затверджені наказом Мінрегіонбуду України від 24.12.2009 № 680 - К.: Мінрегіонбуд, 2011. - 84 с.

ЗМІСТ

Загальні вказівки.....	3
Задача № 1.....	3
Задача № 2.....	6
Задача №3.....	8
Задача №4.....	10
Задача № 5.....	12
Додаток І.....	17
Додаток ІІ.....	21

Додаток I
Довідкові дані до розрахунків

Таблиця 1

Характеристики міцності і деформативності бетону

Характеристика	Клас міцності бетону										
	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
$f_{ck, cube}$, МПа	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$f_{cm, cube}$, МПа	13	19	25	32	38	45	51	58	64	71	77
$f_{ck, prism}$, МПа	7,5	11	15	18,5	22	22,5	29	32	36	39,5	43
f_{cd} , МПа	6,0	8,5	11,5	14,5	17	19,5	22	25	27,5	30	33
f_{ctm} , МПа	1,2	1,6	1,9	2,2	2,6	2,8	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk, 0,05}$, МПа	0,8	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,1	2,2	2,5	2,7	3,0
$E_{cm} \cdot 10^3$, МПа	18	23	27	30	32,5	34,5	36	37,5	39	39,5	40
$E_{cd} \cdot 10^3$, МПа	12,6	16,3	20	23	25	27	28,5	30,5	32	33	34
$\epsilon_{cl, ck}$, (‰)	1,57	1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,90	1,94	1,98	2,02
$\epsilon_{cl, cd}$, ‰	1,56	1,58	1,62	1,65	1,69	1,72	1,76	1,80	1,84	1,87	1,91
$\epsilon_{cul, ck}$, ‰	4,5	4,4	4,15	3,85	3,55	3,25	3,00	2,83	2,63	2,50	2,4
$\epsilon_{cul, cd}$, ‰	3,75	3,70	3,59	3,44	3,28	3,10	2,93	2,72	2,57	2,43	2,29
$\epsilon_{cu3, cd}$, ‰	3,38	3,33	3,23	3,10	3,00	2,8	2,64	2,45	2,31	2,19	2,06

Таблиця 2

Міцність бетону на зсув

Клас міцності бетону	C15	C20	C25	C30	C35	C45	C50	C55	C60
$C_{Rd, c}$, МПа	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48

Таблиця 3

Характеристичні (нормативні) та розрахункові значення опору та деформативних характеристик гарячекатаної арматури за ДСТУ 3760-06

Характеристики	Класи арматури			
	A240C	A400C	A500C	B 500
f_{yk} , МПа	240	400	500	500
f_{yd} , МПа	225	375(365)	435	435
f_{ywd} , МПа	170	285	300	500
E_s , МПа	$2,1 \times 10^5$	$2,1 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$1,9 \times 10^5$
ϵ_{s0}	0,00107	0,00174	0,0021	0,0023
ϵ_{ud}	0,025	0,025	0,02	0,02

Таблиця 4

Відношення f_{yd} / f_{cd}

Класи бетонів	Класи арматури			
	A240C	A400C	A500C	Bp-I
C15	26,47	42,94	51,18	42,35
C20	19,56	31,74	37,82	31,30
C25	15,52	25,17	30,0	24,83
C30	13,24	21,47	25,58	21,77
C35	11,54	18,72	22,31	18,46
C40	10,23	16,59	19,77	16,36
C45	9,00	14,60	17,40	14,40
C50	12,86	13,27	15,82	13,09
C60	6,82	11,06	13,18	10,91

Таблиця 5

Граничні значення відносної дійсної висоти стиснутої зони ξ_R

Бетон		Арматура			
Класи	$\mathcal{E}_{cu3,cd}$ %	A240C	A400C	A500C	A500
		$\mathcal{E}_{yk} = 1,07\%$	$\mathcal{E}_{yk} = 1,74\%$	$\mathcal{E}_{yk} = 2,1\%$	$\mathcal{E}_{yk} = 2,3\%$
C10	3,38	0,769	0,660	0,617	0,595
C15	3,33	0,758	0,657	0,613	0,591
C20	7,23	0,751	0,650	0,606	0,584
C25	3,10	0,743	0,640	0,596	0,574
C30	3,00	0,737	0,633	0,588	0,566

Таблиця 6

Коефіцієнти для розрахунку прямокутних перерізів

ξ	ζ	α_m	ξ	ζ	α_m	ξ	ζ	α_m
0,01	0,996	0,008	0,26	0,896	0,186	0,51	0,796	0,325
0,02	0,992	0,016	0,27	0,892	0,193	0,52	0,792	0,329
0,03	0,988	0,024	0,28	0,888	0,199	0,53	0,788	0,334
0,04	0,984	0,031	0,29	0,884	0,205	0,54	0,784	0,339
0,05	0,980	0,039	0,3	0,880	0,211	0,55	0,780	0,343
0,06	0,976	0,047	0,31	0,876	0,217	0,56	0,776	0,348
0,07	0,972	0,054	0,32	0,872	0,223	0,57	0,772	0,352
0,08	0,968	0,062	0,33	0,868	0,229	0,58	0,768	0,356
0,09	0,964	0,069	0,34	0,864	0,235	0,59	0,764	0,361
0,1	0,960	0,077	0,35	0,860	0,241	0,6	0,760	0,365
0,11	0,956	0,084	0,36	0,856	0,247	0,62	0,752	0,373
0,12	0,952	0,091	0,37	0,852	0,252	0,64	0,744	0,381
0,13	0,948	0,099	0,38	0,848	0,258	0,66	0,736	0,389
0,14	0,944	0,106	0,39	0,844	0,263	0,68	0,728	0,396
0,15	0,940	0,113	0,4	0,840	0,269	0,7	0,720	0,403
0,16	0,936	0,120	0,41	0,836	0,274	0,72	0,712	0,410
0,17	0,932	0,127	0,42	0,832	0,280	0,74	0,704	0,417
0,18	0,928	0,134	0,43	0,828	0,285	0,76	0,696	0,423
0,19	0,924	0,140	0,44	0,824	0,290	0,78	0,688	0,429
0,2	0,920	0,147	0,45	0,820	0,295	0,8	0,680	0,435
0,21	0,916	0,154	0,46	0,816	0,300	0,85	0,660	0,449
0,22	0,912	0,161	0,47	0,812	0,305	0,9	0,640	0,461
0,23	0,908	0,167	0,48	0,808	0,310	0,95	0,620	0,471
0,24	0,904	0,174	0,49	0,804	0,315	1	0,600	0,480
0,25	0,900	0,180	0,5	0,800	0,320	-	-	-

$$\alpha_m = 0,8\xi(1 - 0,4\xi); \zeta = 1 - 0,4\xi.$$

Таблиця 7

Рекомендовані мінімальні коефіцієнти поперечного армування

Класи бетону за міцністю	Класи арматури		
	A240C	A400C	A500C
C15 ... C25	0,0016	0,0009	0,0007
C30 ... C45	0,0024	0,0013	0,0011
C50 ... C60	0,0030	0,0016	0,0013

Таблиця 8

Сортамент арматурної сталі

Діаметр, мм	Розрахункові площі поперечного перерізу при кількості стержнів, см ²									Маса, кг/м
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	0,28,3	0,566	0,849	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	0,222
7	0,385	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	0,302
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,52	3,02	3,52	4,02	4,53	0,395
10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	0,617
12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,17	0,887
14	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,23	10,77	12,31	13,86	1,208
16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,09	1,578
18	2,54	5,09	7,63	10,17	12,72	15,27	17,81	20,35	22,90	1,998
20	3,14	6,28	9,42	12,56	15,70	18,85	21,99	25,13	28,27	2,466
22	3,80	7,60	11,40	15,20	19,00	22,81	26,61	30,41	34,20	2,984
25	4,91	9,82	14,73	19,64	24,55	29,45	34,36	39,27	44,19	3,853
28	6,16	12,32	18,48	24,63	30,79	36,95	43,11	49,26	55,42	4,834
32	8,04	16,09	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	6,313
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,90	61,07	71,26	81,44	91,62	7,991
40	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,38	87,96	100,48	113,10	9,865

Додаток II
Позначення

Таблиця 1

Латинські великі літери

Позначення за СНиП 02.03.01 -84*	Позначення за ДБН В.2.6- 98:2009	Пояснення
	A	Площа поперечного перерізу
A_b	A_c	Площа поперечного перерізу бетону
A_s	A_s	Площа арматури
	$A_{s, \min}$	Мінімальна площа поперечного перерізу арматури
A_{sw}	A_{sw}	Площа поперечної арматури в перерізі
B	C	Клас бетону
	E_{cm}	Середнє значення початкового модуля пружності бетону
E_b	E_{ck}	Характеристичне значення початкового модуля пружності бетону
	E_{cd}	Розрахункове значення модуля пружності бетону
E_s	E_s	Розрахункове значення модуля пружності арматурної сталі
	EI	Згинальна жорсткість
	F	Вплив
	F_d	Розрахункове значення впливу
	F_k	Характеристичне значення впливу
	G_k	Характеристичне значення постійного впливу
	L	Довжина
	M	Згинальний момент
	M_{Ed}	Розрахункове значення зовнішнього згинального моменту
	Q_k	Характеристичне значення змінного впливу
	S	Внутрішні сили
	SLS	Граничний стан за придатністю до експлуатації
	ULS	Граничний стан за несучою здатністю і стійкістю
	V	Поперечна сила
	V_{Ed}	Розрахункове значення поперечної сили

Таблиця 2

Латинські малі літери

Позначення за СНиП 02.03.01 - 84*	Позначення за ДБН В.2.6- 98:2009	Пояснення
	a	Геометричні дані
	b	Загальна ширина поперечного перерізу, або фактична ширина полицки в Т- або Г-подібних перерізах
	d	Діаметр
h_0	d	Робоча висота поперечного перерізу
	e_0	Випадковий ексцентриситет прикладення сили
	e	Ексцентриситет прикладення сили
R_b	f_{cd}	Розрахункове значення міцності бетону на стиск
	f_{ck}	Характеристичне значення міцності бетону на стиск у віці 28 діб
	f_{cm}	Середнє значення міцності бетону на стиск
R_{bt}	f_{ctk}	Характеристичне значення міцності бетону на осьовий розтяг
	$f_{p0,2k}$	Характеристична 0,2 % - на умовна границя текучості арматури
	f_{tk}	Характеристичне значення міцності арматури на розтяг
	f_y	Значення міцності арматури на границі текучості
	f_{yd}	Розрахункове значення міцності арматури на границі текучості
	f_{yk}	Характеристичне значення міцності арматури на границі текучості
R_{sw}	f_{ywd}	Розрахункове значення міцності поперечної арматури
	i	Радіус інерції
	l	(l або L) Довжина; проліт
	r	Радіус
	$1/r$	Кривизна осі в певному перерізі
	t	Конкретний момент часу
	t_0	Вік бетону в момент прикладання навантаження
	u	Периметр бетонного перерізу площею A
	x	Висота стиснутої зони перерізу
	z	Плече пари внутрішніх сил

Грецькі малі літери

Позначення за СНиП 02.03.01 - 84*	Позначення за ДБН В.2.6-98:2009	Пояснення
	γ_G	Коефіцієнт надійності для постійних впливів G
	γ_M	Коефіцієнт надійності для властивості матеріалу з урахуванням невизначеностей самої властивості матеріалу, відхилень у геометрії та використаної розрахункової моделі
	γ_Q	Коефіцієнт надійності для змінних впливів Q
	γ_s	Коефіцієнт надійності для арматури
	γ_f	Коефіцієнт надійності для впливів без урахування невизначеностей моделі
	γ_g	Коефіцієнт надійності для постійних впливів без урахування невизначеностей моделі
	γ_m	Коефіцієнт надійності для властивості матеріалу з урахуванням невизначеностей тільки властивості матеріалу
	ε_c	Значення відносних деформацій стиску бетону
	ε_{cl}	Значення відносних деформацій стиску бетону при максимальних напруженнях f_c
	ε_{cu}	Значення відносних граничних деформацій стиску бетону
	ε_{ctu}	Значення відносних граничних деформацій розтягу бетону
	ε_u	Значення відносних деформацій арматурної сталі при максимальному навантаженні
	ε_{uk}	Нормативне значення відносних деформацій арматури при максимальному навантаженні
	θ	Кут
	ν	Коефіцієнт Пуассона
	ρ	Густина бетону в абсолютно сухому стані, в $\text{кг}/\text{м}^3$
	ρ_1	Коефіцієнт армування для поздовжньої арматури
	ρ_2	Коефіцієнт армування для поперечної арматури
	σ_c	Напруження стиску у бетоні
	σ_{cu}	Напруження стиску у бетоні при граничній деформації стиску ε_{cu}

	$\tau_{F,d}$	Розрахункове напруження анкетування від осьового зусилля
		Діаметр арматурного стрижня
	$\varphi(t, t_0)$	Коефіцієнт повзучості, що визначає повзучість за проміжок часу між t і t_0 відносно пружних деформацій на 28 добу
	$\varphi(\infty, t_0)$	Граничне значення коефіцієнта повзучості
	ψ	Коефіцієнти, що визначають характерні величини змінних впливів:
	ψ_1	- для комбінації величин,
	ψ_2	- для повторювальних величин,
	ψ_3	- для умовно постійних величин

Волкова Вікторія Євгенівна

**ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ 6.060101 БУДІВНИЦТВО**

Пдписано до друку _._.2013. Формат 30x42/4
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 3,4
Обл. - вид. арк. 2. Тираж 50 пр. Зам. №

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.