

РЕКОМЕНДАЦИИ

по проектированию железобетонных
монолитных каркасов с плоскими
перекрытиями

Зав. лабораторией теории железобетона
НИИЖБ Госстроя России

д. т. н., проф.



А.С. Залесов

Главный научный сотрудник

д.т.н., проф.



Е.А. Чистяков

Москва, 1993 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. Общие положения	
2. Расчет заменяющих рам	
2.1. Заменяющие рамы	
2.2. Нагрузки... ..	
2.3. Определение усилий в элементах заменяющих рам.....	
3. Расчет условного ригеля заменяющей рамы	
3.1. Общие положения	
3.2. Расчет условного ригеля по нормальным сечениям	
3.3. Расчет условного ригеля по наклонным сечениям	
3.4. Расчет поперечных балок условного ригеля по пространственным сечениям.....	
3.5. Расчет узла сопряжения условного ригеля с колонной	
3.6. Расчет условного ригеля по деформациям	
4. Расчет колонн заменяющих рам	
б. Особенности расчета каркасов при нерегулярном расположении отдельных колонн	
6. Указания по конструированию	
6.1. Общие положения	
6.2. Продольное армирование	
6.3. Поперечное армирование	
6.4. Отверстия	
6.5. Особенности конструирования при нерегулярном расположении отдельных колонн.....	
7. Дополнительные рекомендации при расчете каркаса с плоскими перекрытиями методом конечных элементов	
8. Дополнительные указания по расчету и конструированию	

1. Общие положения

1.1. Рекомендации распространяются на проектировании железобетонных монолитных каркасов, состоящих из колонн и жестко соединенных с ними плоских плит перекрытий, при ортогональной и регулярной (или близкой к ней) сетке колонн.

1.2. Расчет железобетонных монолитных каркасов с плоскими перекрытиями производится методом заменяющих рам согласно указаниям настоящих Рекомендаций.

1.3. Расчет элементов заменяющих рам по прочности, раскрытию трещин и деформациям, а также их конструирование, производится согласно Нормам проектирования бетонных и железобетонных конструкций и дополнительным указаниям настоящих Рекомендаций.

1.4. Расчетные характеристики материалов принимаются в соответствии с Нормами проектирования бетонных и железобетонных конструкций.

1.5. При составлении настоящих Рекомендаций использованы материалы норм проектирования железобетонных конструкций США, Англии, Франции, Европейского комитета по бетону, Руководство по проектированию безбалочных плит (Болгария), а также отечественные разработки по безригельным каркасам.

2. Расчет заменяющих рам

2.1. Заменяющие рамы

2.1.1. Заменяющие рамы образуются в двух взаимно перпендикулярных направлениях путем рассечения каркаса вертикальными плоскостями, проходящими параллельно осям колонн через середины смежных поперечных пролетов (внутренних и крайних). В результате заменяющие рамы получаются в виде ряда колонн,

соединенных условными ригелями, состоящими из полосы шириной, равной расстоянию между серединами двух поперечных пролетов, примыкающих к соответствующему ряду колонн (рис.1).

При наличии балок между колоннами заменяющей рамы в состав условного ригеля включаются также эти балки.

2.2. Нагрузки

2.2.1. Заменяющие рамы рассчитываются на действие вертикальной и горизонтальной нагрузок, значения которой принимаются в соответствии с Нормами по нагрузкам.

2.2.2. Вертикальная нагрузка располагается в пределах площади условного ригеля. При этом рассматривается наиболее неблагоприятное расположение нагрузки по пролетам заменяющей рамы.

2.2.3. Горизонтальная нагрузка передается на заменяющие рамы при рамной конструктивной схеме и на вертикальные элементы жесткости (диафрагмы, ядра жесткости и т.п.) при связевой конструктивной схеме.

2.3. Определение усилий в элементах заменяющих рам

2.3.1. Определение усилий, действующих в элементах заменяющих рам производится по общим правилам расчета рам как упругих систем.

2.3.2. Продольные и поперечные заменяющие рамы рассчитываются независимо друг от друга.

2.3.3. Расчет заменяющих рам производится как системы с жесткими узлами в местах соединения колонн с условными ригелями.

2.3.4. Жесткости при изгибе колонн и условных ригелей для расчета заменяющих рам определяются как для упругих бетонных элементов без трещин.

При расчете заменяющих рам на вертикальную нагрузку для определения жесткости условного ригеля учитывается полная ширина условного ригеля, а при расчете на горизонтальную нагрузку - половина ширины условного ригеля.

2.3.5. Для дальнейших расчетов принимается сумма усилий, полученных из расчета заменяющей рамы на действие вертикальной и горизонтальной нагрузок.

3. Расчет условного ригеля заменяющей рамы

3.1. Общие положения

3.1.1. Условный ригель заменяющей рамы должен быть рассчитан:

- по прочности и раскрытию трещин в опорных (проходящих по граням колонн) и пролетных (расположенных в пролете) нормальных сечениях;
- по прочности в приопорных наклонных сечениях;
- по прочности поперечных балок в пространственных сечениях;
- по прочности узла сопряжения ригеля с колонной;
- по деформациям.

3.2. Расчет условного ригеля по нормальным сечениям

3.2.1. Расчет условного ригеля по нормальным сечениям на действие изгибающих моментов производится по общим правилам расчета железобетонных конструкций с учетом ниже следующих указаний.

3.2.2. При расчете по нормальным сечениям условного ригеля заменяющей рамы рассматриваются, независимо друг от друга надколонные и средние полосы условного ригеля (рис.2).

Надколонная полоса условного ригеля средней заменяющей рамы включает участок плиты, состоящей в поперечном направлении из двух полуполос, расположенных по обеим сторонам оси заменяющей рамы, каждая из которых имеет ширину, равную $l_2/4$ при $l_1/l_2 \geq 1$ (l_1 – пролет условного ригеля вдоль заменяющей рамы; l_2 – расстояния между осями заменяющих рам – рассматриваемой и соседними с каждой стороны от ее оси) или $l_1/4$ при $l_1/l_2 < 1$ (рис. 2). Две надколонные полуполосы, примыкающие друг к другу образуют общую надколонную полосу.

В надколонной полосе условного ригеля крайней заменяющей рамы ширина одной из полуполос принимается равной расстоянию от края перекрытия до оси заменяющей рамы.

Средние полосы условного ригеля включают в себя остающиеся крайние участки по ширине условного ригеля с каждой стороны оси заменяющей рамы. Две средние полуполосы соседних условных ригелей, примыкающие друг к другу, образуют общую среднюю полосу плиты.

3.2.3. Моменты, действующие в опорных и пролетных сечениях условного ригеля распределяются между его надколонными и средними полосами в зависимости от расположения колонны в рам (крайняя колонна и промежуточная колонна), соотношения между поперечными l_2 и продольными (вдоль оси рамы) l_1 пролетам соотношения жесткостей на изгиб балок, расположенных между колоннами, и плиты условного ригеля – α для крайней опоры также от соотношений между жесткостью на кручение поперечных балок у крайней колонны и жесткостью на изгиб участка условного ригеля, примыкающего к крайней колонне – β .

Распределение изгибающих моментов, полученных из расчета заменяющей рамы, по ширине условного ригеля на две надколонные и две средние – полуполосы производится путем умножения общих моментов на коэффициенты распределения K_p , приведенные в таблице 1 (над чертой даны коэффициенты для надколонной полосы, под чертой – для средней полосы заменяющей рамы).

Значения коэффициентов распределения для промежуточных значений исходных параметров допускается определять по линейной интерполяции.

Моменты в надколонных и средних полуполосах условного ригеля M_H и M_C определяются по формуле

$$M_H (M_C) = M \cdot K_p \frac{l_{2,i}}{l_{2,1} + l_{2,2}}, \quad (I)$$

где M – момент, полученный из расчета заменяющей рамы;

K_p – коэффициент распределения по табл.1;

$l_{2,1}, l_{2,2}$ – расстояния между осями рассматриваемой заменяющей рамы и соседними с каждой ее стороны;

i – индекс, указывающий рассматриваемое расстояние l_2 ;
 $i = 1$ или 2 .

Значения коэффициента распределения K_p определяются в зависимости от величин α , l_2/l_1 и β .

α – коэффициент, равный отношению жесткостей на изгиб балки, расположенной между колоннами рассматриваемой заменяющей рамы и плиты в этом же пролете (при одинаковом бетоне в конструкции α – отношение моментов инерции);

Таблица I.

Коэффициенты распределения K_p

Расположение сечения	Условия опирания	Коэффициент ρ	l_2/l_1		
			0,5	1,0	2,0
Внутренние опоры	Без балок между колоннами	-	$\frac{0,75}{0,25}$	$\frac{0,75}{0,25}$	$\frac{0,75}{0,25}$
	$\alpha \cdot l_2/l_1 = 0$				
	С балками между колоннами	-	$\frac{0,90}{0,10}$	$\frac{0,75}{0,25}$	$\frac{0,45}{0,55}$
	$\alpha \cdot l_2/l_1 \geq 1,0$				
Внешние опоры	Без балок между колоннами	0	$\frac{1,0}{0,0}$	$\frac{1,0}{0,0}$	$\frac{1,0}{0,0}$
	$\alpha \cdot l_2/l_1 = 0$	2,5	$\frac{0,75}{0,25}$	$\frac{0,75}{0,25}$	$\frac{0,75}{0,25}$
	С балками между колоннами	0	$\frac{1,0}{0,0}$	$\frac{1,0}{0,0}$	$\frac{1,0}{0,0}$
	$\alpha \cdot l_2/l_1 \geq 1$	2,5	$\frac{0,90}{0,1}$	$\frac{0,75}{0,25}$	$\frac{0,45}{0,55}$
Пролеты	Без балок между опорами	-	$\frac{0,60}{0,40}$	$\frac{0,60}{0,40}$	$\frac{0,60}{0,40}$
	$\alpha \cdot l_2/l_1 = 0$				
	С балками между опорами	-	$\frac{0,90}{0,1}$	$\frac{0,75}{0,25}$	$\frac{0,45}{0,55}$
	$\alpha \cdot l_2/l_1 \geq 1$				

$$\alpha = \frac{J_s}{J_n}, \quad (2)$$

где J_s — момент инерции на изгиб балки условного ригеля;

$$J_s = \frac{b_s \cdot h_s^3}{12}, \quad (3)$$

b_s и h_s — ширина и высота балки;

- момент инерции на изгиб плиты условного ригеля

$$J_n = \frac{b_n \cdot h_n^3}{12}, \quad (4)$$

b_n и h_n - ширина и высота плиты;

β - коэффициент, равный отношению жесткости на кручение поперечных балок, расположенных между крайними колоннами рассматриваемой и соседних рам, и жесткости на изгиб плиты в продольном направлении рассматриваемой заменяющей рамы (при одинаковом бетоне в конструкции β - соотношение моментов инерции).

$$\beta = \frac{J_{t\delta}}{2J_n}, \quad (5)$$

где $J_{t\delta}$ - момент инерции на кручение сечения поперечной балки, расположенной между крайними колоннами рассматриваемой и соседних заменяющих рам.

$$J_{t\delta} = \left(1 - 0,63 \frac{b_\delta}{h_\delta} \right) \frac{b_\delta^3 \cdot h_\delta}{3}, \quad (6)$$

где h_δ - больший размер сечения балки;

b_δ - меньший размер сечения балки.

Жесткость балки на изгиб $E_b I_b$ и $\frac{E_b I_{t\delta}}{2}$ кручение,

допускается определять,

рассматривая

прямоугольное сечение шириной, равной ширине сечения балки, и высотой, равной высоте сечения от низа балки до верха плиты.

Жесткость плиты на изгиб $E_b I_b$ допускается определять, рассматривая прямоугольное сечение, шириной, равной ширине условного ригеля за вычетом ширины сечения балки, к высотой, равной толщине плиты.

3.2.4. Расчет нормального сечения надколонной полосы производится на действие суммы изгибающих моментов, распределенных на две надколонные полуполосы.

Расчет нормального сечения общей средней полосы производится на действие суммы моментов, распределенных на две смежные средние полуполосы условных ригелей соседних заменяющих составляющие общую среднюю полосу.

3.2.5. При наличии в надколонной полосе балок между колоннами вдоль оси условного ригеля изгибающий момент в надколонной полосе распределяется между балкой и плитой в зависимости от соотношения жесткостей на изгиб балки и плиты и соотношения размеров поперечного и продольного (вдоль оси условного ригеля) пролетов.

Значение момента, приходящегося на балку, определяется линейной интерполяцией в пределах от $M_s = 0$ при $\alpha \cdot l_2 / l_1 = 0$ до $M_s = 0,85 M_k$ при $\alpha \cdot l_2 / l_1 \geq 1$.

Балка и плита надколонной полосы рассчитываются отдельно на приходящиеся на них моменты.

3.3. Расчет условного ригеля по наклонным сечениям

3.3.1. Расчет условного ригеля по наклонным сечениям на действие поперечных сил производится по общим правилам расчета железобетонных конструкций с учетом ниже следующих указаний.

3.3.2. Расчет плиты условного ригеля на действие поперечных сил производится отдельно для надколоной и средней полос. При этом разделение плиты на надколонную и среднюю полосу и распределение поперечных сил между надколонной и средними полосами производится аналогично правилам, принятым для расчета по нормальным сечениям на действие изгибающего момента.

3.5. Расчет узлового соединения плоской плиты условного ригеля с колоннами

3.5.1. Расчет узлового соединения плоской плиты условного ригеля с колонной производится на изгиб и на срез (продавливание).

3.5.2. Расчет узлового соединения на изгиб на действие изгибающего момента M производится по нормальному сечению, располагающемуся по грани колонны с эффективной шириной b_{ef} из условия

$$M_f \leq M_{ult}, \quad (7)$$

где M_{ult} - предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением плиты с эффективной шириной b_{ef} , определяемой по общим правилам расчета железобетонных конструкций.

Значение изгибающего момента M_f определяется по формуле

$$M_f = \gamma_f \cdot M, \quad (8)$$

где M - изгибающий момент, действующий в узловом соединении плиты и колонны, численно равный суммарному изгибающему моменту в опорных сечениях колонн, примыкающих к плите условного ригеля, определяемый из расчета заменяющей рамы на действие внешних нагрузок;

γ_f - коэффициент, определяющий долю изгибающего момента M , действующего в узловом соединении и воспринимаемого плитой условного ригеля за счет ее сопротивления изгибу. Значение коэффициента γ_f определяется по формуле

$$\gamma_f = \frac{I}{I + \frac{2}{3} \sqrt{b_1 / \kappa b_2}} \geq 0,5 \quad (9)$$

3.3.3. При наличии в надколонной полосе балок между колоннами вдоль оси условного ригеля расчет на действие поперечных сил производится отдельно для балки и для плиты надколонной полосы, при этом распределение поперечных сил между балкой и плитой производится аналогично правилам, принятым для расчета по нормальным сечениям на действие изгибающего момента.

3.4. Расчет поперечных балок условных ригелей по пространственным сечениям

3.4.1. Расчет поперечных балок условных ригелей, расположенных по крайнему ряду колонн по пространственным сечениям на действие крутящих моментов производится по общим правилам расчета железобетонных конструкций с учетом ниже следующих указаний.

3.4.2. Значение крутящего момента, действующего на длине поперечной балки между колоннами двух смежных заменяющих рам, принимается равным половине значения изгибающего опорного момента, действующего в пределах общей средней полосы этих заменяющих рам.

3.4.3. Расчет поперечных балок по пространственным сечениям производится на совместное действие указанных выше крутящих моментов и изгибающих моментов и поперечных сил, полученных из расчета условного ригеля крайней заменяющей рамы, расположенного вдоль оси рассматриваемой балки.

3.4.4. Расчетное поперечное сечение балки принимается согласно указаниям п.3.2.3.

b_1 - ширина критического сечения в направлении действия момента;

b_2 - ширина критического сечения в перпендикулярном направлении;

k - коэффициент, принимаемый равным:

1,0 - для средней и крайней колонн при действии момента перпендикулярно краю плиты (рис.3 а,б);

2,0 - для угловой и крайней колонн при действии момента параллельно краю плиты (рис.3 в,г).

Критическое вертикальное сечение располагается вокруг колонны на расстоянии, равном $h_0/2$ от граней колонны (h_0 - рабочая высота сечения плиты) (рис.3).

Эффективная ширина плиты условного ригеля определяется следующим образом.

Для средней и крайней колонн при действии момента, перпендикулярного краю плиты (рис.3 а,б)

$$b_{ef} = b_1 + b_2 \quad (10)$$

Для угловой и крайней колонн при действии момента, параллельного края плиты (рис.3 в,г)

$$b_{ef} = b_1 + 0,5b_2.$$

Арматура, требующаяся по расчету из условия (7) должна располагаться в пределах эффективной ширины условного ригеля.

3.5.3. Расчет узлового соединения плоской плиты условного Ригеля с колонной на срез (рис. 4) в общем виде производится из условия

$$M_{sh} + N_{sh} \cdot Z_N \leq R_{ft} \cdot h_0 \cdot U_{a1} \cdot Z_{a1} + R_{ft} \cdot h_0 \cdot U_{a2} \cdot Z_{a2} + \\ + \sum R_{sw} \cdot A_{sw1} \cdot Z_{sw1} + \sum R_{sw} \cdot A_{sw2} \cdot Z_{sw2}, \quad (12)$$

где N_{sh} - нормальная сила, действующая на плиту в места ее соединения с колонной;

M_{sh} - доля изгибающего момента, действующего в узловом соединении, воспринимаемая плитой условного ригеля за счет ее сопротивления срезу;

Z_N - расстояние от точки приложения нормальной силы до нулевой линии в критическом сечении, где напряжения среза меняют знак;

$U_{\delta 1}$ - периметр части критического сечения, в которой действуют напряжения среза от нормальной силы и момента, направленные в одну сторону (часть периметра по одну сторону от нулевой линии);

$U_{\delta 2}$ - периметр остальной части критического сечения, в которой действуют напряжения среза от нормальной силы и момента, направленные в противоположную сторону (часть периметра по другую сторону нулевой линии);

$Z_{\delta 1}$ - расстояние от центра тяжести части критического сечения с периметром $U_{\delta 1}$ до нулевой линии;

$Z_{\delta 2}$ - расстояние от центра тяжести части критического сечения с периметром $U_{\delta 2}$ до нулевой линии;

$\sum A_{sw1}$ - площадь сечения поперечной арматуры, расположенной по периметру $U_{\delta 1}$ части критического сечения на расстоянии $h_0/2$ по обе стороны критического сечения;

Z_{sw1} - расстояние от центра тяжести арматуры A_{sw1} до нулевой линии;

$\sum A_{sw2}$ - площадь сечения поперечной арматуры, расположенной по периметру $U_{\delta 2}$ части критического сечения на расстоянии $h_0/2$ по обе стороны критического сечения;

Z_{sw2} - расстояние от центра тяжести арматуры A_{sw2} нулевой линии.

Положение нулевой линии в критическом сечении определяется из уравнения

$$N_{sh} = R_{bt} h_0 (u_{f1} - u_{f2}) + \sum R_{sw} \cdot A_{sw1} - \sum R_{sw} \cdot A_{sw2}. \quad (13)$$

При наличии отверстия вблизи критического сечения влияние их учитывается путем удаления части периметра критического сечения, равной радиальной проекции отверстия на контур критического сечения (рис.5).

Центр тяжести критического сечения (или его частей) определяется по общим правилам, рассматривая контур критического сечения как рамку толщиной h_0 .

Значение момента M_{sh} в формуле (12) принимается равным

$$M_{sh} = \gamma_{sh} \cdot M, \quad (14)$$

где M - см. формулу (8);

γ_{sh} - коэффициент, определяющий долю изгибающего момента M , действующего в узловом соединении плиты и колонны, и воспринимаемого плитой условного ригеля за счет ее сопротивления срезу,

$$\gamma_{sh} = 1 - \gamma_f, \quad (15)$$

где γ_f - коэффициент, определяемый по формуле (9).

Значение нормальной силы N_{sh} в формулах (12) и (13) принимается равным

$$N_{sh} = N_1 - N_2, \quad (16)$$

где

N_1 - продольная сила, действующая в нижней колонне;

N_2 - продольная сила, действующая в верхней колонне.

3.5.4. При отсутствии поперечной арматуры в плите расчет узлового соединения на срез производится из условия

$$M_{sh} + N_{sh} \cdot z_N \leq R_{ft} h_0 \cdot u_{\delta 1} \cdot z_{\delta 1} + R_{ft} h_0 \cdot u_{\delta 2} \cdot z_{\delta 2} \quad (17)$$

Положение нулевой линии определяется по формуле

$$N_{sh} = R_{ft} h_0 (u_{\delta 1} - u_{\delta 2}), \quad (18)$$

При замкнутой прямоугольной форме критического сечения и при отсутствии поперечной арматуры расстояние X_I от нулевой линии до края критического сечения с периметром $u_{\delta 1}$ определяется по формуле

$$x_1 = \frac{N_{sh} + R_{ft} \cdot h_0 (c_1 + h_0)}{2 R_{ft} \cdot h_0}, \quad (19)$$

где c_I - размер колонны в направлении действия момента M_{sh}

3.5.5. При отсутствии момента, действующего на плиту, расчет узлового соединения на срез производится из условия

$$N_{sh} \leq R_{ft} \cdot h_0 \cdot u_{\delta} + \sum R_{sw} \cdot A_{sw}, \quad (20)$$

где u_{δ} - периметр критического сечения;

$\sum A_{sw}$ - площадь сечения всей поперечной арматуры, расположенной по периметру u_{δ} на расстоянии $h_0/2$ по обе стороны критического сечения. При отсутствии также поперечной арматуры расчет производится из условия

$$N_{sh} \leq R_{ft} \cdot h_0 \cdot u_{\delta}. \quad (21)$$

3.6. Расчет условного ригеля по деформациям

3.6.1. Расчет условного ригеля по деформациям производится

как линейной системы на действие изгибающих моментов, полученных

из расчета заменяющих рам, по общим правилам расчета железобетонных конструкций с учетом ниже следующих указаний.

3.6.2. При расчете по деформациям рассматривается полное поперечное сечение условного ригеля, включающее всю продольную арматуру, расположенную в пределах расчетного поперечного сечения.

4. Расчет колонн заменяющих рам

4.1. Колонны должны быть рассчитаны:

- по прочности в нормальных опорных сечениях, проходящих по граням плит перекрытий;
- по прочности в наклонных приопорных сечениях.

4.2. Расчет колонн на нормальные сечения на действие изгибающих моментов и продольных сил, а также по наклонным сечениям на действие поперечных сил, производится по общим правилам расчета железобетонных элементов.

5. Особенности расчета каркасов при нерегулярном расположении отдельных колонн

5.1. При нерегулярном расположении отдельных колонн в общем случае рекомендуется рассматривать регулярную систему рам с взаимно перпендикулярными осевыми линиями, проходящими через центр всех колонн. При этом в точках пересечения осевых линий, где колонны отсутствуют, принимается условная (фиктивная) упруго-податливая опора, податливость которой характеризуется прогибом условного ригеля заменяющей рамы в направлении, перпендикулярном рассматриваемому. Расчет заменяющих рам в этом случае производится по общим правилам расчета рам с дополнительными упруго-податливыми опорами.

5.2. При смещении центра отдельной колонны относительно оси заменяющей рамы, выделенной согласно раздела 3 настоящих Рекомендаций как для регулярной системы расположения колонн, и более чем на 10% (по отношению к расстоянию между осями двух соседних заменяющих рам) допускается принимать положение этой колонны по оси заменяющей рамы и расчет производить как для регулярной системы.

5.3. При смещении центра колонны относительно рассматриваемой оси заменяющей рамы до 32% допускается принимать положение этой колонны на оси заменяющей рамы, но с условно увеличенным расстоянием (пролетом) по оси рамы до соседней колонны рассматриваемой заменяющей рамы, равным фактическому расстоянию между этими колоннами (рис.6).

Формирование условных ригелей производится по линиям, проходящим по середине фактических поперечных пролетов (рис.6). Соответственно формируются надколонные и средние полосы.

При определении коэффициентов распределения момента между надколонными и средними полуполосами для участка ригеля, на которые влияет смещение колонны, соотношение между поперечными и продольными пролетами принимается с учетом фактического расположения колонны.

5.4. При наличии дополнительных колонн, расположенных между крайними колоннами рассматриваемых заменяющих рам (рис.7), допускается учитывать влияние этих дополнительных колонн путем увеличения жесткости на изгиб основных крайних колонн заменяющих рам, распределяя жесткости промежуточных крайних колонн между соседними основными колоннами заменяющих рам обратно пропорционально расстояниям между промежуточными и основными крайними колоннами. При этом расчетная ширина условного ригеля заменяющих рам принимается по общим правилам независимо от наличия дополнительных промежуточных крайних колонн.

Жесткости на изгиб для колонн, учитываемые в расчете заменяющих рам, принимаются равными

$$(E_b \cdot Y)_i = E_b \cdot Y_i + E_b \cdot Y'_{i-1} + E_b \cdot Y'_{i+1}, \quad (22)$$

где i – номер оси заменяющей рамы и номер соответствующей ей основной колонны;

Y_i – момент инерции сечения i -ой колонны;

$i+1, i-1$ – номер соседних дополнительных колонн;

Y'_{i+1}, Y'_{i-1} – части значений моментов инерции соответствующих соседних дополнительных колонн, распределяемые на основную i -ую колонну.

Значения Y'_{i+1} и Y'_{i-1} определяются по формулам

$$Y'_{i+1} = Y_{i+1} \frac{l_2 - l_2''}{l_2}, \quad (23)$$

$$Y'_{i-1} = Y_{i-1} \frac{l_2 - l_2'}{l_2}, \quad (24)$$

где Y_{i+1}, Y_{i-1} – моменты инерции соседних дополнительных колонн;

l_2', l_2'' – расстояния от основной i -ой колонны до соседних дополнительных $i-1$ и $i+1$ колонн;

l_2 – расстояние между основными колоннами.

Опорные изгибающие моменты по внутренним колоннам и пролетные изгибающие моменты, найденные из расчета заменяющих рам, распределяются по общим правилам в пределах принятой расчетной ширины условного ригеля (по надколонным и средним полосам).

Опорные моменты по крайним опорам, получаемые из расчета, заменяющих рам, распределяются между основными и промежуточными колоннами пропорционально учитываемым жесткостям.

Изгибающие опорные моменты, приходящиеся на крайние колес заменяющих рам, на рис.2 принимаются равными

$$M_{i-1} = M_{\Sigma i} \frac{y'_{i-1}}{y'_{i-1} + y'_i + y'_{i+1}}, \quad (25)$$

$$M_i = M_{\Sigma i} \frac{y_i}{y'_{i-1} + y_i + y'_{i+1}}, \quad (26)$$

$$M_{i+1} = M_{\Sigma i} \frac{y'_{i+1}}{y'_{i-1} + y_i + y'_{i+1}}, \quad (27)$$

где $M_{\Sigma i}$ — опорный изгибающий момент по крайним колоннам из расчета i -ой заменяющей рамы;

M_{i-1}, M_{i+1} — изгибающие моменты, действующие на колонны $i-1$ и $i+1$ от нагрузки на i -ую заменяющую раму;

M_i — то же, на основную i -ую колонну.

Изгибающие моменты, вычисленные по формулам (25)...(27), распределены в пределах участков полос, примыкающих к крайнему ряду колонн, и выделенных линиями, проходящими по серединам расстояний между основными и промежуточными колоннами (рис.7).

Эти участки, являющиеся концевыми фрагментами условных ригелей заменяющих рам по сечениям колонн, разделяются на надколонные (по основным и промежуточным колоннам) и средние полосы согласно общим правилам разделения полос.

Изгибающие опорные моменты вычисленные по формулам (25)...(27), распространяются с помощью коэффициентов распределения K_p (табл. I) на указанные надколонные и соседние полуполосы по общим правилам распределения моментов по полуполосам.

При определении коэффициента $\propto l_2/l_1$ в таблице I значение l_1 принимается равным пролету вдоль оси заменяющей рамы, а l_2 — соответствующим поперечным пролетам между колоннами (включая основные и промежуточные).

Расчет общей средней полосы между основными и промежуточными колониями, а также расчет единой надколонной полосы производится на сумму моментов в соответствующих полуполосах.

5.5. При наличии двух соседних параллельных заменяющих рам, имеющих разные по длине пролеты между колонной (рис.8), влияние неравномерного деформирования в общей средней полосе между радами допускается учитывать, принимая пролетные и опорные моменты в этой полосе на участке, где рамы имеют разные пролеты, равными соответственно сумме пролетных или опорных моментов, действующих в средних полуполосах соседних заменяющих рам с соответствующими пролетами, и распространяя эти моменты на всю ширину общей средней полосы.

Опорные и пролетные моменты в общей средней полосе принимаются равными:

- опорные моменты в сечениях по осям I и 5

$$M'_{оп} = M''_{оп} + M_{оп} ; \quad (28)$$

- пролетные моменты в сечении по осям 2, 3 и 4

$$M'_{пр} = M''_{пр} + M_{пр} . \quad (29)$$

В формулах (28) и (29):

$M'_{оп}$ и $M''_{оп}$ - опорные моменты в сечениях по осям I и 5 в средних полуполосах соседних заменяющих рам;

$M'_{пр}$ и $M''_{пр}$ - пролетные моменты в сечениях по осям 2(4) и 3 в средних полуполосах соседних заменяющих рам.

Опорный момент в сечении по оси 3 принимается равным опор-ному моменту в средней полуполосе заменяющей рамы с часторасположенными колоннами и относится только к ширине этой полуполосы.

5.6. При смещении центров крайних колонн от оси заменяющей рамы (рис.9) допускается рассматривать эту раму с условной крайней колонной, расположенной на оси заменяющей рамы с увеличенным пролетом, равным фактическому расстоянию между основной средней колонной до ближайшей крайней смещенной колонны. В этом случае заменяющая рама, рассматривается как система, с дополнительными крайними колоннами, расположенными между крайними основными условными колоннами, согласно п.5.4 настоящих рекомендаций.

При этом жесткость на изгиб условных колонн формируется из жесткости промежуточных (смещенных от оси заменяющей рамы) колонн распределяемой между основными колоннами обратно пропорционально расстояниям между промежуточными и основными крайними колоннами. Жесткости на изгиб крайних колонн, учитываемых в расчете заменяющих рам, принимаются равными

$$(E_b J)_i = E_b J'_{i-1} + E_b J'_{i-2} + E_b J'_{i+1} + E_b J'_{i+2}, \quad (30)$$

где i - номер оси заменяющей рамы и номер соответствующей ей основной условной колонны;

$i-2 \dots i+2$ - номера соседних промежуточных колонн;

$J'_{i-2} \dots J'_{i+2}$ - части значений моментов инерции соответствующих соседних промежуточных колонн, распределяемые на основную i -ю условную колонну.

Значения $J_{i-2}, J_{i-1}, J_{i+1}, J_{i+2}$ определяются по формулам

$$J'_{i-2} = J_{i-2} \frac{l_2 - (l'_2 + l''_2)}{l_2}; \quad (31)$$

$$J'_{i-1} = J_{i-1} \frac{l_2 - l'_2}{l_2}; \quad (32)$$

$$J'_{i+1} = J_{i+1} \frac{l_2 - l''_2}{l_2}; \quad (33)$$

$$y'_{i+1} = y_{i+1} \cdot \frac{l_2 - (\bar{l}_2'' + l_2''')}{l_2}, \quad (34)$$

где $y_{i-2} \dots y_{i+2}$ – моменты инерции промежуточных колонн, расположенных между осями соседних с рассматриваемой заменяющих рам;

$(l_2' + l_2''), l_2', l_2''', (l_2'' + l_2''')$ – расстояния от оси i -ой заменяющей рамы до соответствующих промежуточных $(i-2) \dots (i+2)$ колонн; l_2 – расстояние между основными колоннами.

Опорные изгибающие моменты по внутренним колоннам и пролетные изгибающие моменты, найденные из расчета заменяющих рам, распределяются в пределах принятой расчетной ширины условного ригеля по общим правилам.

Опорные изгибающие моменты по крайним опорам, получаемые из расчета заменяющих рам, распределяются между промежуточными колоннами пропорционально учитываемым жесткостям по аналогичным формулам (25) .. (27). Эти изгибающие моменты распределяются в пределах участков полос, примыкающих к крайнему ряду колонн, и выделенных линиями, проходящими по серединам расстояний между всеми фактическими колоннами (рис.9). Распределение изгибающих моментов в пределах этих участков, являющихся концевыми фрагментами условных ригелей заменяющих рам, отвечающих каждой промежуточной колонне, производится по общим правилам аналогии с указаниями п.5.4.

5.7. При наличии большого отверстия в пределах участка, ограниченного осями смежных заменяющих рам, идущих во взаимно перпендикулярных направлениях которое не пересекает полностью надколонную полосу (отверстие расположено по одну сторону оси заменяющей рамы), в статическом расчете заменяющей рамы не учитываются части плиты условного, ригеля, примыкающие к отверстию и расположенные в пределах указанного выше участка (рис.10). При этом нагрузка, приходящаяся на эти неучитываемые части плиты, должна приниматься во внимание при расчете заменяющей рамы.

Формирование заменяющих рам, надколонных и средних полос условных ригелей производится по общим правилам.

В тех случаях, когда большое отверстие по контуру поддерживается специальными колоннами, они могут быть включены в расчетную заменяющую раму при выполнении условий п.5.3, а также если ближайший край отверстия расположен от рассматриваемой оси заменяющей рамы на большем расстоянии, чем поддерживающие колонны (рис.10, заменяющая рама по оси X).

Для заменяющих рам с неполной шириной условного ригеля распределение изгибающих опорных моментов на надколонные и средние полуполосы условного ригеля в сечениях по осям колонн, к которым примыкает указанный выше участок с отверстием, производится:

- для непрерывной части условного ригеля, расположенной по одну сторону оси рассматриваемой заменяющей рамы, с использованием коэффициентов распределения как для внутренней опоры;

- для части условного ригеля, заканчивающейся в этом сечении и расположенной по другую сторону оси рассматриваемой заменяющей рамы, с использованием коэффициентов распределения как для крайней опоры.

При наличии отдельных колонн, смещенных относительно основной оси заменяющей рамы, расположенной у отверстия, формирование этой заменяющей рамы производится в соответствии с п.5.3.

5.8. При отсутствии колонны в месте пересечения осей двух взаимно перпендикулярных заменяющих рам (рис.II) допускается применять в месте пересечения этих рам условную шарнирную опору. При этом опорные (отрицательные) изгибающие моменты в месте расположения условной опоры определяются из расчета заменяющей рамы с условной опорой (рис.IIб) а пролетные изгибающие моменты – из расчета заменяющей рамы с той же опорой, но с увеличенными смежными пролетами, равными расстоянию между ближайшими колоннами

пересекающихся рам (рис. IIв).

Кроме того, в местах расположения условной опоры производится дополнительный расчет на действие положительного изгибающего момента, равного среднему значению пролетных изгибающих моментов в смежных пролетах. Найденные изгибающие моменты (положительный и отрицательный) в месте расположения условной опоры распределяются по соответствующей ширине условного ригеля (без деления на средние и надколонные полосы).

В том случае, если расстояние от точки пересечения осей двух перпендикулярных заменяющих рам (без колонны) до оси колонны соседней рамы больше расстояния от указанной точки до оси ближайшей колонны рассматриваемой заменяющей рамы, расчет этой рамы производится без учета условной опоры.

6.9. В тех случаях, когда заменяющие рамы имеют в пределах одного температурного блока каркаса различное количество пролетов (в зависимости от конфигурации здания в плане), на горизонтальную нагрузку, принимая во внимание работу жесткого диска перекрытия, рассчитывается единая условная рама, состоящая из отдельных заменяющих рам одного направления, входящих в рассматриваемый температурный блок, последовательно шарнирно соединенных между собой в уровне условного ригеля. Горизонтальная нагрузка для такой условной рамы принимается равной всей нагрузке, действующей в пределах температурного блока каркаса.

6. Указания по конструированию

6.1. Общие положения

6.1.1. Для монолитного каркаса принимается тяжелый бетон класса не ниже В20.

6.1.2. В качестве рабочей арматуры используется горячекатаная арматурная сталь класса А-Ш.

6.1.3. Толщина монолитных плит принимается не менее 200 мм.

6.2. Продольное армирование

6.2.1. Продольная арматура, получаемая из расчета нормальных сечений плиты на действие изгибающих моментов, устанавливается равномерно в пределах ширины рассматриваемой надколонной и средней полос.

6.2.2. Продольная арматура, получаемая из расчета узла сопряжения плиты условного ригеля с колонной на изгиб, располагается сосредоточенно у колонны в пределах эффективной ширины плиты симметрично относительно оси заменяющей рамы.

6.2.3. Продольную пролетную арматуру следует распространять по всей длине пролета и заводить за оси, ограничивающий пролет, на длину не менее 5 диаметров стержней и не менее 100 мм (рис. 12).

6.2.4. Продольную опорную арматуру на промежуточных (внутренних) опорах следует заводить в пролет на длину в соответствии с расчетом и не менее 0,3 длины пролета между ограничивающими его осями (рис.12).

6.2.5. Продольная опорная арматура на крайних (внешних) опорах должна иметь анкеровку, обеспечивающую восприятие арматурой опорных моментов путем заведения ее за ось опоры на длину анкеровки или загибом арматуры в соответствии с общими правилами анкеровки арматуры.

Опорная арматура, пересекающая колонну, анкеруется в теле (рис. 13а) колонны. Опорная арматура, пересекающая крайнюю поперечную балку, анкеруется в теле балки (рис.13б).

При отсутствии на краю плиты поперечной балки опорная арматура анкеруется у внешнего края плиты. (рис.13в)

6.2.6. При возникновении положительного изгибающего момента на опорах продольная арматура, воспринимающая этот момент, устанавливается в соответствии с требованиями, предъявляемыми к опорной продольной арматуре.

6.2.7. Продольная арматура в балках, расположенных между колоннами, устанавливается с учетом указанных выше рекомендаций.

6.2.8. Расстояние между стержнями продольной арматуры принимается не более 200 мм.

6.3. Поперечное армирование

6.3.1. В зоне узла сопряжения плиты с колонной, в том случае, если требования расчета на срез (продавливание) плиты без

поперечной арматуры не удовлетворяется, должна устанавливаться поперечная арматура.

6.3.2. Поперечную арматуру в узле сопряжения плиты с колонной рекомендуется выполнять в виде крестообразного расположенных каркасов с вертикальными хомутами, пересекающих колонну и устанавливаемых между стержнями продольной арматуры колонны (рис.1)

Расстояния от конца каркаса до грани колонны принимаются таким образом, чтобы в критическом сечении, расположенном на расстоянии $h/2$ от края каркаса, прочность на срез (продавливание) была обеспечена только за счет бетона без поперечной арматуры.

Расстояние между хомутами принимается не более $1/3$ толщины плиты и не более 200 мм.

В каркасах должна быть обеспечена анкеровка хомутов с помощью сварки с продольной арматурой каркаса или путем загиба во-круг продольной арматуры каркаса с крюками на концах.

6.3.3. В балках, располагаемых между колоннами по краю плиты и рассчитываемых на кручение, должны быть предусмотрены замкнутые по контуру хомуты.

6.3.4. При отсутствии балок, расположенных по краю плиты, свободные края плиты должны иметь хомуты, огибающие свободную грань плиты (рис.13в).

6.4. Отверстия

6.4.1. В средней полосе допускается устройство отверстий любого размера, в надколонной полосе - не более $1/8$ ширины этой полосы, на общей площади надколонной и средней полосы - не более $1/4$ общей ширины этих полос.

6.4.2. По сторонам отверстия должна быть установлена арматура, эквивалентная той, которая должна находиться в пределах отверстия.

6.4.3. При наличии отверстий с размерами, превышающими указанные, отверстия должны быть окаймлены балками, а также предусмотрены дополнительные колонны у отверстий, что должно быть учтено при построении конструктивной и расчетной схемы заменяющих рам.

6.5. Особенности конструирования при нерегулярном расположении отдельных колонн

6.5.1. Армирование плит при нерегулярном расположении отдельных колонн производится по общим правилам согласно п.6.2 (длина арматурных стержней, распределение арматуры) с учетом следующих требований.

6.5.2. Продольная надопорная и пролетная арматура в надколонной полосе условного ригеля заменяющей рамы, в которой отдельные колонны смещены от ее общей оси. (рис.6) должна устанавливаться в пределах полосы, по ширине ограниченной двумя линиями, параллельными общей оси расчетной заменяющей рамы, расположенными в смежных поперечных пролетах и проходящими: первая – по одну сторону от фактического расположения оси смещенной колонны на расстоянии, равном ширине надколонной полуполосы в опорном сечении смещенной колонны, и вторая – по другую сторону от оси соседней (регулярной) колонны рассматриваемой заменяющей рамы на расстоянии, равном ширине надколонной полуполосы в опорном сечении этой колонны.

Продольная надопорная и пролетная арматура общей средней полосы условных ригелей смежных заменяющих рам со смещенной колонной должна устанавливаться на оставшейся части плиты в пределах полосы по ширине ограниченной линиями, параллельными осям заменяющих рам, расположенными между осями и проходящими

на расстояниях, равных ширине надколонных полуполос.

Продольная арматура в указанных полосах распределения устанавливается таким образом, чтобы процент армирования этих полос был таким же как вычисленный при расчете надколонной и средней полос.

6.5.3. При наличии дополнительных крайних колонн, расположенных между основными колоннами заменяющих рам (рис.7), надопорная арматура, направленная перпендикулярно краю плиты и относящаяся к дополнительным колоннам, располагается аналогично опорной арматуре основных колонн.

6.5.4. При наличии в заменяющих рамах разных пролетов (рис.8) продольная арматура в общей средней полосе устанавливается по общим правилам независимо от расположения промежуточных колонн крайней заменяющей рамы.

7. дополнительные рекомендации при расчете каркаса с плоскими перекрытиями методом конечных элементов

7.1. Перекрытие в плане разделяется линиями, располагающимися по граням колонн, на части, включающие колонны, межколонные полосы и панели, расположенные между межколонными полосами.

При различном соотношении размеров колонн и различной их ориентации вдоль межколонной полосы допускается принимать одинаковые квадратные колонны вдоль полосы с осредненной площадью поперечного сечения.

7.2. Панели перекрытия разделяются на отдельные прямоугольные элементы таким образом, чтобы размер элемента панели в том и другом направлении составлял не более $1/6$ соответствующего размера панели.

Межколонные полосы разделяются на элементы по длине полосы таким образом, чтобы размеры этих элементов совпадали с соответствующими размерами элементов панелей.

Рекомендуется, чтобы размеры одного элемента отличались не более чем в 2 раза, а размеры разных элементов отличались не более чем в три раза друг от друга.

7.3. Разделение перекрытия на отдельные части, которые рассчитываются самостоятельно, производится по линиям, проходящим по середине внутренних пролетов, расположенных от края плиты перекрытия на расстоянии не менее двух пролетов. При этом в качестве граничного условия принимается жесткое защемление края рассчитываемой части перекрытия по линии разделения при угле поворота, равном нулю.

7.4. При наличии в пределах межколонной полосы балок характеристики элементов межколонной полосы определяются с учетом жесткости балок.

7.5. Расчет каркаса методом конечных элементов производится дополнительно к расчету методом заменяющих рам с целью уточнения распределения моментов в плитах перекрытий при нерегулярном расположении отдельных колонн.

На основании совместного анализа результатов расчета методами заменяющих рам и конечных элементов устанавливается окончательное распределение моментов в плитах перекрытий. По принятому распределению моментов производится расчет сечений и подбор арматуры. При этом распределение моментов и арматуры принимается осреднен равномерным по полосам плиты.

7.6. Расчет узлов сопряжения плиты с колоннами на изгиб и срез (продавливание) производится по единой методике, указанной выше в разделе 3.5. независимо от использования общего метода заменяющих рам или метода конечных элементов.

8. Дополнительные указания по расчету и конструированию

8.1. При расчете по прочности балки надколонной полосы на действие изгибающего положительного момента, принимаемого согласно п.3.2.5, в поперечном сечении балки учитывается часть плиты в соответствии с Нормами проектирования бетонных и железобетонных конструкций с шириной не более ширины надколонной полосы. При этом ширина поперечного сечения плиты, рассчитываемой на действие оставшегося изгибающего момента в надколонной полосе, принимается за вычетом той части плиты, которая учитывается в расчете балки. Если ширина плиты, работающей совместно с балкой, равна ширине надколонной полосы, принимается что все сечение изгибающего момента воспринимается такой балкой.

8.2. Если между внутренними колоннами есть несущая стена, армирование в пролете (при положительном моменте) надколонной и прилежащих средних полосах можно уменьшить на 25% на участке между этими колоннами, в случае если расчет производился методом заменяющих рам.

8.3. Армирование на опоре средней полосы, проходящее поперек несущей стены, должно быть увеличено на 75% по отношению к найденному, если расчет производился методом заменяющих рам.

8.4. Минимальное значение коэффициента продольного армирования принимается равным 0,25% (для плиты в каждом направлении) .

8.5, При расчете узлового соединения на срез (продавливание) с учетом поперечного армирования согласно п.п.3.5.3 и 3.5.5 усилие, воспринимаемое поперечной арматурой, следует принимать не более усилия, воспринимаемого бетоном.

При наличии изгибающего момента в формуле (12) должно удовлетворяться условие

$$\sum R_{sw} \cdot A_{swi} \cdot z_{swi} + \sum R_{sw} \cdot A_{sw2} \cdot z_{sw2} \leq R_{zt} \cdot h_0 (l_{z1} z_{z1} + l_{z2} z_{z2}),$$

а при отсутствии изгибающего момента относительно центра тяжести периметра критического сечения в формуле (20) - условие

$$\sum R_{sw} \cdot A_{sw} \leq R_{zt} \cdot h_0 l_z.$$

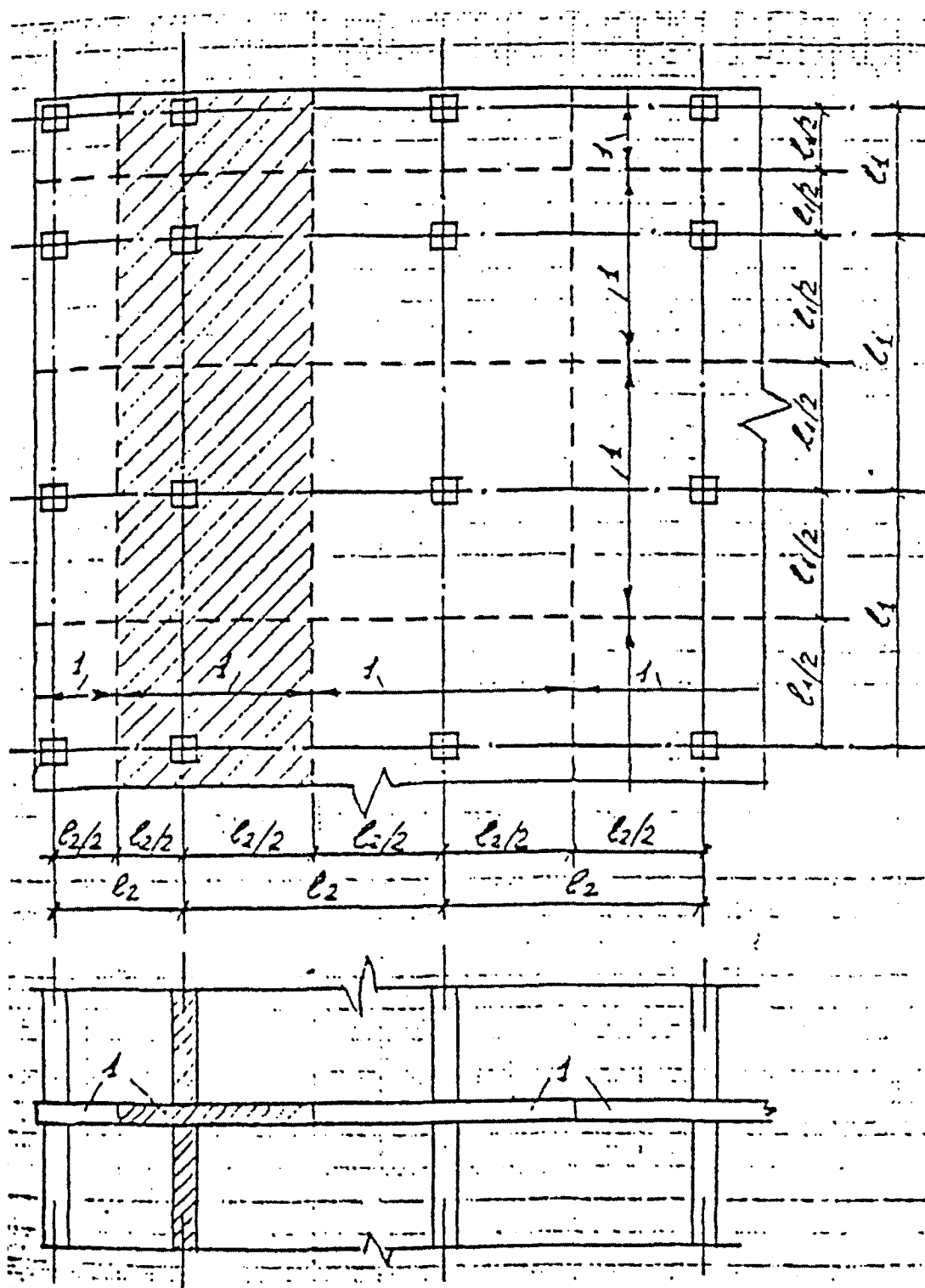


Рис. I. Разделение каркаса на заменяющие рамы

I - заменяющие рамы.

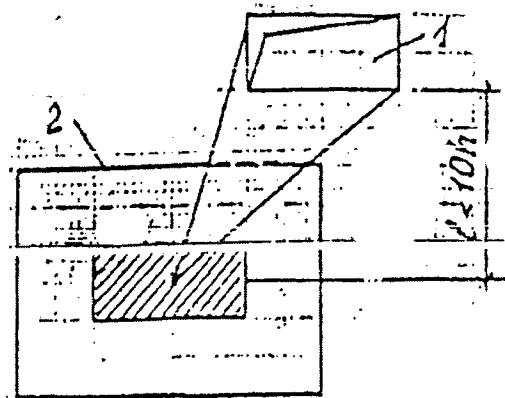


Рис. 5. Учет влияния отверстия на периметр критического сечения

1 - отверстие, 2 - периметр критического сечения.

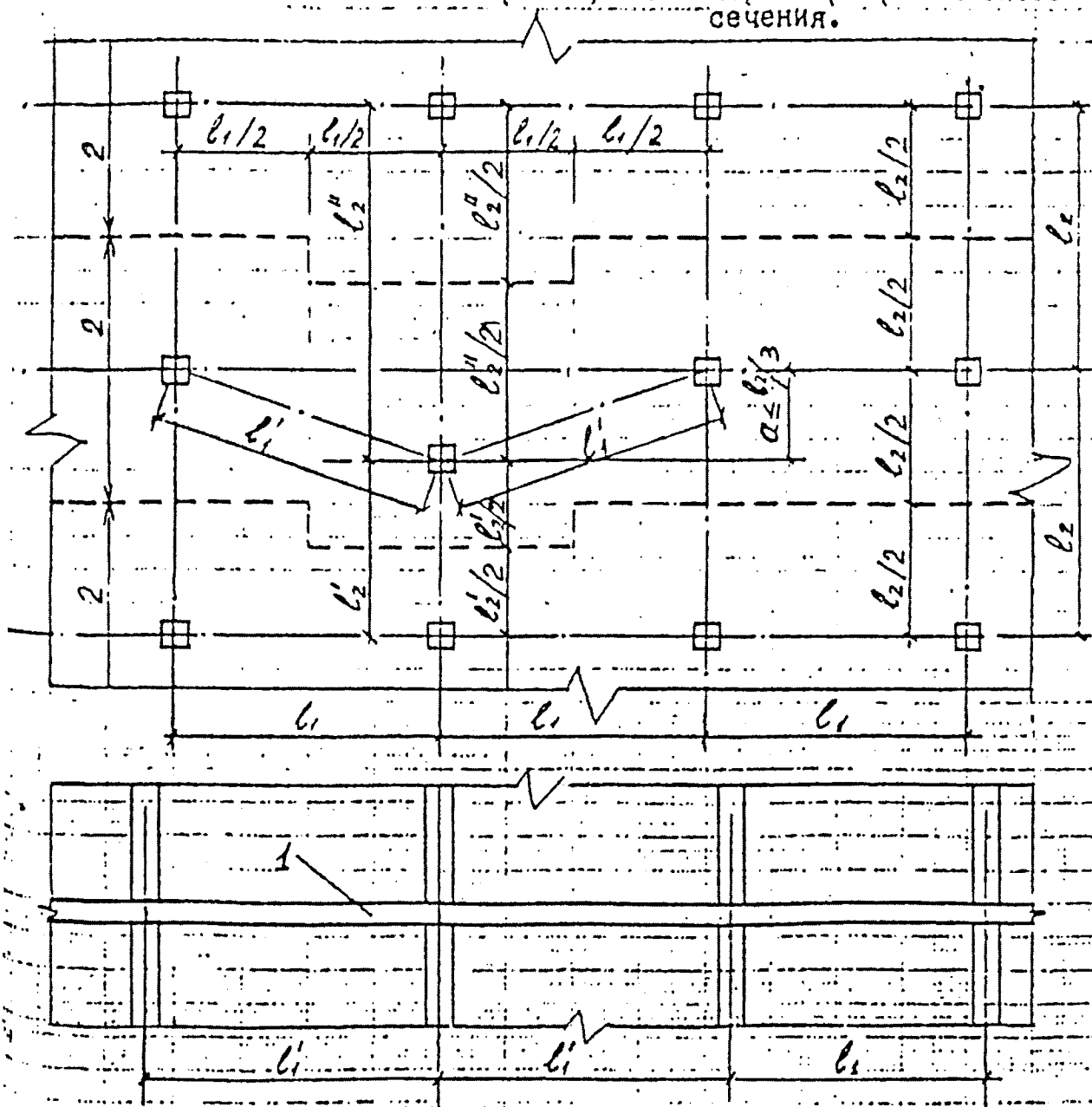


Рис. 6. Заменяющие рамы со смещенной колонной.

1 - заменяющая рама;
2 - условные пилели.

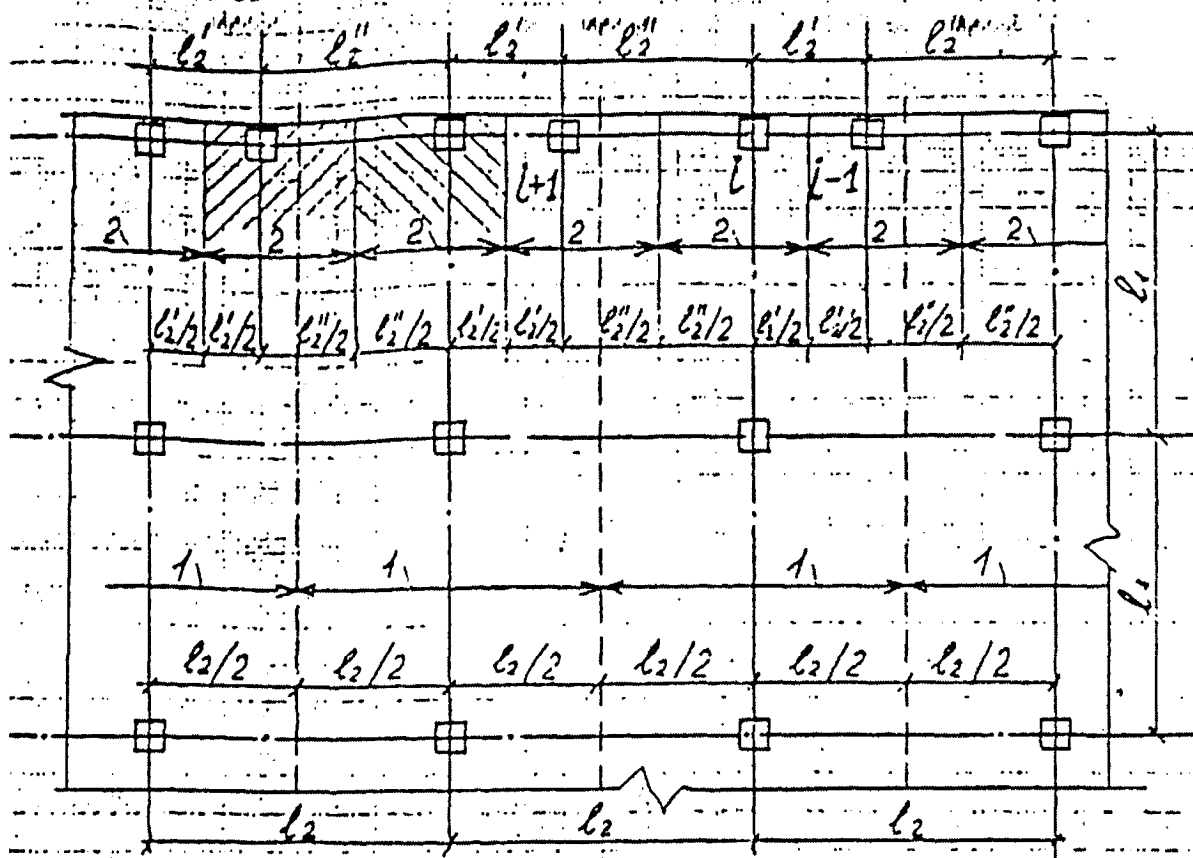


Рис. 7. Заменяющие рамы при дополнительных колоннах в крайнем ряду

1. Основные заменяющие рамы.

2. Концевые фрагменты дополнительных заменяющих рам.

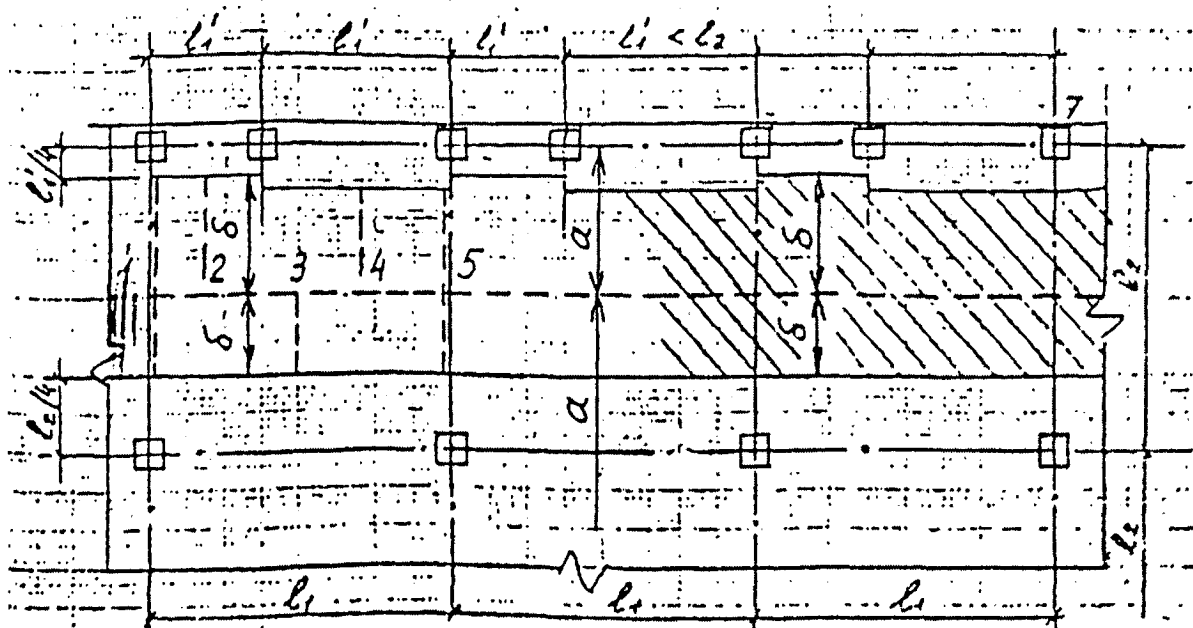


Рис. 8. Заменяющие рамы с разным шагом колонн

а - заменяющие рамы, б - средние полуполосы соседних заменяющих рам.

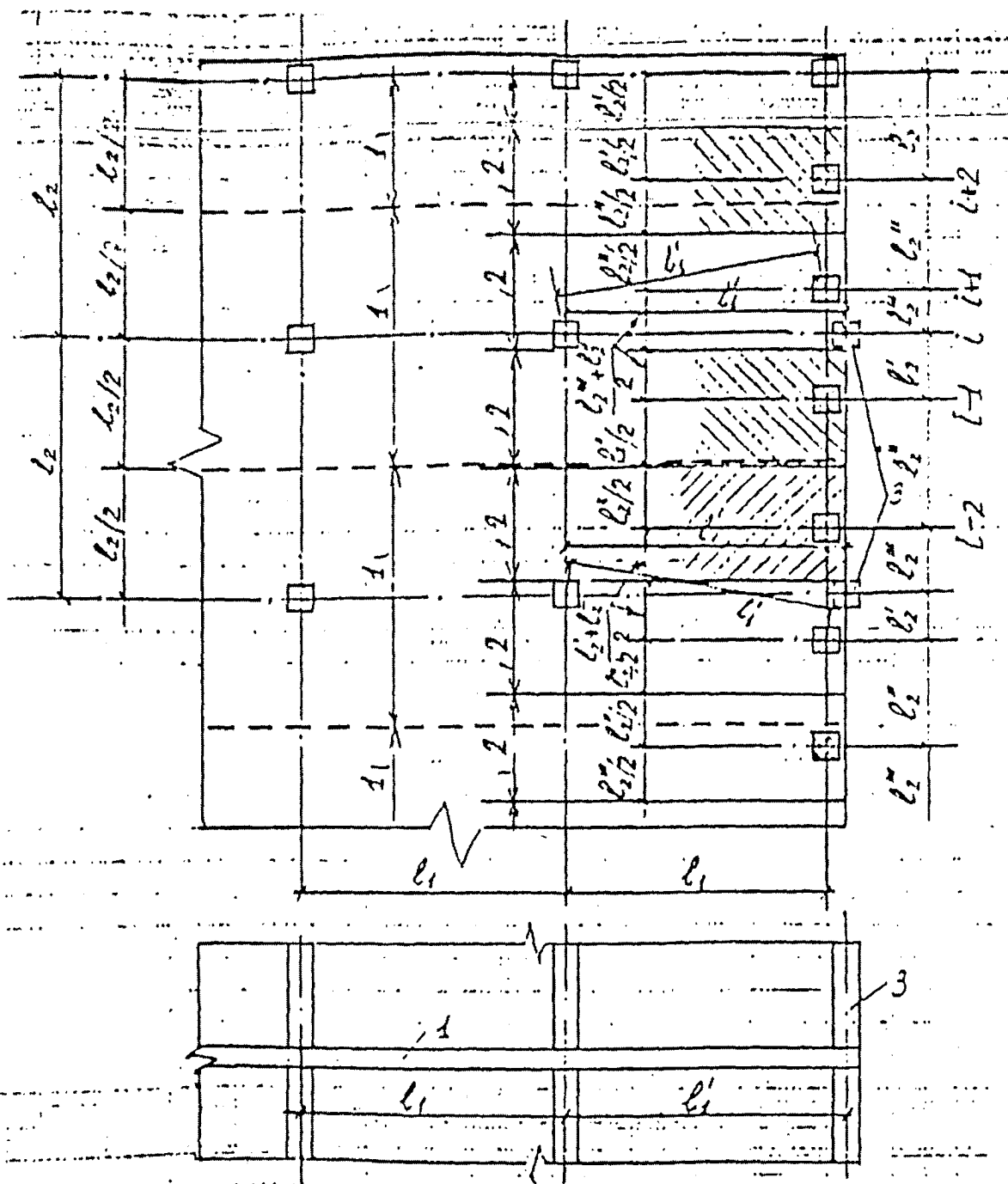


Рис. 9. Заменяющие рамы при смещенных колоннах в крайнем ряду

- 1 - основные заменяющие рамы;
- 2 - концевые фрагменты дополнительных заменяющих рам;
- 3 - условные колонны.

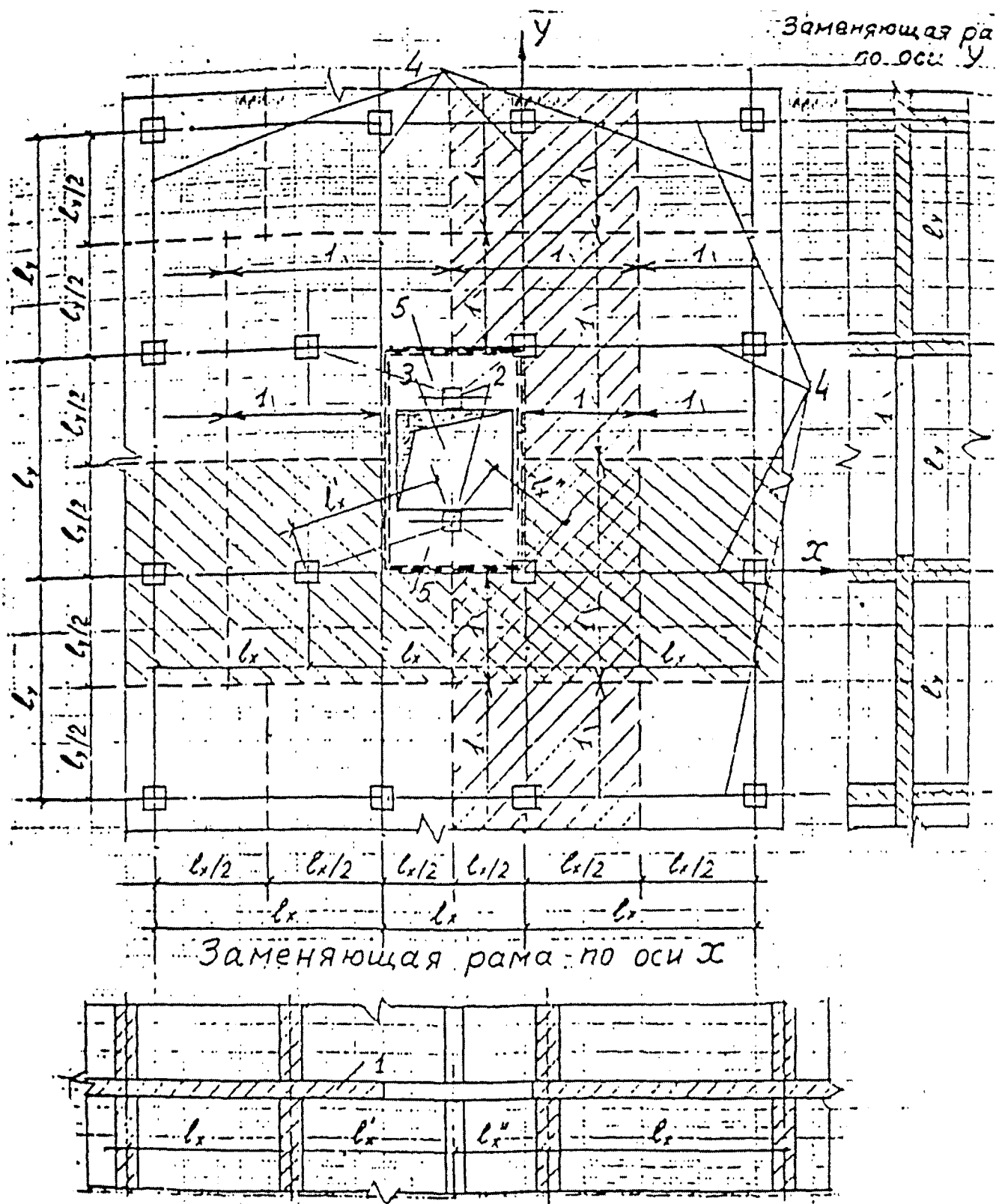
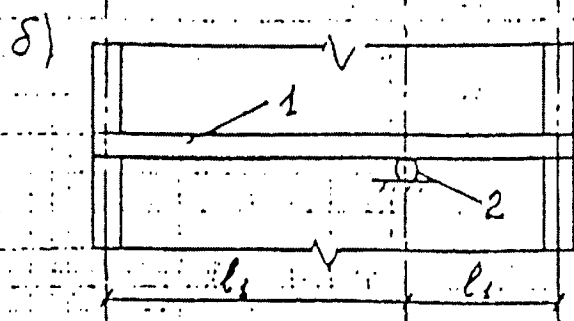
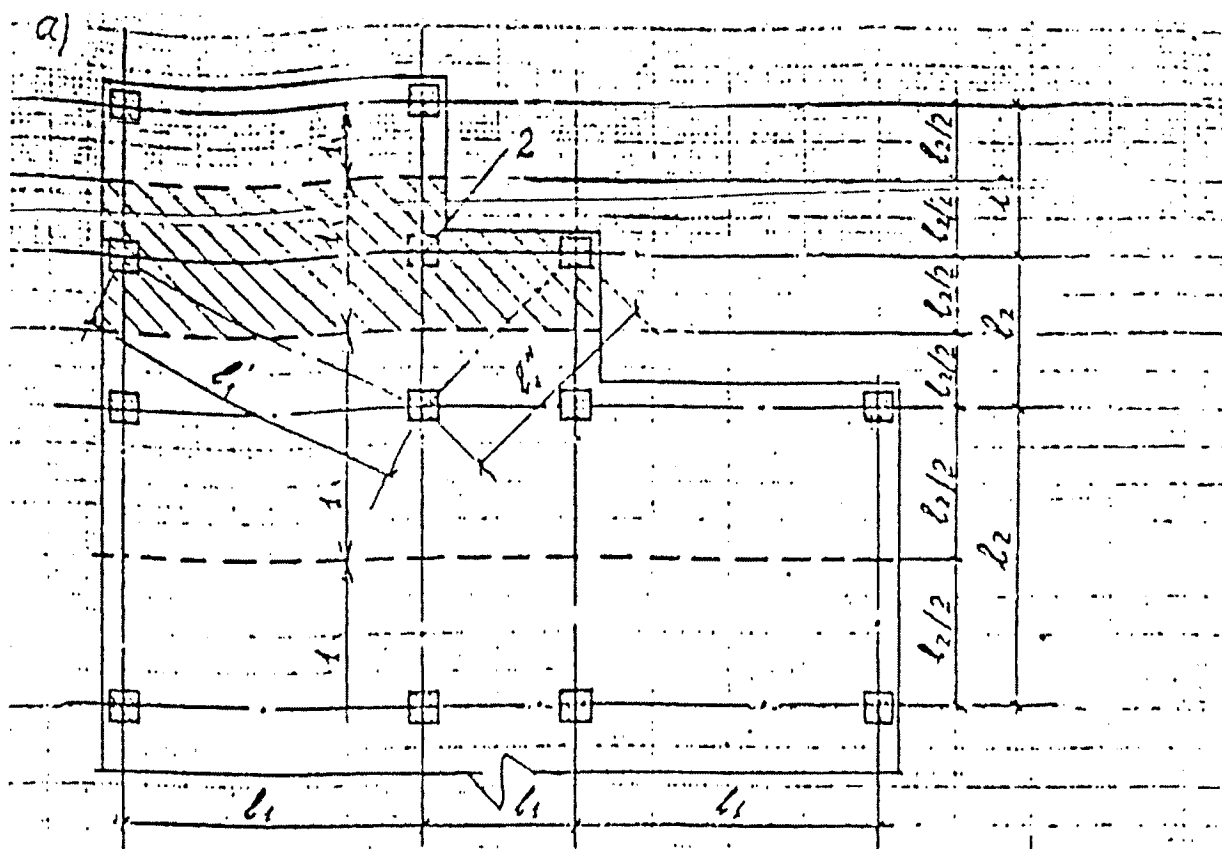
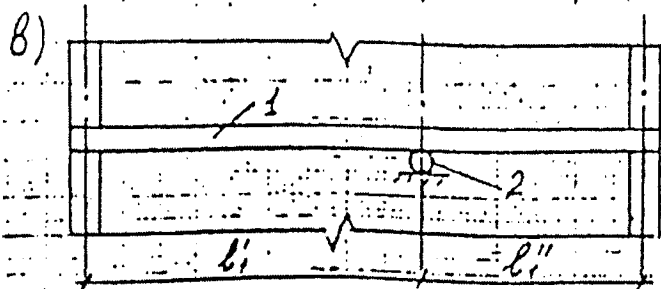


Рис. 10. — Заменяющие рамы при больших отверстиях в перекрытии

- 1 — заменяющая рама; 2 — колонны у отверстия;
- 3 — отверстие; 4 — оси заменяющих рам;
- 5 — участки плиты, неучитываемые в статическом



Замещающая рама при определении изгибающего момента на условной опоре (2)



Замещающая рама при определении изгибающего момента в пролетах

Рис. II. Замещающая рама при отсутствии одной колонны

1 — замещающая рама;

2 — условная шарнирная опора.

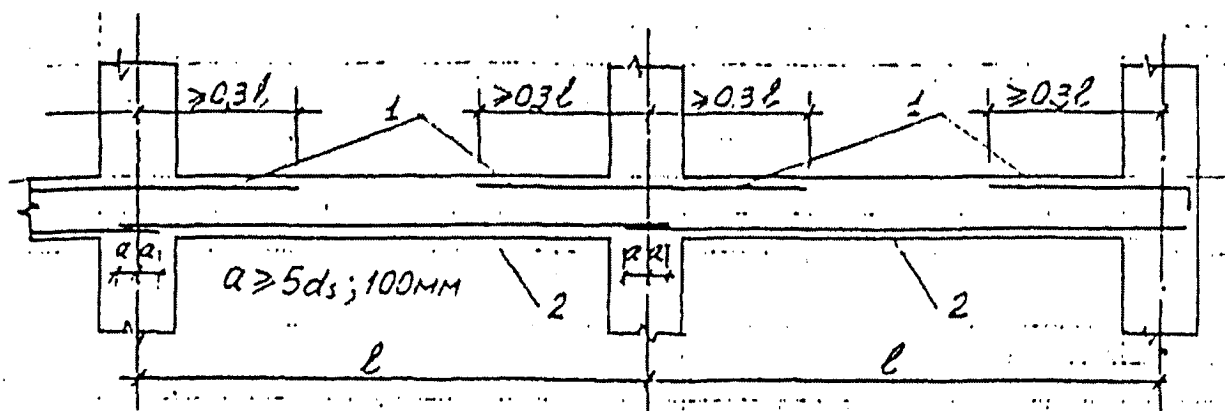


Рис. I2. Продольная арматура

I - на опорах; 2 - в пролете.

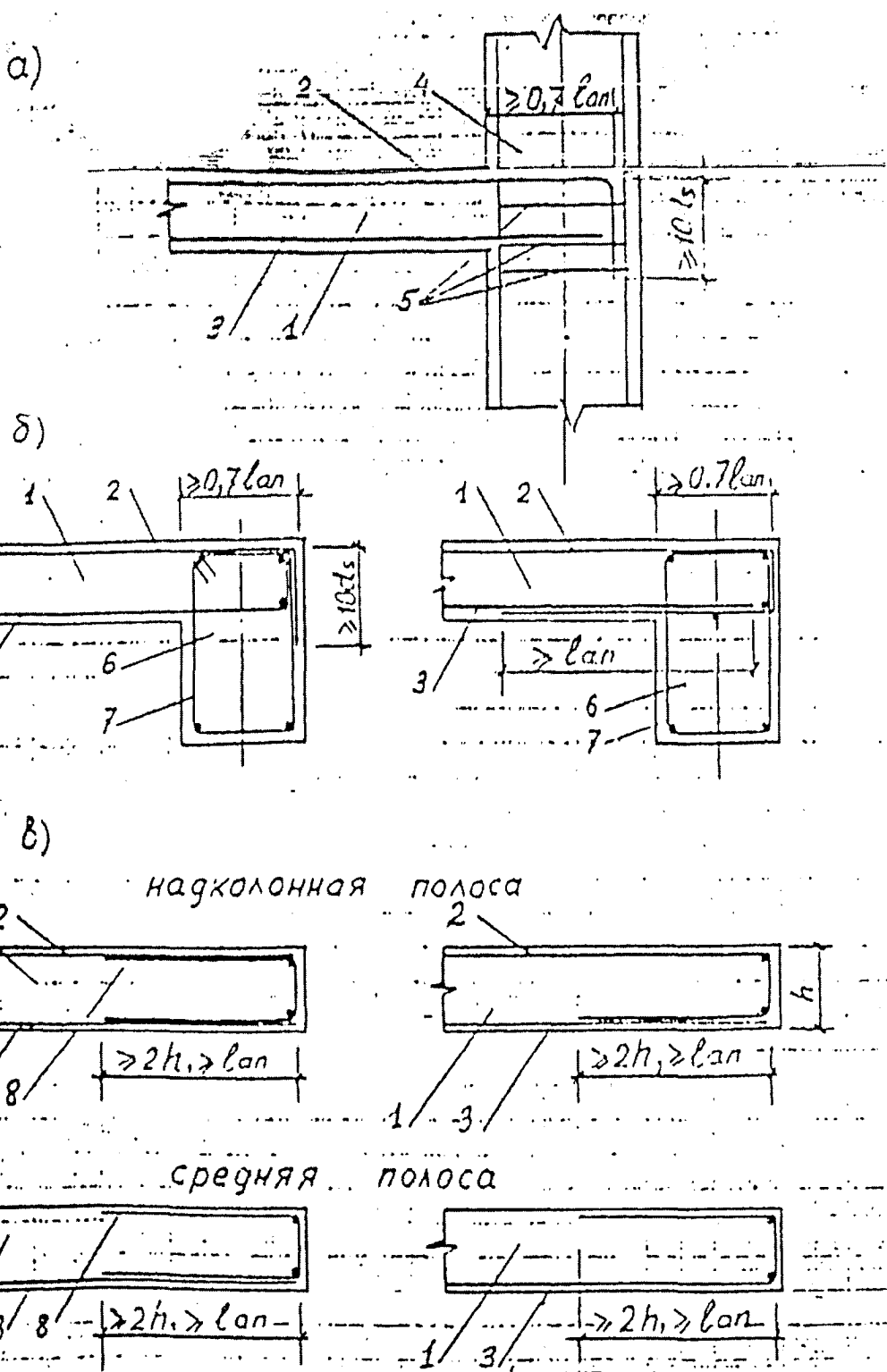


Рис. 13. Особенности армирования у края перекрытия

1 — плита; 2 — рабочая надопорная арматура;
 3 — рабочая пролетная арматура; 4 — колонна;
 5 — дополнительные хомуты; 6 — балка; 7 — хомут
 8 — дополнительная арматура.

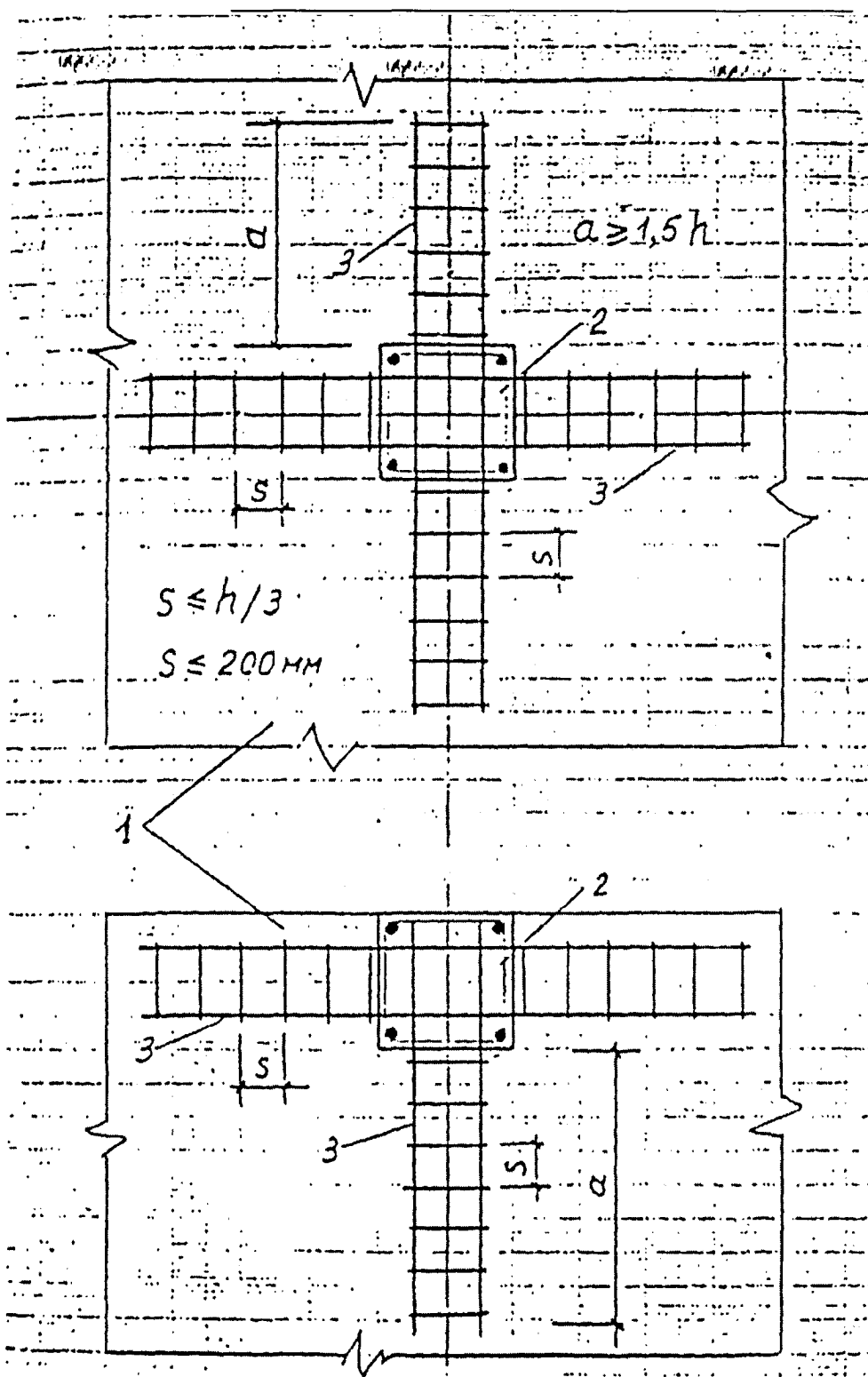


Рис. 14. Поперечная арматура в зоне узла сопряжения плиты с колонной
 1 - плита; 2 - колонна; 3 - арматурные каркасы.