

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	7
<b>1. МОНОЛІТНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ</b> .....	8
<b>1.1 Загальні відомості</b> .....	8
1.2. Проектування ребристого перекриття з балковими плитами ..	9
1.2.1. Розробка конструктивної схеми перекриття .....	11
<b>2. РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ПЛИТИ МОНОЛІТНИХ РЕБРИСТИХ ПЕРЕКРИТТІВ</b> .....	12
2.1. Визначення навантажень на плити.....	12
2.2. Статична схема плити і визначення зусиль .....	13
2.3.Розрахунок і конструювання арматури плити.....	15
<b>3. РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ БАЛОК МОНОЛІТНИХ РЕБРИСТИХ ПЕРЕКРИТТІВ</b> .....	20
3.1. Навантаження на балки .....	20
3.2. Визначення зусиль в перерізах другорядних та головних балок.....	22
3.3. Розрахунок і конструювання поздовжньої арматури.....	24
3.4. Розрахунок балок на дію поперечної сили (зріз).....	35
3.4.1. Основні положення .....	35
3.4.2. Елементи, що не потребують поперечного армування за розрахунком .....	36
3.4.3. Елементи, що потребують поперечне армування за розрахунком .....	38
3.4.4.Розрахунок поперечної арматури.....	40
3.4.5.Конструктивні вимоги до поперечного армування .....	42
3.5. Розрахунок на зріз зони контакту стінки і полиці таврових перерізів .....	42
3.6. Обвідна епіюра розтягуючи зусиль і обрив поздовжньої арматури.....	47
3.7. Вимоги до конструювання залізобетонних згинальних елементів.....	49
3.7.1. Розміщення поздовжньої арматури в перерізах.....	49
3.7.2. Захисний шар бетону .....	51
3.7.3. Мінімальна і максимальна площа поздовжньої арматури.....	52

3.7.4. Анкерування поздовжньої арматури балок .....	52
3.7.5. Конструювання поперечної арматури балок .....	53
<b>4. РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ МОНОЛІТНИХ КОЛОН</b> .....	55
4.1. Розрахункова схема колон .....	55
4.2. Навантаження на колону.....	56
4.3. Розрахунок поздовжньої арматури колон.....	57
4.4. Вимоги до конструювання стиснутих елементів .....	59
4.4.1. Поздовжня арматура .....	59
4.4.2. Поперечна арматура.....	60
<b>5. РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ ПІД ОКРЕМІ МОНОЛІТНІ КОЛОНИ</b> .....	61
5.1. Розрахункова схема .....	62
5.2. Контрольні (розрахункові) перерізи, визначення зусиль і послідовність розрахунків .....	63
5.3. Основні вимоги до конструювання плитних фундаментів ....	68
<b>БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК</b> .....	70
<b>ДОДАТКИ</b> .....	71
<b>ДОДАТОК А</b> .....	72
Вихідні данні і зміст проектування монолітних конструкцій багатоповерхової будівлі з ребристими плитами .....	72
<b>ДОДАТОК Б</b> .....	75
Конструктивна схема, розрахунок і конструювання плити перекриття .....	75
<b>ДОДАТОК В</b> .....	87
Конструктивна схема, розрахунок і конструювання другорядної балки перекриття.....	87
<b>ДОДАТОК Г</b> .....	98
Конструктивна схема, розрахунок і конструювання головної балки перекриття.....	98
Г.1. Конструктивна схема головної балки перекриття.....	98
<i>Г.1.1. Вибір конструктивної, розрахункової схем головної балки та обчислення навантаження</i> .....	98
Г.2. Визначення зусиль і побудова обвідної епюри моментів головної балки.....	100

Г.3. Розрахунок поздовжньої арматури у перерізах головної балки .....	106
Г.3.1 Армуння головної балки окремими стержнями з відгином арматури на опори .....	112
Г.4. Розрахунок поперечної арматури у головній балці .....	114
Г.4.1 Армуння опорних перерізів головної балки вертикальною арматурою .....	114
Г.4.2 Армуння опорних перерізів головної балки вертикальною та відігнутою поперечною арматурою .....	115
Г.5. Розрахунок міцності на зріз з'єднання полиці і ребра головної балки .....	116
Г.6. Анкерування та обрив поздовжньої арматури головної балки .....	118
<b>ДОДАТОК Д</b> .....	121
Розрахунок і конструювання колони .....	121
<b>ДОДАТОК Е</b> .....	125
Розрахунок і конструювання стовбчастого фундаменту з плитою .....	125
<b>ДОДАТОК Ж</b> .....	134
Характеристичні і розрахункові значення міцності і деформативності бетону .....	134
<b>ДОДАТОК З</b> .....	135
Характеристичні і розрахункові значення міцності і деформативності арматури .....	135
<b>ДОДАТОК І</b> .....	135
Значення коефіцієнтів $\alpha_m$ , $\xi$ та $\zeta$ .....	135
<b>ДОДАТОК К</b> .....	136
Обвідна епюра моментів в нерозрізних балках, що завантажені рівномірно розподіленим навантаженням .....	1367
Таблиця К.1 .....	137
Значення коефіцієнта $\beta$ для визначення ординат від'ємних моментів $M = \beta ql^2$ .....	137
<b>ДОДАТОК Л</b> .....	137
Зусилля та реакцій в багатопрольотних нерозрізних балках .....	137
Таблиця Л.1 .....	138

Моменти, поперечні сили і реакції у двох прольотних балках.....	138
Таблиця Л.2 .....	139
Моменти, поперечні сили і реакції у трьох прольотних балках.....	139
Таблиця Л.3 .....	141
Моменти, поперечні сили і реакції в чотирьох прольотних балках. ....	141
Таблиця Л. ....	144
Моменти, поперечні сили і реакції у п'яти прольотних балках .....	144

## ПЕРЕДМОВА

Цей посібник є перевиданням Посібника «Розрахунок і конструювання монолітного ребристого перекриття з балковими плитами» [1], який був виданий у 2018 році.

За роки застосування Посібник [1] використовувався здобувачами спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» при виконанні курсового проекту «Монолітні залізобетонні конструкції багатоповерхової будівлі з ребристим перекриттям», а також здобувачами, які навчаються за спеціальністю 191 «Архітектура та містобудування», при виконанні курсових проектів та курсових робіт.

Метою перевидання Посібника [1] було, його актуалізація з врахуванням досвіду застосування, а саме.

Змінена назва Посібника [1] на «Проектування монолітних залізобетонних конструкції багатоповерхової будівлі з ребристим перекриттям», яке в більшій ступені відповідає його змісту, тому, що викладені розрахунок і конструювання, а це є проектування, не тільки самого монолітного перекриття, а також колон і фундаментів, які є конструкціями будівлі.

Переформатований текст існуючого Посібника [1] де, зараз, спочатку надані теоретичні основи розрахунку конструкцій будівлі – плити перекриття, другорядних і головних балок, колон і фундаментів, а у додатках - приклад проектування будівлі з монолітним ребристим перекриттям у відповідності з завданням.

Внесені корективи у текст Посібника [1] і виправлені окремі помилки, що були виявлені підчас його використання, які мали на меті поліпшення сприйняття здобувачами основних положень проектування залізобетонних конструкцій, зокрема з монолітного залізобетону.

Навчальний посібник призначений для здобувачів усіх освітніх програм спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

# 1. МОНОЛІТНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ

## 1.1 Загальні відомості

Монолітні залізобетонні перекриття широко застосовують у сучасній будівельній практиці в цивільних, житлових, промислових будівлях та інших спорудах різного призначення.

Основна перевага таких перекриттів полягає у можливості сприймати значні корисні навантаження, мати довільну форму в плані і відносно просте армування.

До основних типів монолітних перекриттів відносяться:

- ребристі перекриття з «балочними» плитами, які працюють в одному напрямку;
- ребристі перекриття з плитами, що працюють в двох напрямках;
- кесонні перекриття з перехресною системою несучих балок;
- плоскі безбалочні перекриття.

Відстань між колонами в таких перекриттях змінюється в межах 6...14 м., а будівельна висота перекриття складає  $\left(\frac{1}{15} \dots \frac{1}{20}\right)$  відстані між колонами.

Фрагменти найбільш вживаних схем перекриття показані на рис. 1.

Найчастіше ребристі перекриття складаються з головних та другорядних балок, які об'єднані між собою монолітною плитою. В статичному відношенні балки перекриття класифікуються як нерозрізні статично невизначені конструкції. Опорами другорядних балок є головні балки та стіни, а головних балок – колони повного каркасу або колони і стіни при неповному каркасі.

Статична схема плити залежить від співвідношення  $L_q / L_k$  (див. рис. 1) та умов їх обпирання.

## 1.2. Проектування ребристого перекриття з балковими плитами

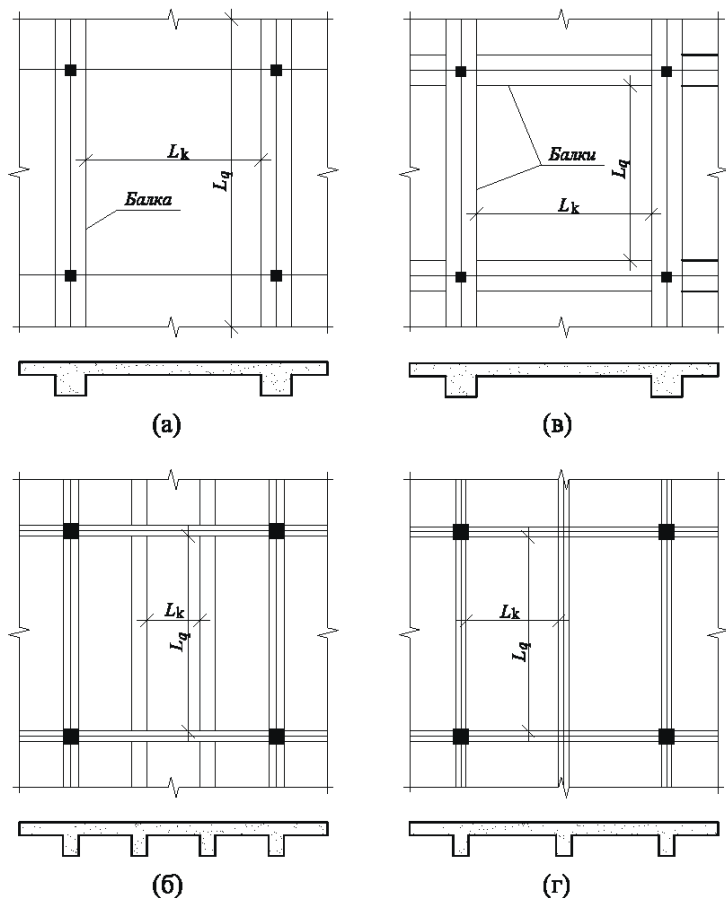


Рис. 1. Основні типи монолітних ребристих плит:  
(а), (б) – плити, що працюють в одному напрямку ( $L_q/L_k > 3$ );  
(в), (г) – плити, що працюють в двох напрямках ( $L_q/L_k \leq 3$ ).

В учбовому процесі здобувачі виконують розрахунки і конструювання монолітних залізобетонні конструкції багатоповерхової будівлі з ребристим перекриттям, що є першим

кроком у вивченні розрахунків та конструюванні залізобетонних конструкцій і являє собою процес проектування, класичного монолітного перекриття, при розробці якого реалізуються основні положення теорії залізобетону, які були отримані здобувачами при вивченні курсу.

Розрахунок і конструювання конструкцій будівлі виконують відповідно до вихідних даних, наведених у відповідному завданні на проектування (додаток А).

Обсяг проектування – 3 аркуші креслень формату А2 або 6 листів формату А3, пояснювальна записка – 30...45 стор.

Виконання проектування передбачає:

- вибір конструктивної схеми перекриття і розробку (в масштабі 1:100 або 1:200) перерізу будівлі, вузлів опирання плит та балок на стіни;

- обчислення навантажень і статичний розрахунок всіх елементів перекриття, а також колон і фундаментів;

- розрахунок за першою групою граничних станів всіх конструкцій (плит, головних та другорядних балок, колони та фундаменту) з визначенням поздовжньої і поперечної арматури;

- розрахунок на зріз міцності з'єднання полиці та ребра таврових перерізів другорядної чи головної балки;

- визначення довжини анкерування та побудову епюри розтягуючих зусиль у поздовжній арматурі головної балки;

- конструювання всіх розрахункових елементів у відповідності до чинних нормативних документів.

При виконанні статичних розрахунків нерозрізних плит та балок, як правило, користуються спрощеними методами визначення зусиль. В той же час, при визначенні зусиль в елементах перевага віддається використанню програмних комплексів «LIRA», «SCAD» та ін.

Всі розрахунки і конструювання залізобетонних конструкцій будівлі виконують у відповідності до чинних в Україні нормативних документів з проектування залізобетонних конструкцій [2] - [6], які здобувачі можуть порівняти з відповідними рахунками і конструюванням

залізобетонних конструкцій за нормативними документами, що діють у країнах ЄС [7].

Графічну частину проекту виконують переважно за програмою «AutoCAD».

Приклад завдання і повний об'єм проектування, яке включає в себе розрахунки і конструювання плити перекриття, другорядних і головних балок, колон і фундаментів наведені у додатках А...Е.

### 1.2.1. Розробка конструктивної схеми перекриття

Конструктивна схема перекриття – це схема розташування колон та головних і другорядних балок. Довільні (наведені у завданні, Додаток А) розміри будівель в осях дають можливість призначати кількість другорядних балок в прольотах головних балок з конструктивних міркувань.

Головні балки, зазвичай, розташовують паралельно короткій, рідше довгій стороні будівлі. Прольоти головних балок приймають в межах 6...9 м, крок головних балок (відстань між їх осями) - 6...8 м.

Другорядні балки розміщують з кроком 1,2...3,0 м. Довжина прольотів другорядних балок дорівнює кроку головних балок.

Всі кроки другорядних балок приймають однаковими, крім крайніх, які можуть бути меншими середніх на 5...10%, що зменшує моменти в крайніх прольотах плити.

Призначення кроку і прольотів другорядних і головних балок виконують з урахуванням співвідношення розмірів плит в плані.

Товщину плити вибирають з умови, що  $h = \left( \frac{1}{12} \dots \frac{1}{20} \right) L_k$  (де  $L_k$

- менший прольот плити) і приймають в межах 70...150 мм. Товщину плит для перекриттів із змінним навантаженням  $v > 13,5$  кПа призначають –  $h = 100...150$  мм.

Корисну висоту другорядних балок приймають з умови

$d = \left( \frac{1}{12} \dots \frac{1}{20} \right) L$ , де  $L$  - прольот балки. Повна висота балок

становить  $h = d + a$ , де  $a = 40...50$  мм ( $a$ -відстань від розтягнутої

фібри до центру ваги поздовжньої арматури). Найчастіше висоту другорядних балок приймають 350, 400, 450, 500 мм, а ширину  $b_w = 180...300$  мм.

Корисну висоту головних балок приймають  $d = \left(\frac{1}{12} \dots \frac{1}{15}\right)L$ , де  $L$ - прольот балки, а повну висоту -  $h = d + 80...120$  мм. Ширину головних балок приймають  $b_w = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{2}\right)h \approx 250...400$  мм.

Зазвичай, переріз колони приймають квадратним або прямокутним. Менша сторона колони не може бути меншою за 300 мм. В будь-якому випадкові розмір поперечного перерізу мусить бути більшим ширини головної балки на 100...150 мм.

Початкові розміри перерізів в процесі розрахунку другорядних і головних балок, а також колон можуть змінюватися у межах 25...50 мм без перерахунку навантажень від їх власної ваги.

Приклад конструктивної схеми перекриття з балочними плитами наведений у додатку Б (рис. Б.1, рис. Б.2).

## 2. РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ПЛИТИ МОНОЛІТНИХ РЕБРИСТИХ ПЕРЕКРИТТІВ

### 2.1. Визначення навантажень на плити

Навантаження на плити визначають на 1 м<sup>2</sup> їх площі у відповідності до [6] від таких дій:

*A. Постійне навантаження:*

- вага підлоги;
- вага підстиляючих та ізоляційних шарів (стяжка, вирівнюючий шар з керамзитобетону, асфальт або ін.)

$$q_1 = t \cdot \rho \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_n, \text{ кПа} \quad (1)$$

де  $t$  – товщина шару матеріалу;  
 $\rho$  – щільність матеріалу, т/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma_1 = 9,81$ ;

$\gamma_n$  – коефіцієнт надійності за відповідальністю  $\gamma_n$  за [5];  
шар гідро- пароізоляції;  
власна вага плити

*Б. Змінні навантаження (за завданням на проектування).*

Розрахункові значення постійних та змінних навантажень приймають з урахуванням коефіцієнту надійності за навантаженнями  $\gamma_f > 1$ .

Відповідно до [6] коефіцієнти  $\gamma_f > 1$  приймають:

- для підлоги та власної ваги плити – 1,1
- для підстилюючих шарів – 1,3
- для змінного (корисного) навантаження – 1,2.

Приклад обчислення повного навантаження на 1 м<sup>2</sup> плити наведений у додатку Б, таблиця Б.1

## **2.2. Статична схема плити і визначення зусиль**

Статична (розрахункова) схема плит залежить від умов обпирання плит на несучі конструкції та від відношення сторін  $L_q / L_k$  (рис. 2):

- при  $L_q / L_k > 3$  плита розглядається як «балочна», тобто як така, що працює переважно в короткому напрямку;
- при  $L_q / L_k \leq 3,0$  плита розглядається як така, що працює в двох напрямках.

В першому випадкові розрахункову опорну і прольотну арматуру встановлюють в одному (короткому) напрямку. При  $L_q / L_k \leq 3,0$  – прольотну і опорну арматуру розташовують в двох напрямках.

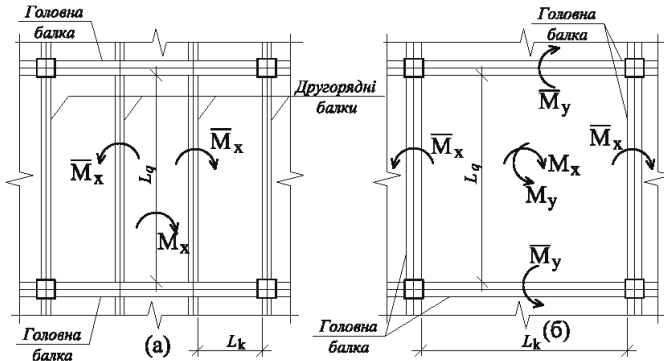


Рис. 2. До визначення статичних схем плит:  
 (а) – плити, що працюють в одному напрямку;  
 (б) – плити, що працюють в двох напрямках.

Розрахунковою схемою плити при  $L_q/L_k > 3$  є нерозрізна балка шириною 1 м, вільною опорою якої служить стіна, а проміжними опорами – другорядні балки (рис. 3).

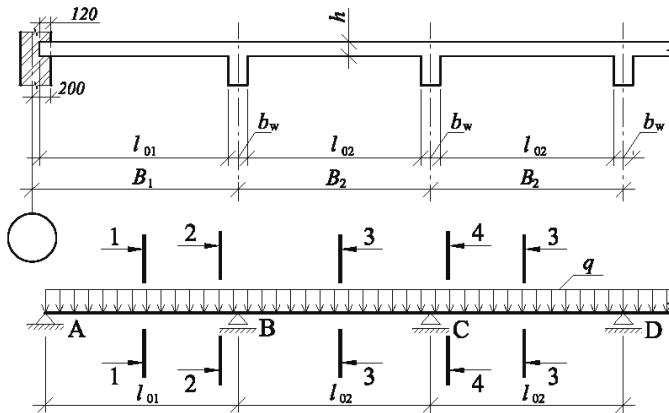


Рис. 3. Конструктивна та розрахункова схеми плити, що працює в одному напрямку.

Моменти в розрахункових перерізах плити, що працює в одному напрямку обчислюються з урахуванням пластичних деформацій бетону:

$$M_{1-1} = ql_{01}^2 / 11; \quad M_{2-2} = ql_{01}^2 / 14, \quad (2)$$

або

$$M_{1-1} = M_{2-2}; \quad M_{3-3} = M_{4-4} = ql_{02}^2 / 16 \quad (3)$$

Зазвичай, поперечні сили сприймаються бетоном перерізу плит, тому поперечну арматуру в плитах не встановлюють.

Розрахункові моменти в прольотах і на опорах плити, що працює у двох напрямках, визначають за методом граничної рівноваги, або за допомогою обчислювальних комплексів «LIRA» або «SCAD».

### 2.3. Розрахунок і конструювання арматури плити

Незалежно від того, за якою розрахунковою схемою визначені моменти, площу арматури в перерізах монолітних плит визначають як для прямокутного перерізу шириною 1 м з одиничною арматурою за алгоритмом табл.1, або подвійною арматурою – табл. 2. Розрахунковий переріз плити в прольоті наведений на рис. 4.

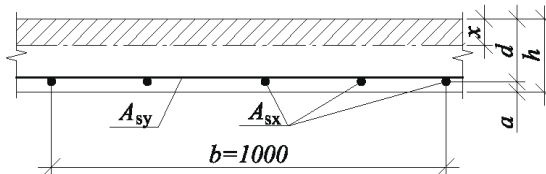


Рис. 4. Армуння прольотного перерізу плит по позитивному моменту.

Плиту армують стержнями з дроту Вр-I або арматури класів А240С, А400С, А500С діаметром 4-5 мм (Вр-I) і 6...16 мм (А240С, А400С, А500С), які розташовують з кроком не більше 200 мм (при  $h \leq 200$  мм) у вигляді зварних рулонних чи плоских сіток (рис. 5) або окремих стержнів (рис. 6). Арматуру розташовують в розтягнутих зонах плити відповідності зі знаком згинальних моментів.

Деталі армування плит наведені на рис. 5 та рис. 6.

**Алгоритм визначення площі розтягнутої арматури  
прямокутних перерізів з одиночним армуванням:**

<u>Вихідні дані:</u> $M; b; h; c; f_{cd}; \varepsilon_{cu3,cd}; f_{yd}; E_s; \rho_{max} = 0,04; \rho_{min} = 0,0013$	
№ п/п	Алгоритм
1	$d = h - c$
2	$\alpha_m = M / bd^2 f_{cd}$
3	$\xi = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}}{0,8}$
4	$\zeta = (1 - 0,4\xi)$
5	$\xi_R = \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + f_{yd} / E_s}$
6	Якщо $\xi \leq \xi_R$ , то перейти до п. 7; Якщо $\xi > \xi_R$ , то виконати розрахунок перерізу з подвійною арматурою за табл.2.
7	Якщо $\zeta \leq 0,95$ , то перейти до п. 8; Якщо $\zeta > 0,95$ , то прийняти $\zeta = 0,95$ і перейти до п. 8.
8	$A_s = M / f_{yd} d \zeta$ , мм <sup>2</sup> ., перейти до п. 9.
9	$\rho = (A_s / bd)$
10	Якщо $\rho_{min} < \rho \leq \rho_{max}$ , то конструюють переріз, в інших випадках необхідно змінити вихідні дані і перейти до п. 1.

**Алгоритм визначення площі розтягнутої арматури  
прямокутних перерізів з подвійним армуванням**

<u>Вихідні дані:</u>	
$M; b; h; c; c'; f_{cd}; \varepsilon_{cu3,cd}; f_{yd}; E_s; \rho_{max} = 0,04; \rho_{min} = 0,0013$	
№ п/п	Алгоритм
1	$d = h - c$
2	$\alpha_m = M / b d^2 f_{cd}$
3	$\xi = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}}{0,8}$
4	$\zeta = (1 - 0,4\xi)$
5	$\xi_R = \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + f_{yd} / E_s}$
6	Якщо $\xi \leq \xi_R$ , то переріз з одиночним армуванням за табл.1; Якщо $\xi > \xi_R$ , то перейти до п.7.
7	$x_R = \xi_R d$
8	$M_R = 0,8 x_R b f_{cd} (d - 0,4 x_R)$
9	$\varepsilon'_s = \varepsilon_{cu,3} (1 - c' / x_R)$
10	Якщо $\varepsilon'_s \leq f_{yd} / E_s$ то, $\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s$ , МПа; Якщо $\varepsilon'_s > f_{yd} / E_s$ , то $\sigma'_s = f_{yd}$ , МПа.
11	$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu,3} \left( \frac{d}{x_R} - 1 \right) \leq f_{yd} / E_s$
12	$\sigma_s = \varepsilon_s E_s$
13	$A'_s = (M - M_R) / (\sigma'_s (d - c'))$
14	$A_s = 0,8 x_R b (f_{cd} / \sigma_s) + A'_s (\sigma'_s / \sigma_s)$
15	$\rho_t = (A_s / b d) 100\%$
16	$\rho_{tot} = (A_s + A'_s) / b d$
17	Якщо $\rho_{min} < \rho_t$ і $\rho_{tot} \leq \rho_{max}$ , то конструюють переріз, в інших випадках необхідно змінити вихідні дані і перейти до п. 1.

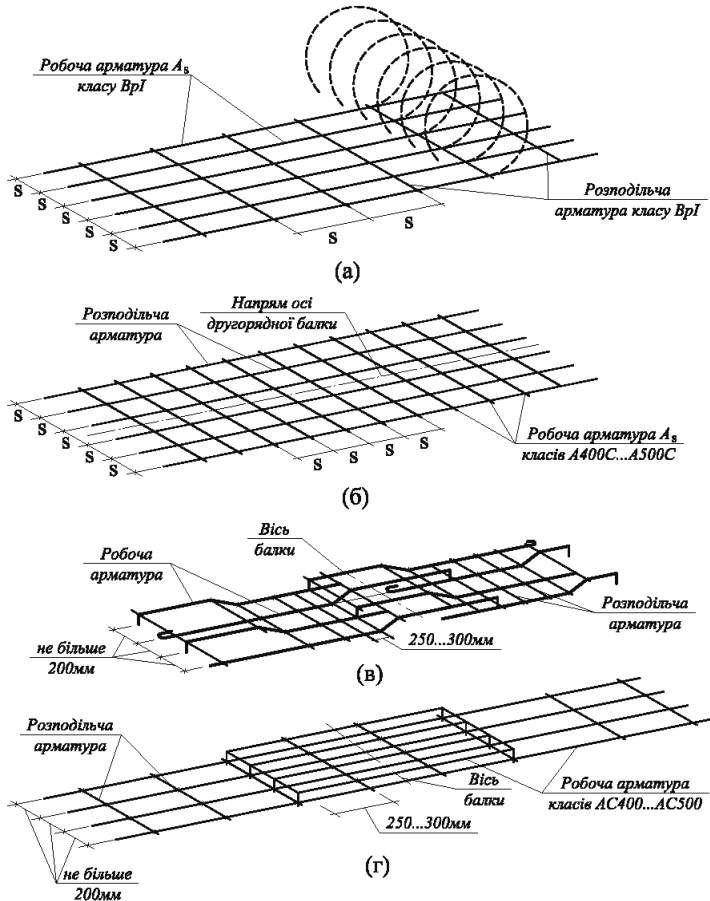


Рис. 5. Арматурні вироби для армування плит:

- (а) – рулонна сітка з робочими поздовжніми стержнями;
- (б) – плоска сітка із поперечними робочими стержнями;
- (в), (г) – в’язані сітки із окремих стержнів.

При роздільному армуванні окремими стержнями в місцях перетину стержні з’єднують в’язаним дротом. Принцип армування опорних зон плит наведено на рис. 6.

Приклад розрахунку та конструювання плити перекриття наведений у додатку Б.

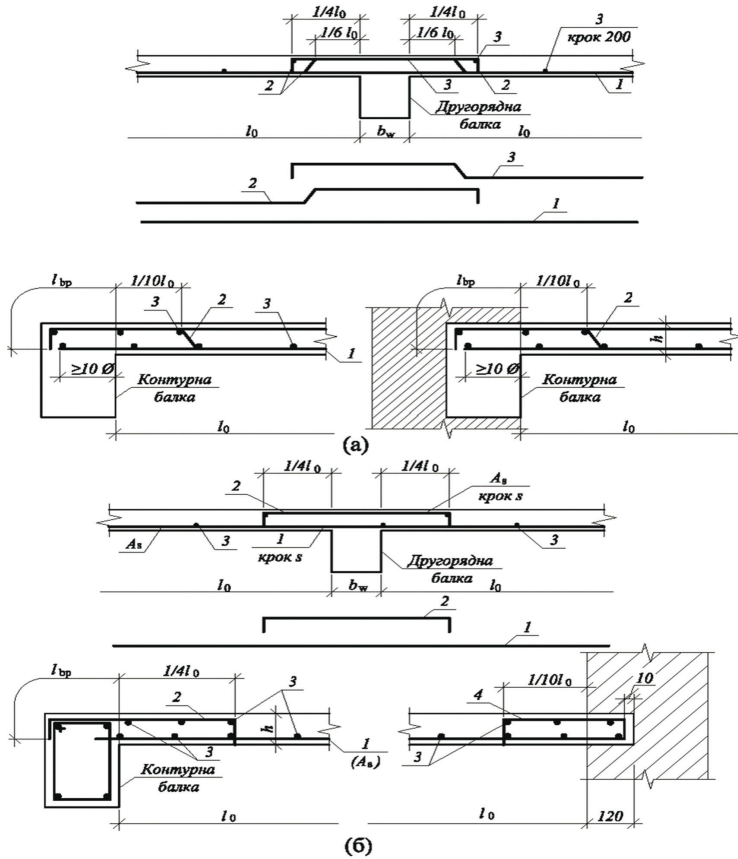


Рис. 6. Варіанти армування окремими стержнями на «вільних» і проміжних опорах:  
 1 – прольотна арматура, 2, 4, 5 – опорна арматура,  
 3 – конструктивна арматура