

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ЗГІНАЛЬНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ЗА БЛОК-СХЕМАМИ**

Залізобетонні конструкції

Методичні вказівки і завдання
до самостійного опрацювання з курсу
“Залізобетонні конструкції”
для студентів, які навчаються
за напрямком підготовки
6.060101 «Будівництво»

Київ 2014

УДК 624.012.4:624.92

ББК 38.5

3-22

Укладачі: О.Д. Журавський, канд. техн. наук, доцент

Я.О. Бова, канд. техн. наук., доцент

Рецензент В.Д. Кріпак, канд. техн. наук, професор

Відповідальний за випуск А.Я. Барашиков, д-р техн. наук.,
професор

*Затверджено на засіданні кафедри залізобетонних та кам'яних
конструкцій Київського національного університету будівництва і
архітектури, протокол № 3 від 29.09.2014 р.*

Видається в авторській редакції.

Приклади розрахунку згинальних елементів за блок-схемами.

3-22 Залізобетонні конструкції: методичні вказівки і завдання до
самостійного опрацювання з курсу “Залізобетонні конструкції” для
студентів за напрямком підготовки 6.060101 “Будівництво” / уклад.
О.Д. Журавський, Я.О. Бова. – К.: КНУБА, 2014. – 32 с.

Викладені основи розрахунку конструкцій на міцність нормальних
до поздовжньої осі перерізів згинальних елементів за ДБН В.2.6-
98:2009. Розглянуто приклади вирішення конкретних задач та наведено
завдання до самостійного опрацювання.

© О.Д. Журавський, 2014

© Я.О. Бова, 2014

© КНУБА, 2014

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО РОЗРАХУНКУ	5
МОДУЛЬ 1: РОЗРАХУНОК ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ПЛОЩІ АРМАТУРИ	9
1.1. Розрахунок згинального елемента прямокутного перерізу при визначенні площі розтягнутої арматури (блок-схема 1).....	9
1.2. Розрахунок згинального елемента прямокутного перерізу при визначенні площі розтягнутої та стиснутої арматури (блок-схема 2).....	10
1.3. Розрахунок міцності згинального елемента прямокутного перерізу при дії згинального моменту (блок-схема 3)	11
1.4. Приклади розрахунку згинальних елементів за блок-схемами 1, 2 та 3.....	12
1.5. Варіанти для самостійного опрацювання	15
МОДУЛЬ 2: РОЗРАХУНОК ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ПЛОЩІ АРМАТУРИ.....	17
2.1. Розрахунок згинального елемента таврового перерізу при дії згинального моменту (блок-схема 4)	17
2.2. Розрахунок згинального елемента таврового перерізу при визначенні площі робочої арматури (блок-схема 5)	18
2.3. Приклади розрахунку згинальних елементів за блок-схемами 4 та 5 ..	19
2.4. Варіанти для самостійного опрацювання	21
ДОДАТКИ	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	30

ВСТУП

Мета даних модулів – це закріплення теоретично матеріалу отриманого під час лекції та самостійного опрацювання. Виконання даних модулів на практичних заняттях дозволяє підвищити рівень підготовки студентів при вивченні курсу “Залізобетонні та кам’яні конструкції” за напрямком підготовки 6.060101 “Будівництво”.

Враховуючи перехід на нові норми проектування залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 та ДСТУ Б.В.2.6.-156:2010, у яких за основу прийнято *Eurocode 2*, постало питання у закріпленні основних видів розрахунку згинальних елементів за допомогою модулів.

ПАРАМЕТРИ ПЕРЕРІЗІВ

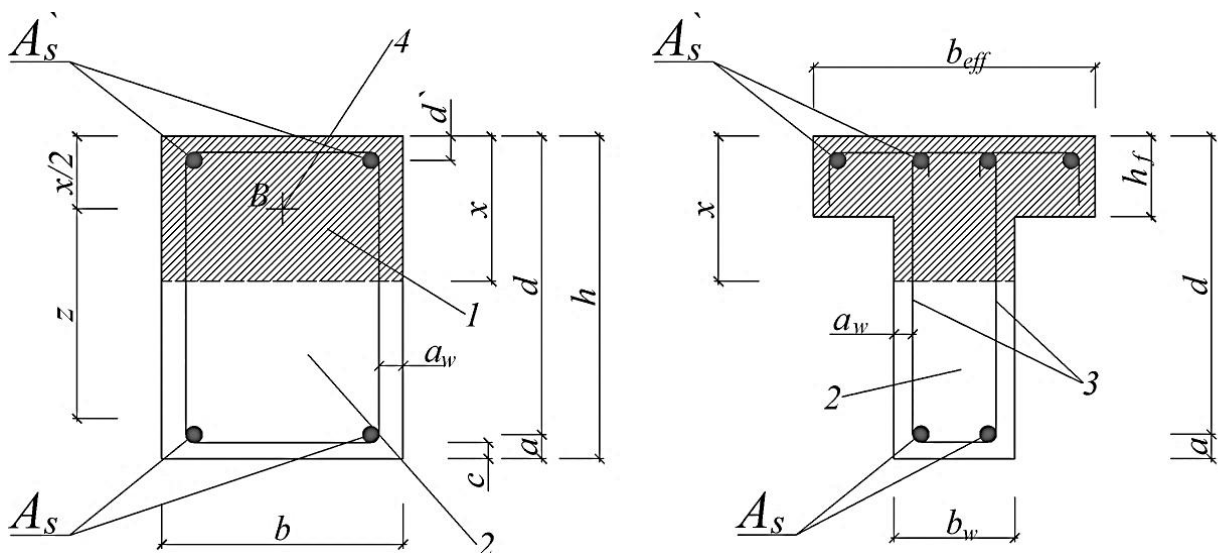


Рис.1. Геометричні характеристики нормальних перерізів.

До основних геометричних характеристик перерізів (рис.1) відносять:

A_s' і A_s - відповідно стиснута і розтягнута арматура;

- 1 - стиснута зона перерізу;
- 2 - розтягнута зона перерізу;
- 3 - поперечна арматура;
- 4 - точка, де прикладена рівнодіюча зусиль в стиснутому бетоні;

d - корисна (розрахункова) висота перерізу - відстань від центру ваги усієї розтягнутої арматури до крайньої найбільш віддаленої від нейтральної осі фібри стиснутої зони бетону:

$$d = h - a, \quad (1)$$

c - захисний шар бетону.

x - дійсна висота стиснутої зони перерізу.

a - відстань від нижньої грані розтягнутої зони перерізу до центру ваги усієї розтягнутої арматури.

z - плече внутрішньої пари сил – відстань між рівнодіючими зусиллями в розтягнутій арматурі і в бетоні стиснутої зони.

b - ширина стиснутої зони бетону.

d' - відстань від центра ваги стиснутої арматури до найбільш стиснутої грані стиснутої зони.

b_w - ширина ребра таврового перерізу.

b_{eff} - розрахункова ширина полиці в стиснутій зоні.

" B " - центр ваги стиснутої зони перерізу.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО РОЗРАХУНКУ

Спрощений або практичний метод розрахунку при одночасній дії повздовжніх сил та згинальних моментів застосовують при проектуванні залізобетонних елементів, що мають переріз симетричної геометричної форми (прямокутної, таврової, двотаврової) з арматурою розташованою у розтягнутій та стиснутій зонах перерізу. При цьому розрахункові зусилля від зовнішніх впливів (M_{Ed} , V_{Ed} , N_{Ed}) діє в площині симетрій перерізу.

В загальному випадку при розрахунку за деформаційною моделлю граничних зусиль, які може сприймати залізобетонний елемент в перерізі з тріщиною, визначають із спільного вирішення системи рівнянь:

- рівняння рівноваги моментів та повздовжніх зусиль;

- рівняння сумісності деформації, що визначають розподіл відносних деформацій в бетоні та арматурі за висотою розрахункового перерізу;
- рівняння, що встановлює зв'язок між напруженнями та відносними деформаціями для бетону та арматури у вигляді діаграм деформування.

Розрахунок міцності перерізу нормального до повздовжньої осі у спрощеному варіанті деформаційної моделі базується на наступних посиленнях та припущеннях:

1. У розрахункових рівняннях рівноваги не враховується опір бетону в розтягнутій зоні перерізу.
2. Для розрахункового перерізу виконується гіпотеза плоских перерізів (гіпотеза Бернуллі) у відповідності з якою, відносні деформації по висоті перерізу змінюються пропорційно відстані від розглянутої фібри до нейтральної осі.
3. Відносні деформації арматури, розміщені в стиснутій зоні перерізу (ϵ_s) та оточуючого його бетону (ϵ_c) рівні, тобто обидва матеріали деформуються одночасно.
4. Напруження та відносні деформації бетону та арматури пов'язані відповідними діаграмами деформування ($\sigma - \epsilon$) для матеріалів.

Основним критерієм міцності залізобетонних конструкції по перерізу, нормального до її повздовжньої осі при використанні деформаційної розрахункової моделі прийнято умову досягнення відносних деформації стиснутого бетону (ϵ_c) або розтягнутої арматури (ϵ_s) їх граничних значень, встановлених нормативними документами [1,2].

При цьому граничні відносні деформації бетону $\epsilon_{cu,3}$ при розрахунку елементів за міцністю не повинні перевищувати:

- для центрально стиснутих елементів – 2,00 ‰;
- для згинальних та позацентрово стиснутих елементів при двозначної епюрі напружень в перерізі – 3,5 ‰;

- в усіх проміжних випадках слід приймати таке розподілення відносних деформації по висоті перерізу, при якому на рівні d від найбільш стиснутої грані перерізу відносні деформації не перевищують 2,00 ‰;

Величину граничних відносних деформації розтягнутої арматури слід приймати згідно з нормативними документами [1,2]. При цьому величина граничних відносних деформації повинна задовольняти умові:

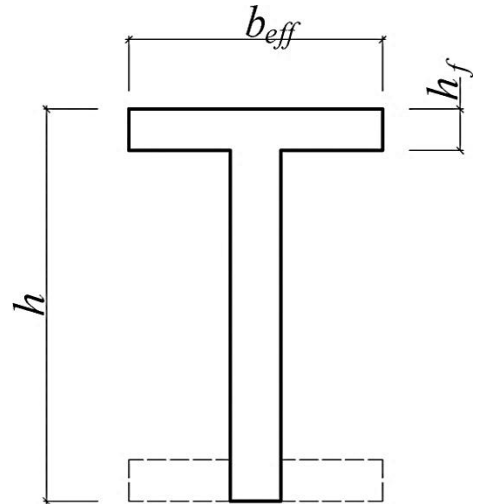
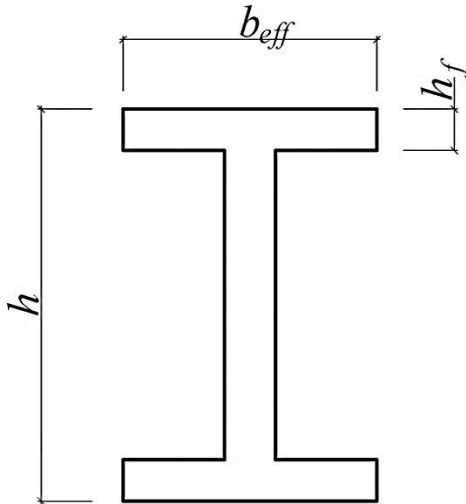
$$\varepsilon_s = \varepsilon_{so}, \text{ але не більше } 10,0\text{‰},$$

де ε_{so} - граничні відносні деформації розтягнутої арматури, встановленими стандартами.

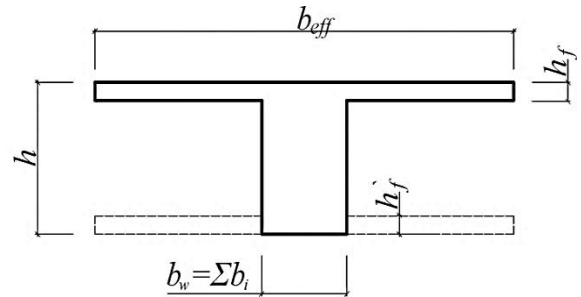
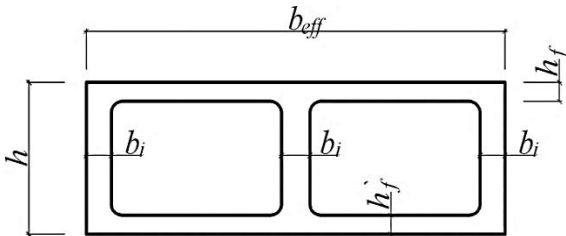
Для розрахунку нормальних перерізів згинальних елементів з полицею в стиснутій зоні необхідно привести фактичний переріз до розрахункового (рис.2). До фактичних перерізів відносять: таврові, двотаврові (a), коробчасті (b), перерізи з овальними або круглими порожнинами (c) та П-подібні перерізи (d). Після цього визначити висоту стиснутої зони бетону для подальшого розрахунку.

Будь-який розрахунок нормальних перерізів таврового профілю починають з визначення положення нейтральної осі, яка найчастіше, знаходиться в межах висоти полиці, а інколи – перетинає ребро.

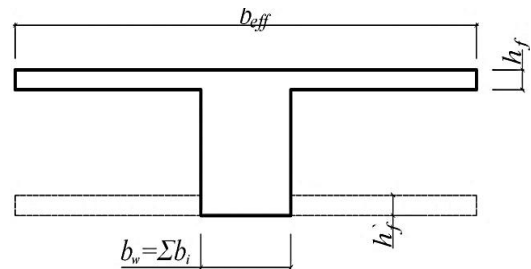
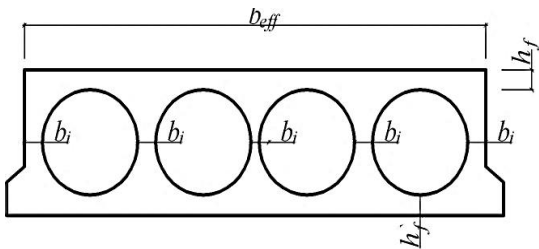
а) тавровий та двотавровий переріз



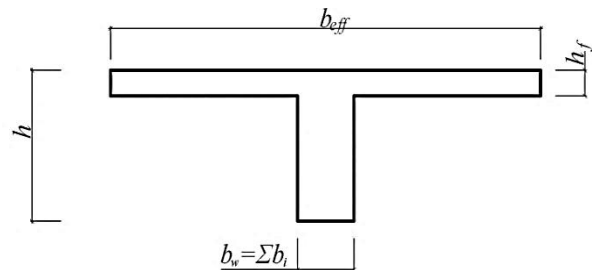
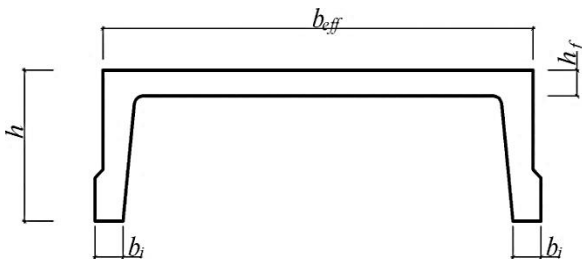
б) коробчастий переріз



в) переріз з круглими порожнинами



г) П – подібний переріз



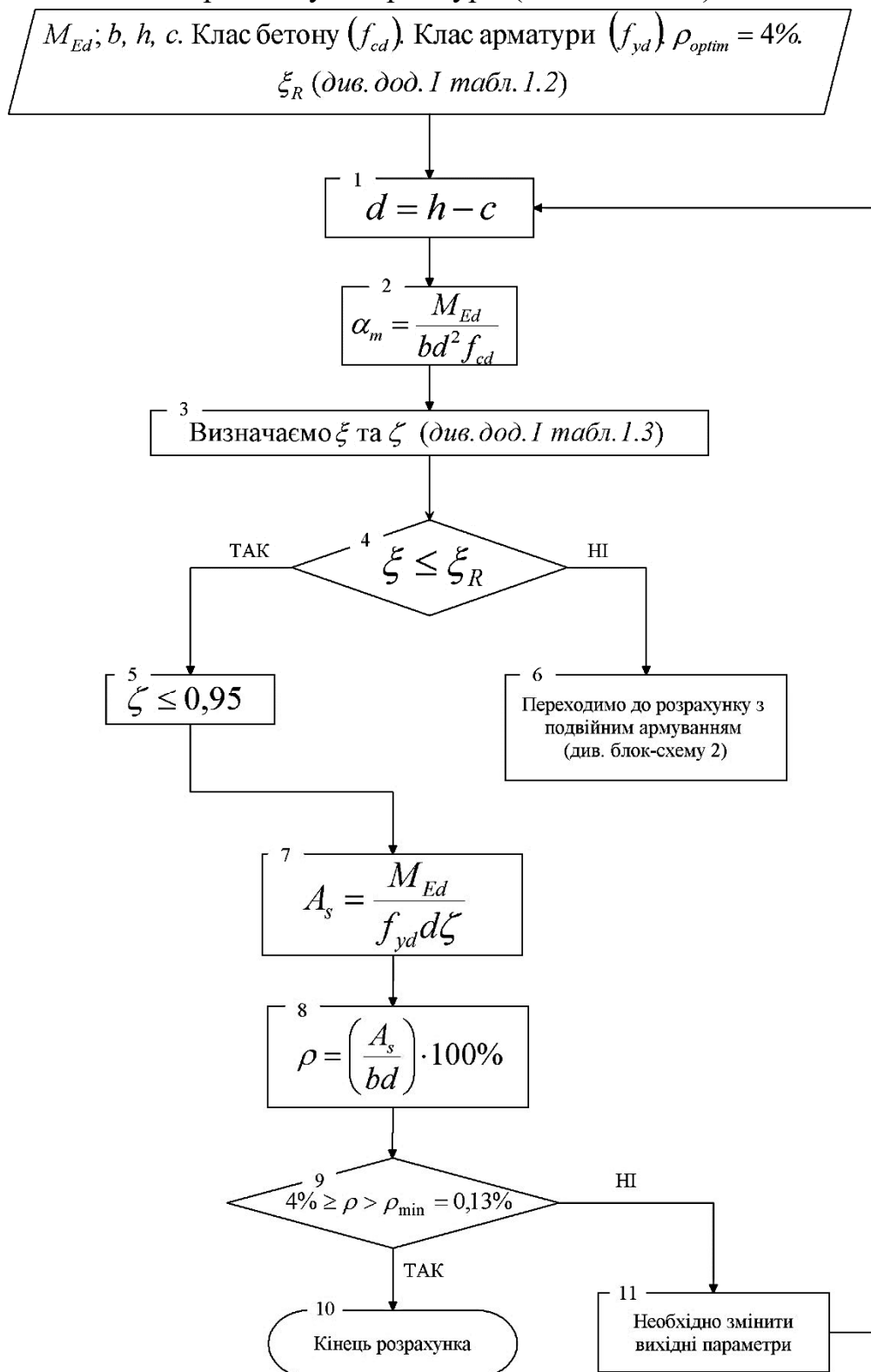
ДІЙСНИЙ ПЕРЕРІЗ

РОЗРАХУНКОВИЙ ПЕРЕРІЗ

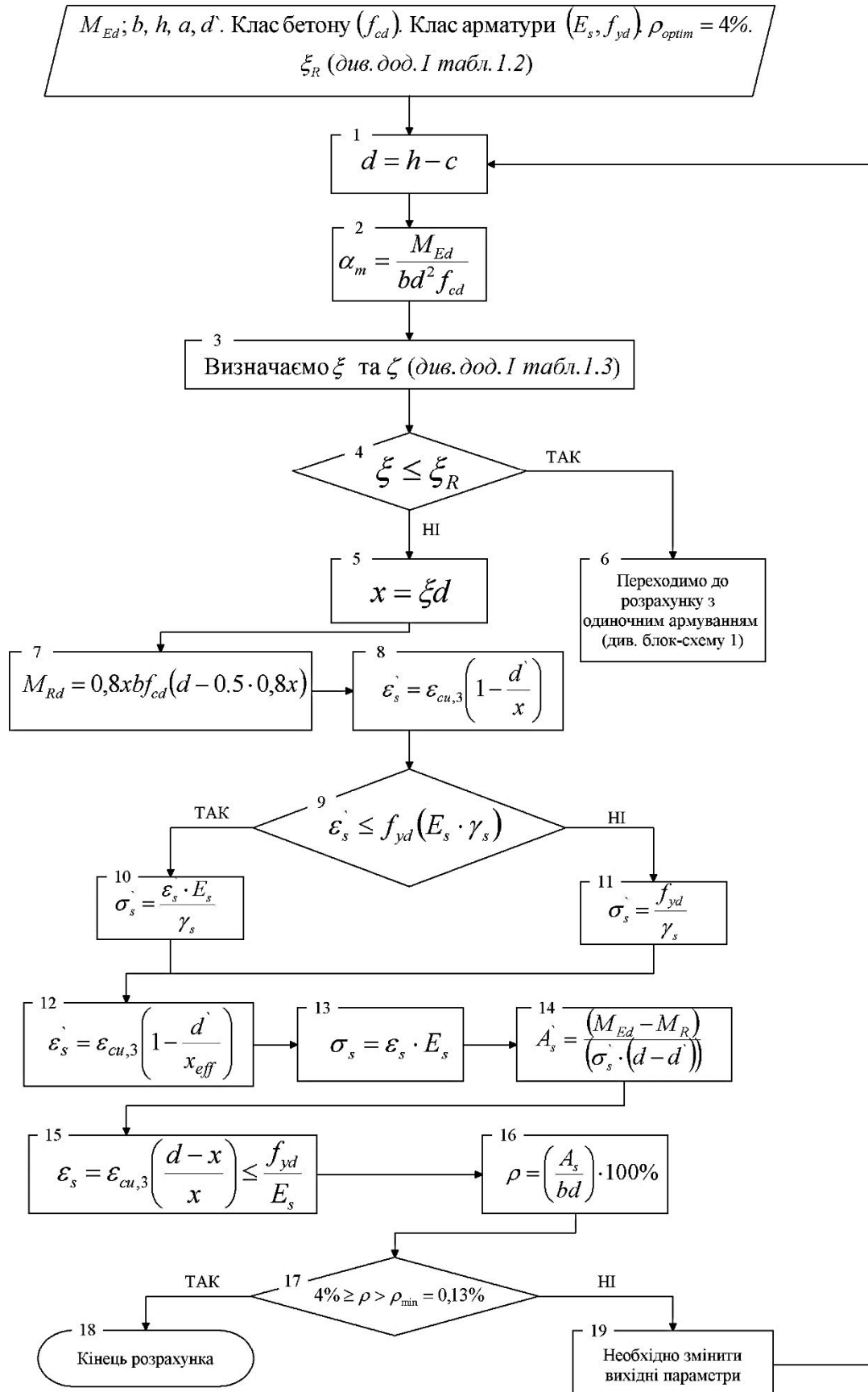
Рис. 2. Види перерізів із полицею в стиснутій зоні та їх розрахункові перерізи.

МОДУЛЬ 1: РОЗРАХУНОК ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРИ ВИЗНАЧЕНІ НЕОБХІДНОЇ ПЛОЩІ АРМАТУРИ ТА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ

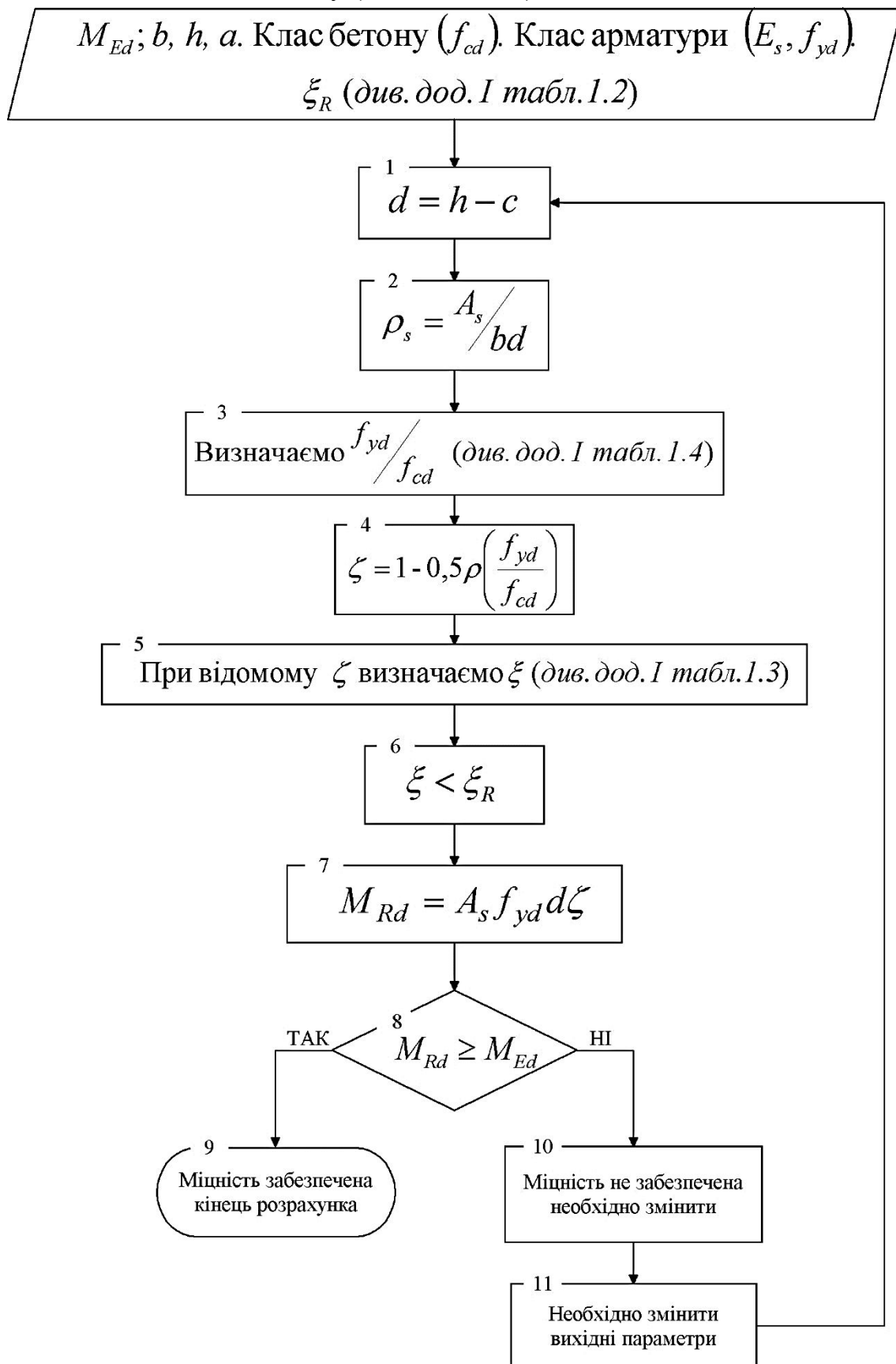
1.1. Розрахунок згинального елемента прямокутного перерізу при визначенні площі розтягнутої арматури (блок-схема 1)



1.2. Розрахунок згинального елемента прямокутного перерізу при визначенні площі розтягнутої та стиснутої арматури (подвійне армування – блок-схема 2)

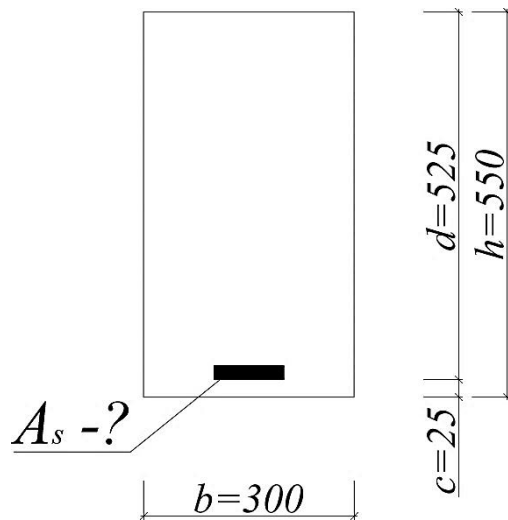


1.3. Розрахунок міцності згинального елемента прямокутного перерізу при дії згинального моменту (блок-схема 3)



1.4. Приклади розрахунку згинальних елементів прямокутного перерізу за блок-схемами 1,2 та 3

Задача 1. Підібрати площу ненапруженої арматури A_s у балці прямокутного перерізу згідно наступних вихідних даних.



Варіант №10

$$b = 300 \text{ мм};$$

$$h = 550 \text{ мм};$$

$$c = 25 \text{ мм}.$$

$$M_{Ed} = 400 \text{ кНм}.$$

Клас бетону C25 $f_{cd} = 14,5 \text{ МПа}.$

Клас арматури A400C $f_{yd} = 365 \text{ МПа}.$

$$\rho_{\max} = 4\%.$$

$$\xi_R = 0,640 \text{ (див. дод. I табл. 1.2)}$$

Розв'язання задачі:

$$1. \quad d = h - c = 550 - 25 = 525 \text{ мм}.$$

$$2. \quad \alpha_m = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{400 \cdot 10^6}{300 \cdot 525^2 \cdot 14,5} = 0,334.$$

3. За дод. I табл. 1.3 при $\alpha_m = 0,334$ коефіцієнти $\zeta = 0,788 < 0,95$ і $\xi = 0,53$.

4. Оскільки $\xi = 0,53 < \xi_R = 0,640$, то переріз проектуємо з одиночним армуванням.

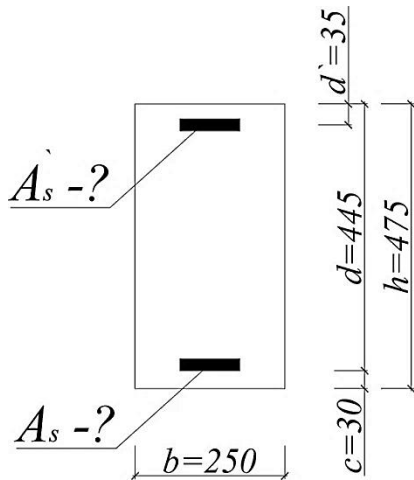
$$5. \quad A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot \zeta \cdot d} = \frac{400 \cdot 10^6}{365 \cdot 0,788 \cdot 525} = 2649 \text{ мм}^2$$

Беремо: 2Ø28+2Ø32 A400C; $A_s^{\phi} = 2840 \text{ мм}^2$

$$6. \quad \rho = \left(\frac{A_s}{bd} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{2840}{300 \cdot 525} \right) \cdot 100\% = 1,8\% < [4\%].$$

$$A_{s,\min} = 0,0013 bd = 0,0013 \cdot 300 \cdot 525 = 204,75 \text{ мм}^2 < A_s^{\phi} = 2840 \text{ мм}^2$$

Задача 2. Підібрати площу ненапруженої розтягнутої та стиснутої арматури A_s у балці прямокутного перерізу згідно наступних вихідних даних.



Варіант №22

$$b = 250 \text{ мм};$$

$$h = 475 \text{ мм};$$

$$c = 30 \text{ мм};$$

$$d' = 35 \text{ мм}.$$

$$M_{Ed} = 350 \text{ кНм}.$$

$$\text{Клас бетону C25 } f_{cd} = 14,5 \text{ МПа}.$$

$$\text{Клас арматури A240C } f_{yd} = 225 \text{ МПа}.$$

$$\varepsilon_{cu,3} = 0,0031 ; \rho_{\max} = 4\%.$$

$$\xi_R = 0,743 \text{ (див. дод. I табл. 1.2)}$$

Розв'язання задачі:

$$1. \quad d = h - c = 475 - 30 = 445 \text{ мм}.$$

$$2. \quad \alpha_m = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{350 \cdot 10^6}{250 \cdot 445^2 \cdot 14,5} = 0,487.$$

$$3. \quad \text{За дод. I табл. 1.3 при } \alpha_m = 0,487 \text{ коефіцієнт } \xi = 1,00.$$

4. Оскільки $\xi = 1,00 > \xi_R = 0,743$, то переріз проектуємо з подвійним армуванням.

$$5. \quad x_{eff} = \xi_R d = 0,743 \cdot 445 = 331 \text{ мм}$$

$$6. \quad M_{Rd} = 0,8 x_{eff} b f_{cd} (d - 0,5 \cdot 0,8 x_{eff}) = 0,8 \cdot 331 \cdot 250 \cdot 14,5 \cdot (445 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 331) = 300,1 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

$$7. \quad \varepsilon_s' = \varepsilon_{cu,3} \left(1 - \frac{d'}{x_{eff}} \right) = 0,0031 \cdot \left(1 - \frac{35}{331} \right) = 0,0028$$

Напруження в стиснутій арматурі A_s' :

$$\sigma_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,0028 \cdot 2,1 \cdot 10^5 = 588 \text{ МПа} > f_{yd} = 225 \text{ МПа}$$

Приймаємо $\sigma_s' = f_{yd} = 225 \text{ МПа}$

$$8. \quad A_s' = \frac{(M - M_{Rd})}{(\sigma_s' \cdot (d - d'))} = \frac{(350 - 300,1) \cdot 10^6}{225 \cdot (445 - 35)} = 540,9 \text{ мм}^2$$

Беремо для стиснутої зони 2Ø20 A240C $A_s' = 628 \text{ мм}^2$

9. Деформації та напруження в розтягнутій арматурі A_s

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu,3} \left(\frac{d - x_{eff}}{x_{eff}} \right) = 0,0031 \cdot \left(\frac{445 - 331}{331} \right) = 0,0011$$

$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s = 0,0011 \cdot 2,1 \cdot 10^5 = 231 \text{ МПа} > f_{yd} = 225 \text{ МПа}$$

Приймаємо $\sigma_s' = f_{yd} = 225$ МПа

10. Площа розтягнутої арматури при $x_{eff} = 331$ мм:

$$A_s = 0,8x_{eff}b\left(\frac{f_{cd}}{\sigma_s}\right) + A_s'\left(\frac{\sigma_s'}{\sigma_s}\right) = 0,8 \cdot 331 \cdot 225 \cdot \left(\frac{14,5}{225}\right) + 628 \cdot \left(\frac{225}{225}\right) = 3839,6 + 628 = 4467,6 \text{ мм}^2$$

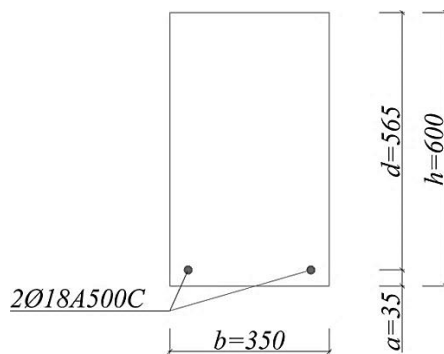
З умови розміщення арматури в один ряд беремо розтягнуту арматури: 2Ø36+2Ø40 A240C ($A_s^\phi = 4548,0$ мм²)

11. Відсоток армування перерізу

$$\rho = \left(\frac{A_s^\phi}{bd}\right) \cdot 100\% = \left(\frac{4548}{225 \cdot 445}\right) \cdot 100\% = 4,5 > [4\%]\% - \text{переріз переармовано}$$

12. Рекомендовано виконати одну з умов: збільшити клас арматури, клас бетону чи змінити розміри перерізу.

Задача 3. Перевірити несучу здатність залізобетонного перерізу заармованого одиночною арматурою A_s згідно наступних вихідних даних:



Варіант №4

$b = 350$ мм;

$h = 600$ мм;

$a = 35$ мм.

$M_{Ed} = 450$ кНм.

Клас бетону C20 $f_{cd} = 11,5$ МПа.

Клас арматури A500C $f_{yd} = 435$ МПа.

$A_s = 509$ мм².

$\xi_R = 0,584$ (див. дод.І табл.І.2)

Розв'язання задачі:

1. $d = h - a = 600 - 35 = 565$ мм.

2. $\rho = \frac{A_s}{bd} \cdot 100\% = \frac{509}{350 \cdot 565} \cdot 100\% = 0,0026$.

3. За табл.І.4 дод.І відношення $\frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 31,30$.

4. $\zeta = 1 - 0,5\rho\left(\frac{f_{yd}}{f_{cd}}\right) = 1 - 0,5 \cdot 0,0026 \cdot 31,30 = 0,959$.

5. При $\zeta = 0,959$ за дод.І табл.І.3 $\xi = 0,1 < \xi_R = 0,584$

6. $M_{Rd} = A_s f_{yd} d \zeta = 509 \cdot 435 \cdot 565 \cdot 0,959 = 119,97 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 120 \text{ кН} \cdot \text{м}$

$M_{Rd} = 120 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_{Ed} = 450 \text{ кН} \cdot \text{м}$ – міцність не забезпечена.

1.5. Варіанти для самостійного опрацювання

Задача 1. Підібрати площу ненапруженої арматури A_s у балці прямокутного перерізу згідно наступних вихідних даних:

Таблиця 1

Номер варіанта	Розміри, мм			M_{Ed} , кНм	Клас бетону	Клас арматури
	b	h	c			
1	2	3	4	5	6	7
1	350	500	25	53,0	C10	A240C
2	200	400	35	50,0	C20	A400C
3	450	600	30	48,0	C15	Bp-I (B500)
4	300	550	20	35,0	C25	A500C
5	250	450	15	47,5	C35	A240C
6	500	650	25	52,5	C30	A400C
7	350	500	35	63,5	C40	Bp-I (B500)
8	200	400	30	39,0	C10	A500C
9	450	600	20	42,5	C20	A240C
10	300	550	15	35,0	C15	A400C
11	250	450	25	61,0	C25	Bp-I (B500)
12	500	650	35	54,5	C35	A500C
13	350	500	30	53,0	C30	A240C
14	200	400	20	50,0	C40	A400C
15	450	600	15	48,0	C10	Bp-I (B500)
16	300	550	25	35,0	C20	A500C
17	250	450	35	47,5	C15	A240C
18	500	650	30	52,5	C25	A400C
19	350	500	20	63,5	C35	Bp-I (B500)
20	200	400	15	39,0	C30	A500C
21	450	600	25	42,5	C40	A240C
22	300	550	35	35,0	C10	A400C
23	250	450	30	61,0	C20	Bp-I (B500)
24	500	650	20	54,5	C15	A500C
25	350	500	15	53,0	C25	A240C
26	200	400	25	50,0	C35	A400C
27	450	600	35	48,0	C30	Bp-I (B500)
28	300	550	30	35,0	C40	A500C
29	250	450	20	47,5	C10	A240C
30	500	650	15	52,5	C20	A400C
31	350	500	25	63,5	C15	Bp-I (B500)
32	200	400	35	39,0	C25	A500C
33	450	600	30	42,5	C35	A240C
34	300	550	20	35,0	C30	A400C
35	250	450	15	61,0	C40	Bp-I (B500)

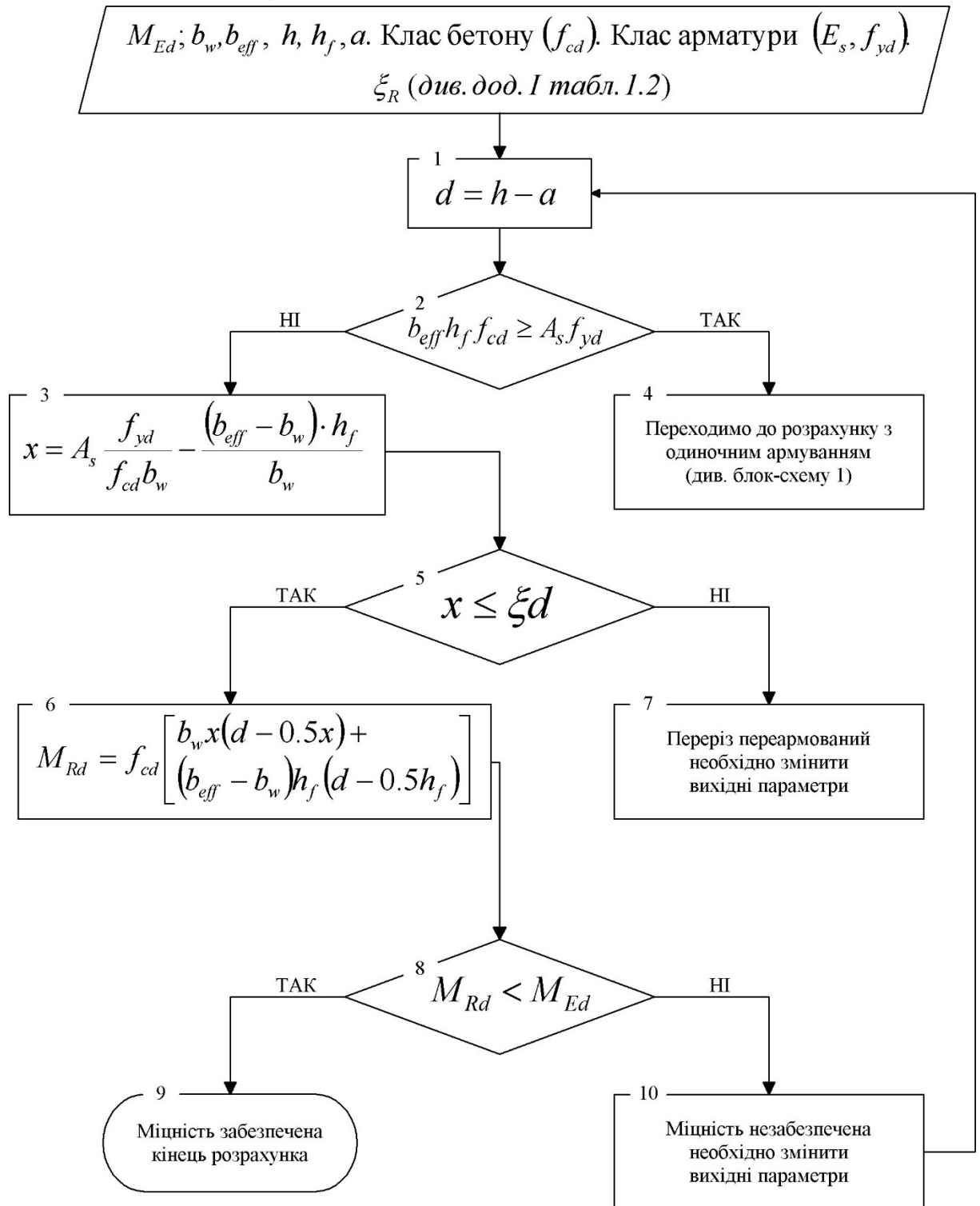
Задача 2. Перевірити несучу здатність залізобетонного перерізу заармованого одиночною арматурою A_s згідно наступних вихідних даних:

Таблиця 2

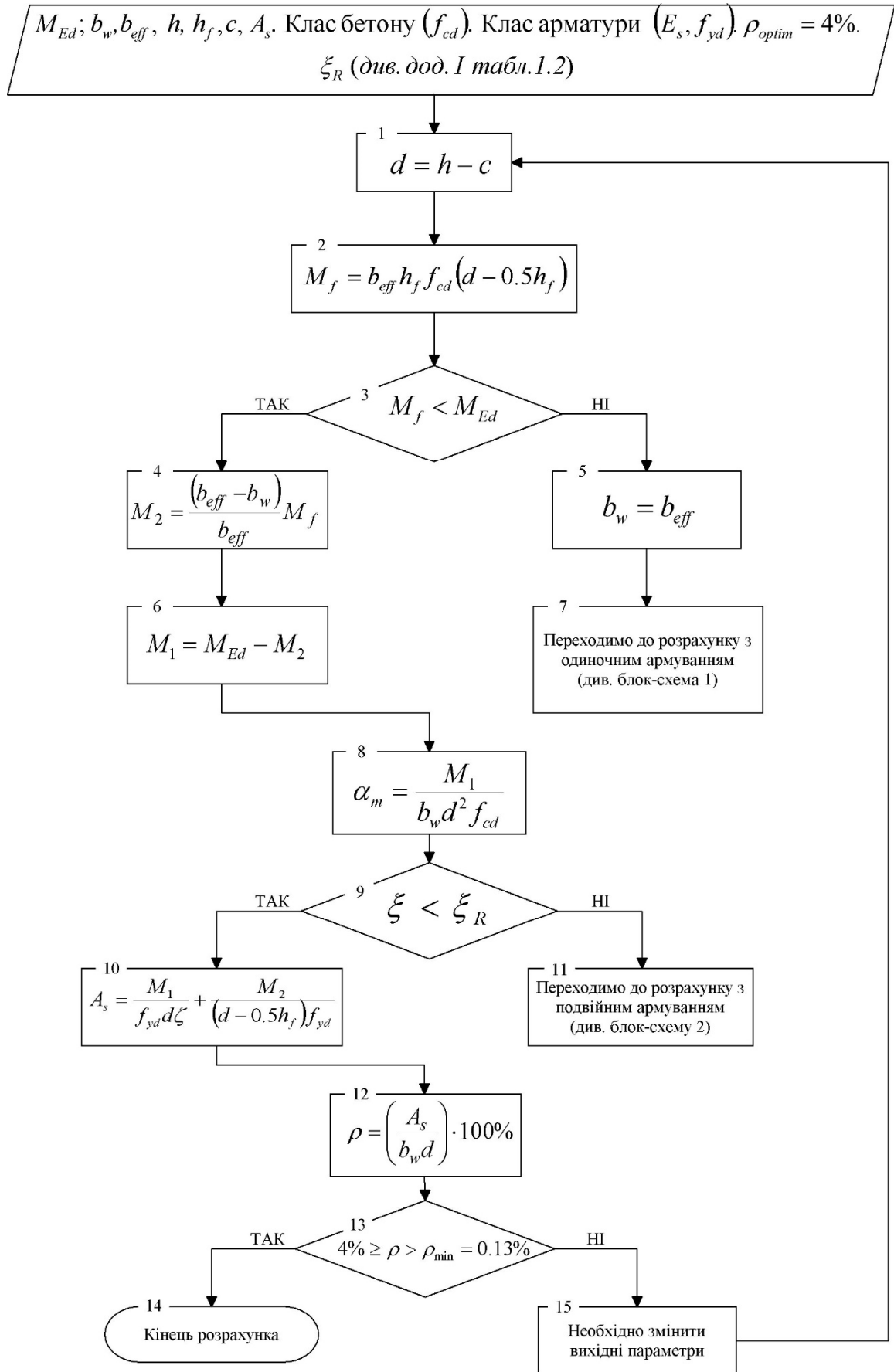
Номер варіанта	Розміри, мм			M_{Ed} , кНм	Клас бетону	Клас арматури	Арматура A_s
	b	h	c				
1	2	3	4	5	6	7	8
1	450	600	15	35,0	C15	A400C	2Ø20
2	300	450	25	30,0	C25	A240C	2Ø16
3	250	500	35	42,5	C30	A500C	3Ø22
4	500	650	20	50,0	C35	Bp-I (B500)	4Ø6
5	350	550	30	55,0	C40	A240C	2Ø10
6	200	600	15	62,5	C15	A400C	3Ø18
7	450	450	25	60,0	C25	Bp-I (B500)	5Ø4
8	300	500	35	32,5	C30	A500C	2Ø30
9	250	650	20	35,0	C35	A240C	4Ø8
10	500	550	30	30,0	C40	A400C	2Ø20
11	350	600	15	42,5	C15	Bp-I (B500)	6Ø5
12	200	450	25	50,0	C25	A500C	3Ø22
13	450	500	35	55,0	C30	A240C	2Ø26
14	300	650	20	62,5	C35	A400C	2Ø10
15	250	550	30	60,0	C40	Bp-I (B500)	3Ø6
16	500	600	15	32,5	C15	A500C	2Ø12
17	350	450	25	35,0	C25	A240C	2Ø30
18	200	500	35	30,0	C30	A400C	4Ø8
19	450	650	20	42,5	C35	Bp-I (B500)	4Ø4
20	300	550	30	50,0	C40	A500C	2Ø16
21	250	600	15	55,0	C15	A240C	3Ø22
22	500	450	25	62,5	C25	A400C	2Ø26
23	350	500	35	60,0	C30	Bp-I (B500)	6Ø4
24	200	650	20	32,5	C35	A500C	3Ø18
25	450	550	30	35,0	C40	A240C	2Ø12
26	300	600	15	30,0	C15	A400C	2Ø30
27	250	450	25	42,5	C25	Bp-I (B500)	4Ø6
28	500	500	35	50,0	C30	A500C	2Ø20
29	350	650	20	55,0	C35	A240C	2Ø16
30	200	550	30	62,5	C40	A400C	3Ø22
31	450	600	15	60,0	C15	Bp-I (B500)	4Ø5
32	300	450	25	32,5	C25	A500C	2Ø10
33	250	500	35	35,0	C30	A240C	3Ø18
34	500	650	20	30,0	C35	A400C	2Ø12
35	350	550	30	42,5	C40	Bp-I (B500)	4Ø6

МОДУЛЬ 2: РОЗРАХУНОК ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ПЛОЩІ АРМАТУРИ

2.1. Розрахунок згинального елементу таврового перерізу при дії згинального моменту (блок-схема 4)

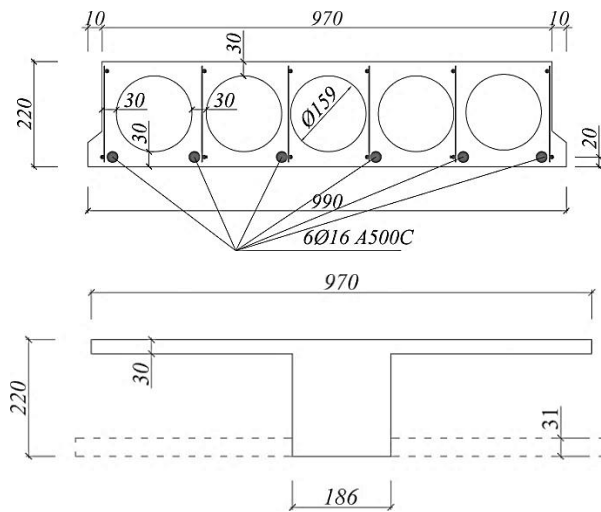


2.2. Розрахунок згинального елементу таврового перерізу при дії згинального моменту (блок-схема 5)



2.3. Приклади розрахунку згинальних елементів за блок-схемами 4 та 5

Задача 1. Перевірити несучу здатність згинального елемента таврового перерізу згідно наступних вихідних даних.



Варіант № 10

$$b_w = \sum b_i = 186 \text{ мм};$$

$$b_{eff} = 970 \text{ мм};$$

$$h = 220 \text{ мм};$$

$$h_f = 30 \text{ мм};$$

$$c = 20 \text{ мм};$$

$$M_{Ed} = 350 \text{ кНм};$$

$$\text{Клас бетону } C30 \quad f_{cd} = 17,0$$

$$\text{МПа};$$

$$\text{Клас арматури } A500C \quad f_{yd} = 435$$

$$\text{МПа}; \quad A_s = 1206 \text{ мм}^2;$$

$$\xi_R = 0,588 (\text{див. дод. I табл. 1.3})$$

Розв'язання задачі:

$$1. \quad d = h - c = 220 - 20 = 200 \text{ мм}.$$

$$2. \quad b_{eff} h_f f_{cd} = 970 \cdot 30 \cdot 17 = 497700 < A_s f_{yd} = 1206 \cdot 435 = 524610 \quad -$$

нейтральна вісь перетинає ребро;

$$3. \quad x = A_s \frac{f_{yd}}{f_{cd} b_w} - \frac{(b_{eff} - b_w) \cdot h_f}{b_w} = 1206 \cdot \frac{435}{17 \cdot 186} - \frac{(970 - 186) \cdot 30}{186} = 39,46 \text{ мм}$$

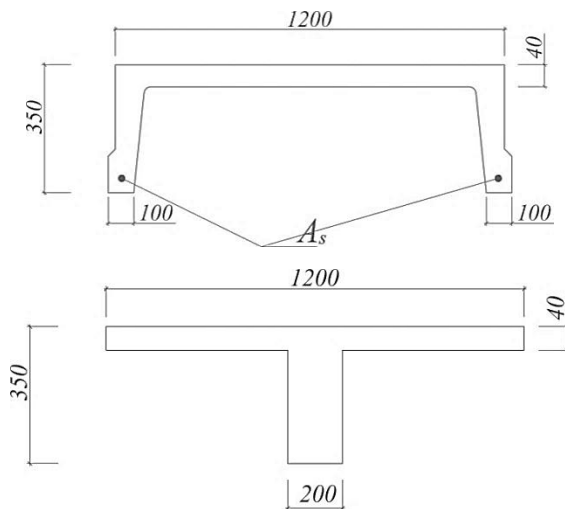
$$4. \quad x = 39,46 \leq 0,8 \xi_R d = 0,8 \cdot 0,588 \cdot 200 = 94,08 \text{ мм};$$

$$M_{Rd} = f_{cd} [b_w x (d - 0,5x) + (b_{eff} - b_w) h_f (d - 0,5h_f)] =$$

$$5. \quad 17 \cdot [186 \cdot 39,46 (200 - 0,5 \cdot 39,46) + (970 - 186) \cdot 30 \cdot (200 - 0,5 \cdot 30)] = 96,46 \cdot 10^6 = 96,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$6. \quad M_{Ed} = 350 \text{ кН} \cdot \text{м} > M_{Rd} = 96,5 \text{ кН} \cdot \text{м} - \text{міцність не забезпечена}$$

Задача 2. Визначити необхідну кількість армування згинального елемента таврового перерізу згідно наступних вихідних даних.



Варіант № 14

$$b_w = \sum b_i = 200 \text{ мм};$$

$$b_{eff} = 1200 \text{ мм};$$

$$h = 350 \text{ мм};$$

$$h_f = 40 \text{ мм};$$

$$M_{Ed} = 360 \text{ кНм};$$

Клас бетону C35 $f_{cd} = 19,5 \text{ МПа}$;

Клас арматури A400C $f_{yd} = 375$

МПа; $\rho_{\max} = 4\%$;

$\xi = 0,588$ (див. дод.. табл. 1.3).

Розв'язання задачі:

$$1. \quad d = h - c = 350 - 20 = 330 \text{ мм}.$$

$$2. \quad M_f = b_{eff} h_f f_{cd} (d - 0,5 h_f) = 1200 \cdot 40 \cdot 19,5 \cdot (330 - 0,5 \cdot 40) = 296 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 296 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

3. Оскільки $M_f = 296 \text{ кН} \cdot \text{м} < M = 360 \text{ кН} \cdot \text{м}$, то $x > h_f$;

$$4. \quad M_2 = \frac{(b_{eff} - b_w)}{b_{eff}} M_f = \frac{(1200 - 200)}{1200} \cdot 296 = 246,7 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$5. \quad M_1 = M_{Ed} - M_2 = 360 - 246,7 = 113,3 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$6. \quad \alpha_m = \frac{M_1}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{113,3 \cdot 10^6}{1200 \cdot 330^2 \cdot 19,5} = 0,04$$

7. При $\alpha_m = 0,04$ $\xi = 0,05$ і $\zeta = 0,980$;

$$\xi = 0,05 < \xi_R = 0,588$$

$$8. \quad A_s = \frac{M_1}{f_{yd} d \zeta} + \frac{M_2}{(d - 0,5 h_f) f_{yd}} = \frac{113,3 \cdot 10^6}{375 \cdot 330 \cdot 0,980} + \frac{246,7 \cdot 10^6}{(330 - 0,5 \cdot 40) \cdot 375} = 2845,3 \text{ мм}^2$$

Беремо: 4Ø32A400C, $A_s^\phi = 3217 \text{ мм}^2 > 2845,3$.

$$9. \quad \rho = \left(\frac{A_s^\phi}{b_w d} \right) \cdot 100\% = \left(\frac{3217}{200 \cdot 330} \right) \cdot 100\% = 4,9\% > [4\%] \quad - \quad \text{переріз}$$

переармований необхідно змінити вихідні параметри.

2.4. Варіанти для самостійного опрацювання

Завдання 1. Перевірити несучу здатність таврового згинального елемента та навести розрахункову схему перерізу.

Таблиця 3

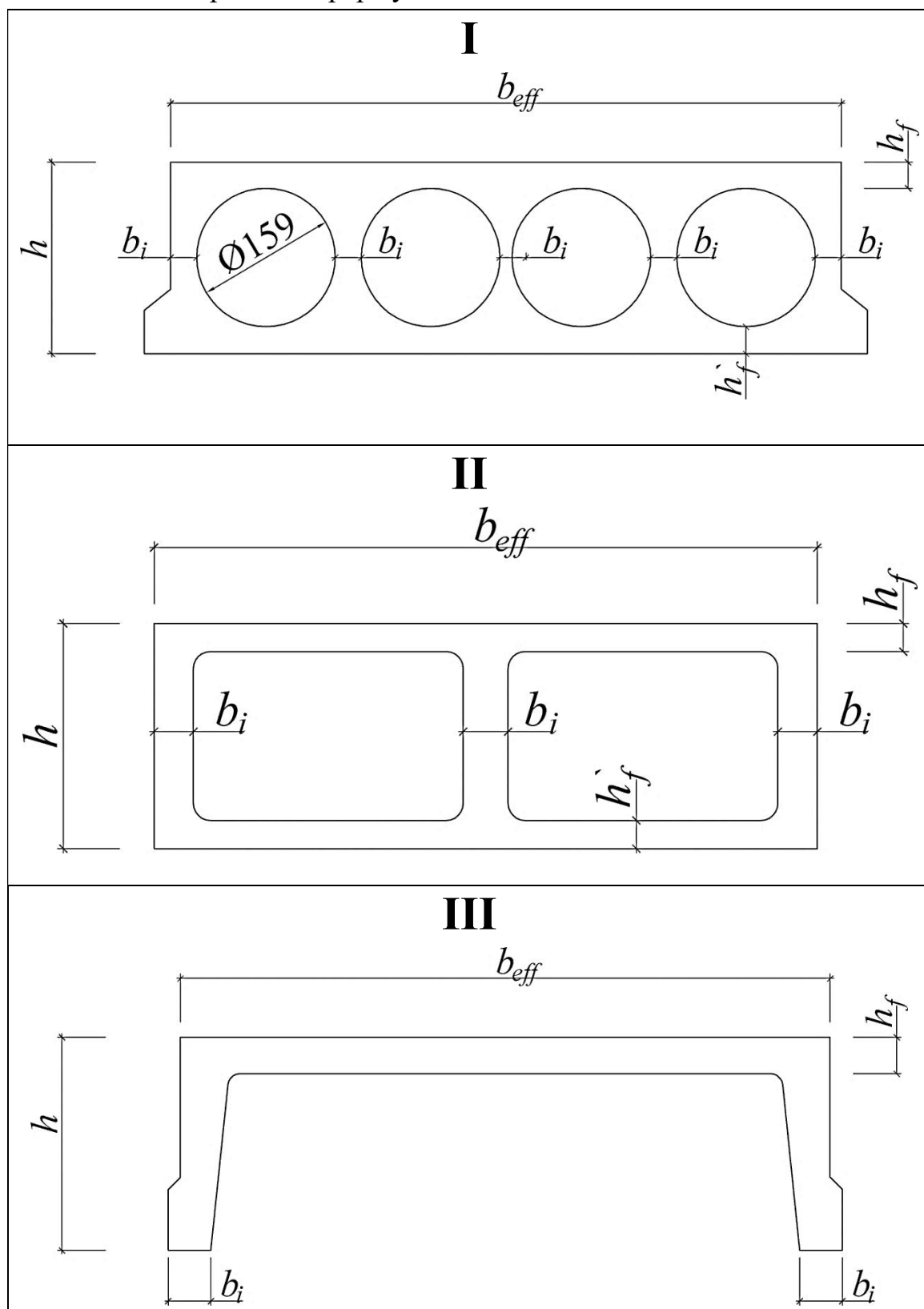
Номер варіанта	Розміри, мм						M_{Ed} , кНм	Клас бетону	К-сть, діаметр та клас арматури	Варіант перерізу (табл.5)
	b_{eff}	b_i	h	h_f	h_f'	a				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	800	26	220	31	31	25	12,5	C20	4Ø16 A400C	I
2	1000	100	500	80	80	30	20,0	C35	2Ø18 A240C	II
3	1200	80	300	40	-	25	35,0	C25	6Ø10 A500C	III
4	400	200	400	60	60	20	28,0	C45	2Ø25 A600	IV
5	800	200	1000	150	-	25	19,0	C35	4Ø28 A400C	V
6	1000	26	220	31	31	25	41,0	C20	4Ø16 A800	I
7	1200	100	500	80	80	30	13,5	C35	2Ø18 A240C	II
8	1400	80	450	40	-	25	25,5	C25	6Ø10 A500C	III
9	500	300	600	80	80	20	36,0	C45	2Ø25 A240C	IV
10	600	100	800	100	-	25	28,0	C20	4Ø28 A1000	V
11	1200	26	220	31	31	25	15,0	C35	4Ø16 A400C	I
12	1400	100	500	80	80	30	42,5	C25	2Ø18 A240C	II
13	1000	80	300	40	-	25	19,5	C45	6Ø10 A500C	III
14	600	400	800	100	100	20	20,0	C40	2Ø25 A240C	IV
15	400	50	600	150	-	25	32,0	C20	4Ø28 A600	V
16	1600	26	220	31	31	25	26,5	C35	4Ø16 A400C	I
17	1600	100	500	80	80	30	19,0	C25	2Ø18 A240C	II
18	1400	80	450	40	-	25	41,0	C45	6Ø10 A500C	III
19	700	500	1000	60	60	20	14,5	C35	2Ø25 A240C	IV
20	800	200	400	100	-	25	22,0	C30	4Ø28 A400C	V
21	1800	26	220	31	31	25	32,0	C40	4Ø16 A800	I
22	2000	100	500	80	80	30	28,0	C20	2Ø18 A240C	II
23	1200	80	300	40	-	25	19,0	C35	6Ø10 A500C	III
24	800	200	400	80	80	20	41,0	C25	2Ø25 A240C	IV
25	600	100	1000	150	-	25	15,5	C45	4Ø28 A400C	V
26	800	26	220	31	31	25	22,0	C35	4Ø16 A1000	I
27	1000	100	500	80	80	30	32,0	C30	2Ø18 A240C	II
28	1000	80	450	40	-	25	28,0	C40	6Ø10 A500C	III
29	400	300	600	100	100	20	19,0	C20	2Ø25 A240C	IV
30	400	50	800	100	-	25	41,0	C35	4Ø28 A400C	V
31	1000	26	220	31	31	25	13,0	C25	4Ø16 A800	I
32	1200	100	500	80	80	30	25,0	C45	2Ø18 A240C	II
33	1400	80	300	40	-	25	33,5	C35	6Ø10 A500C	III
34	500	400	800	60	60	20	40,0	C30	2Ø25 A240C	IV
35	800	200	600	150	-	25	21,0	C40	4Ø28 A400C	V

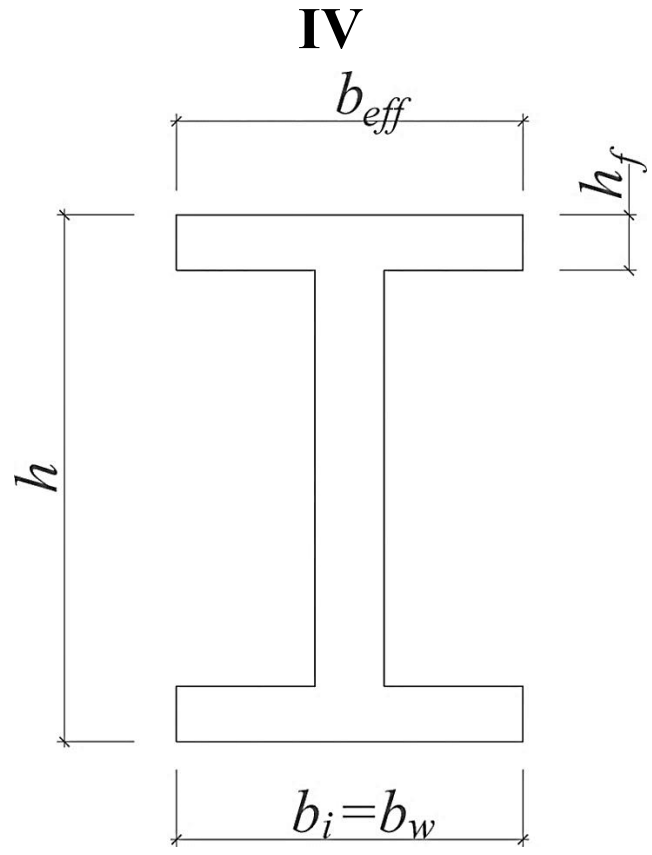
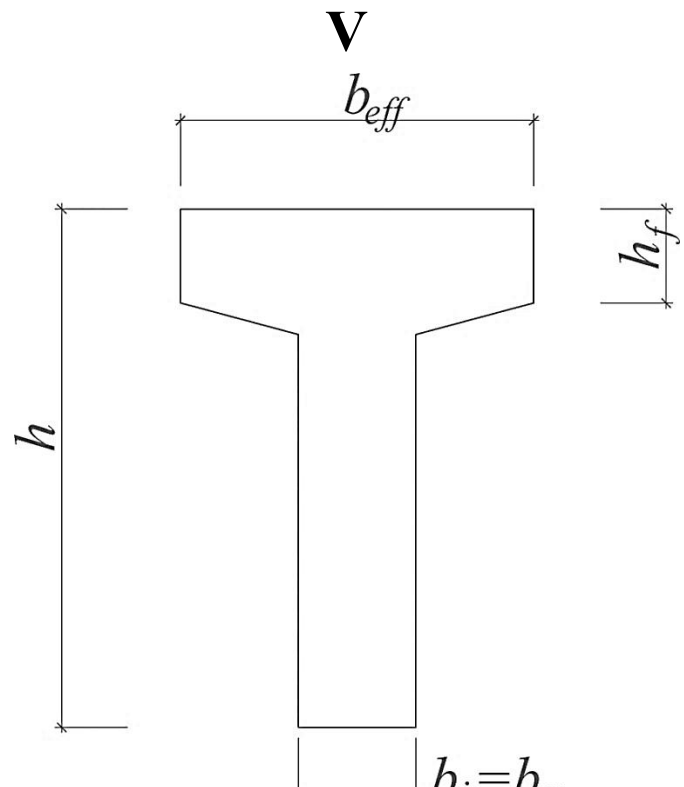
Завдання 2. Підібрати повздовжню арматуру в згинальному елементі та навести схему армування

Таблиця 4

Номер варіанта	Розміри, мм						M_{Ed} , кНм	Клас бетону	Клас арматури	Варіант перерізу (табл.5)
	b_{eff}	b_i	h	h_f	h_f'	a				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1800	26	220	31	31	20	50,0	C25	A500C	I
2	1400	80	450	40	-	25	45,0	C30	A800	III
3	2000	100	500	80	80	30	38,0	C20	A600	II
4	800	200	1000	150	-	15	22,0	C35	A1000	V
5	800	500	800	100	100	20	18,5	C40	A400C	IV
6	1600	26	220	31	31	25	52,5	C25	A500C	I
7	1200	80	300	30	-	20	39,0	C30	A800	III
8	1600	100	500	80	80	35	41,0	C20	A600	II
9	600	100	800	100	-	20	25,5	C35	A1000	V
10	700	400	600	80	80	25	16,0	C40	A400C	IV
11	1200	26	220	31	31	20	51,0	C25	A500C	I
12	1000	80	450	40	-	25	48,5	C30	A800	III
13	1400	100	500	80	80	30	39,5	C20	A600	II
14	400	50	600	150	-	25	20,0	C35	A1000	V
15	600	300	400	100	100	20	16,0	C40	A400C	IV
16	1000	26	220	31	31	25	52,5	C25	A500C	I
17	1400	80	300	30	-	20	46,5	C30	A800	III
18	1200	100	50	80	80	35	35,0	C20	A600	II
19	800	200	400	100	-	30	28,5	C35	A1000	V
20	500	200	1000	80	80	25	15,0	C40	A400C	IV
21	800	26	220	31	31	20	51,5	C25	A500C	I
22	1200	80	450	40	-	25	44,5	C30	A800	III
23	1000	100	500	80	80	30	33,0	C20	A600	II
24	600	100	1000	150	-	15	21,5	C35	A1000	V
25	400	500	800	100	100	20	12,0	C40	A400C	IV
26	1800	26	220	31	31	25	55,0	C25	A500C	I
27	1000	80	300	30	-	20	49,5	C30	A800	III
28	2000	100	500	80	80	35	38,0	C20	A600	II
29	400	50	800	100	-	20	30,0	C35	A1000	V
30	800	400	600	80	80	25	12,0	C40	A400C	IV
31	1600	26	220	31	31	20	52,0	C25	A500C	I
32	1400	80	450	40	-	25	41,0	C30	A800	III
33	1600	100	500	80	80	30	30,0	C20	A600	II
34	800	200	600	150	-	25	27,5	C35	A1000	V
35	700	300	400	100	100	20	18,0	C40	A400C	IV

Варіанти перерізу згинальних елементів



<p style="text-align: center;">IV</p> 	<p style="text-align: center;">V</p> 
--	--

ДОДАТКИ

Характеристики міцності і деформативності бетону

	Клас бетону											Аналітична залежність / пояснення
	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	$f_{cm,cube} = f_{cm,cube} / (1 - 1.64V_c)^*$
$f_{ck,prism}$ (МПа)	7,5	11	15	18,5	22	25,5	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	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$
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	$f_{ctk,0.05} = 0.7 f_{ctm}$ 5% вибірки
$f_{ctk,0.95}$ (МПа)	1,6	2,0	2,5	2,9	3,4	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9	5,3	$f_{ctk,0.95} = 1.3 f_{ctm}$ 95%вибірки
E_{cm} (ГПа)	18	23	27	30	32,5	34,5	36	37,5	39	39,5	40	
E_{ck} (ГПа)	15	20	23	26	29	31	32	34	35	36	37	
E_{cd} (ГПа)	12,6	16,3	20	23	25	27	28,%	30,5	32	33	34	
$\varepsilon_{cl,ck}$ (‰)	1,57	1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,90	1,94	1,98	2,02	
$\varepsilon_{cl,cd}$ (‰)	1,56	1,58	1,62	1,65	1,69	1,72	1,76	1,80	1,84	1,87	1,91	
$\varepsilon_{cul,ck}$ (‰)	4,50	4,40	4,15	3,85	3,55	3,25	3,00	2,83	2,63	2,50	2,40	
$\varepsilon_{cul,cd}$ (‰)	3,75	3,70	3,59	3,44	3,28	3,10	2,93	2,72	2,57	2,43	2,29	
$\varepsilon_{c3,ck}$ (‰)	0,50	0,55	0,65	0,71	0,76	0,82	0,91	0,94	1,03	1,10	1,16	$\varepsilon_{c3,ck} = f_{ck,prism} / E_{ck}$
$\varepsilon_{c3,cd}$ (‰)	0,48	0,52	0,58	0,63	0,68	0,72	0,77	0,83	0,86	0,91	0,97	$\varepsilon_{c3,cd} = f_{cd} / E_{cd}$
$\varepsilon_{cu3,ck}$ (‰)	4,05	3,96	3,73	3,6	3,20	2,93	2,70	2,55	2,37	2,25	2,16	$\varepsilon_{cu3,ck} = 0.9 \varepsilon_{cul,ck}$
$\varepsilon_{cu3,cd}$ (‰)	3,38	3,33	3,23	3,10	3,00	2,80	2,64	2,45	2,31	2,19	2,06	$\varepsilon_{cu3,cd} = 0.9 \varepsilon_{cul,cd}$
*) - величина $f_{cm,cube}$ в таблиці наведено виходячи зі значення коефіцієнта варіації V_c , який дорівнює 13.5%												

Продовження дод. I

Таблиця 1.2

Граничні значення відносної дійсної висоти стиснутої зони бетону ξ_R

Бетон		Арматура			
Класи	(‰)	A240C	A400C	A500C	B500(Bp1)
		$\varepsilon_{so} = 1,07$	$\varepsilon_{so} = 1,74$	$\varepsilon_{so} = 2,1$	$\varepsilon_{so} = 2,3$
C10	3,38	0,769	0,660	0,617	0,595
C15	3,33	0,758	0,657	0,613	0,591
C20	3,23	0,751	0,650	0,606	0,584
C25	3,10	0,743	0,643	0,596	0,574
C30	3,00	0,737	0,633	0,588	0,566
C35	2,80	0,729	0,618	0,571	0,540
C40	2,64	0,711	0,603	0,557	0,534
C45	2,45	0,696	0,585	0,544	0,516
C50	2,31	0,683	0,570	0,524	0,501
C55	2,19	0,672	0,557	0,520	0,488
C60	2,06	0,658	0,542	0,495	0,472

Таблиця 1.3

Значення коефіцієнтів α_m, ξ та ζ

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	-	-	-

$$\alpha_m = 0.8\xi(1 - 0.4\xi); \quad \zeta = (1 - 0.4\xi)$$

Відношення f_{yd}/f_{cd}

Класи бетонів	Класи арматури			
	A240C	A400C	A500C	B500(Bp1)
C15	26,47	42,94	51,18	42,35
C20	19,56	31,74	37,82	31,30
C25	15,52	25,17	30,00	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	7,50	13,27	15,82	13,09
C60	6,82	11,06	13,18	10,91

Міцності та деформаційні характеристики арматури

Характеристики арматури	Клас арматури				
	A240C	A400C	A500C		B500 (Bp-1)
			Ø8-22	Ø25-40	
f_{yk} МПа	240	400	500		500(490)
f_{yd} МПа	225	375(365)	435		435(410)
f_{ywd} МПа	170	285	300		325(290)
E_s МПа	2,1×105	2,1×105	2,0×105		1,9(1,7)×105
ϵ_{so}	0,00107	0,00174	0,0021		0,0023
ϵ_{ud}	0,025	0,025	0,02		0,02

Характеристичні значення опору та деформаційних характеристик попередньо напруженої арматури

Клас арматури	Характеристики арматури			
	f_{pk} МПа	$f_{p0.1k}$ МПа	E_p МПа	ϵ_{uk}
A600, A600C, A600K	630	575	190000	0,02
A800, A800K, A800CK	840	765	190000	0,018
A1000	1050	955	190000	0,018
Bp1200	1260	1145	190000	0,016
Bp1300	1365	1240	190000	0,016
Bp1400	470	1335	190000	0,016
Bp1500	1575	1430	190000	0,016

Сортамент арматури

Діаметр, мм	Розрахункова площа поперечного перерізу, мм, при кількості стержнів										Маса 1 м, кг
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	7,1	14	21	28	35	42	49	57	64	71	0,055
4	12,6	25	36	50	63	76	88	101	113	1261	0,098
5	19,6	39	59	79	98	118	137	157	177	196	0,154
6	28,3	57	86	113	142	170	198	226	255	283	0,222
7	38,5	77	115	154	192	231	269	308	346	385	0,302
8	50,3	101	151	201	251	302	352	402	453	503	0,395
10	78,9	157	236	314	393	471	550	628	707	785	0,617
12	113,1	226	339	452	565	679	792	905	1018	1131	0,888
14	153,9	308	462	616	769	923	1077	1231	1385	1539	1,208
16	201,1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	2011	1,578
18	254,5	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290	2545	1,998
20	314,2	628	941	1256	1571	1885	2199	2514	2828	3142	2,466
22	380,1	760	1140	1520	1900	2271	2661	3041	3421	3801	2,984
25	490,9	982	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4413	4909	3,853
28	615,8	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	6158	4,834
32	804,2	1608	2413	3217	4021	4825	5630	6434	7238	8042	6,313
36	1018	2036	3054	4072	5090	6108	7126	8144	9162	10180	7,990
40	1256	2512	3768	5024	6280	7536	8792	10048	11304	12560	9,805

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *ДБН В.2.6-98:2009* Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К.: Держстандарт УКРАЇНИ, 2011. – 71 с.
2. *ДСТУ Б В.2.6.-156:2010* Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування К.: Держстандарт УКРАЇНИ, 2010. – 166 с.
3. *Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*, BS EN 1992-1-1. – 2004. – British Standard, CEN.
4. *Eurocode 2: Work Examples*. – 2008. – European Concrete Platform ASBL.
5. *Розрахунок за міцністю перерізів нормальних та похилих до поздовжньої осі згинальних залізобетонних елементів за ДБН В.2.6-98:2009* / Мурашко Л.А., Колякова В.М., Сморгалов Д.В. – К.: КНУБА, 2012. – 62 с.

Для нотатків

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА БЛОК-СХЕМАМИ

Залізобетонні конструкції

Методичні вказівки і завдання
до самостійного опрацювання з курсу
“Залізобетонні конструкції”
для студентів, які навчаються
за напрямком підготовки
6.060101 “Будівництво”

Укладачі: **ЖУРАВСЬКИЙ** Олександр Дмитрович,
БОВА Ярослав Олександрович

Підписано до друку 29.09.2014. Формат 60 × 84 1/16

Ум. друк. арк. 1,86. Обл.-вид. арк. 2,0.

Тираж 70 прим. Вид. № 11/IV-13. Зам. № 89/1-14

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

Е-mail: red-isdat@ukr.net, тел. (044)241-54-22, 241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів

Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.