

ПРОДАВЛИВАНИЕ МОНОЛИТНЫХ ПЛИТ:
МЕТОДИКА И РАСЧЕТ ДЛЯ ОБЪЕКТА
015-2002-3 (ОТСЕК В ОСЯХ 10–13)

Разработчик д.т.н. Русаков А.И., 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация

1. Конструктивные требования армирования отгибами
2. Теоретические положения армирования отгибами
3. Теоретические положения равномерного поперечного армирования
4. Расчет для отсека в осях 10–13
5. Дополнительные материалы: расчет геометрических характеристик контура продавливания
6. Дополнительные материалы: расчетные схемы для проверки по внешнему контуру продавливания
7. Дополнительные материалы: интерактивные таблицы ЛИР-ВИЗОР с результатами расчета продавливающих усилий

ЛИТЕРАТУРА

Аннотация

Расчет на продавливание монолитных плит объекта 015-2002-3 выполнен в соответствии с требованиями СП 52-101-2003, разд. 6.2.46—6.2.52, и результатами отчета [1]. Расчет выполнен для обеспечения следующих конструктивных решений армирования зон продавливания: на всех перекрытиях используются Λ -образные стержни с наклонными участками — отгибами; на фундаментной плите используются пространственные каркасы с равномерной расстановкой поперечной арматуры. Документ содержит результаты только для отсека в осях 10–13.

1. Конструктивные требования армирования отгибами

Армирование перекрытий в окрестностях колонн выполняется Λ -образными стержнями с отгибами, показанными на рис. 1.1. На схеме *а* показано расположение отгибов относительно колонны в вертикальном сечении плиты, на схемах *б* и *в* показано расположение осевой линии каждого стержня с отгибами относительно рабочей арматуры плиты. В одной вертикальной плоскости располагаются два отгиба с расстоянием между ними $h_0/2$. Первый отгиб (ближайший к колонне) — рабочий, воспринимает нагрузку на расчетном контуре продавливания, второй отгиб — конструктивный, имеет то же сечение, что и первый, в расчете не учитывается. Для всех стержней на рис. 1.1 предполагается диаметр 14 мм, за исключением верхней продольной арматуры, диаметр которой 20 мм. Размеры, указанные на схемах *б*, *в*, служат для определения рабочей высоты сечения: для плиты толщ. 200 мм она составляет $h_0 = 16$ см, для плиты толщ. 250 мм соответственно $h_0 = 21$ см. Расстояния концов отгиба до колонны, равные $h_0/4$ и $1,5h_0$ (схема *а*), приняты согласно отчету [1, разд. 5]. Длина анкеровки l_{an} назначается в зависимости от диаметра Λ -образного стержня и составляет $l_{an} = 34d$, согласно пособию [2, табл. 3.3]. Согласно схеме *б* высота отгиба составляет: $h_1 = 116$ мм при толщине плиты $h = 200$ мм и $h_1 = 166$ мм при толщине плиты $h = 250$ мм. Соответственно наклон α рабочей части отгиба составляет $44,0^\circ$ и $46,5^\circ$. Таким образом, требование для диапазона углов наклона $\alpha = 30 \div 60^\circ$ выполняется. При $h = 200$ мм имеем $\sin^{-1}\alpha = 1,44$; при $h = 250$ мм соответственно $\sin^{-1}\alpha = 1,38$. Величины $1/\sin\alpha$ служат коэффициентами для пересчета площади строго поперечной крестовидной арматуры в площадь сечения отгибов.

Расположение стержней с отгибами в плане для квадратных сечений колонн показано на рис. 2. В каждом направлении предполагается устанавливать 4—5 стержней (на рисунке показаны стержни одного направления). Для случаев установки 4 Λ -образных стержней, показанных на рис. 1.2, расстояние между соседними стержнями является максимальным допустимым из конструктивных требований при толщ. плиты 200 мм. (Это расстояние должно быть не более $(a_1 + h_0)/4$, где a_1 — сторона сечения колонны, согласно рис. 6.14 СП 52-101-2003.)

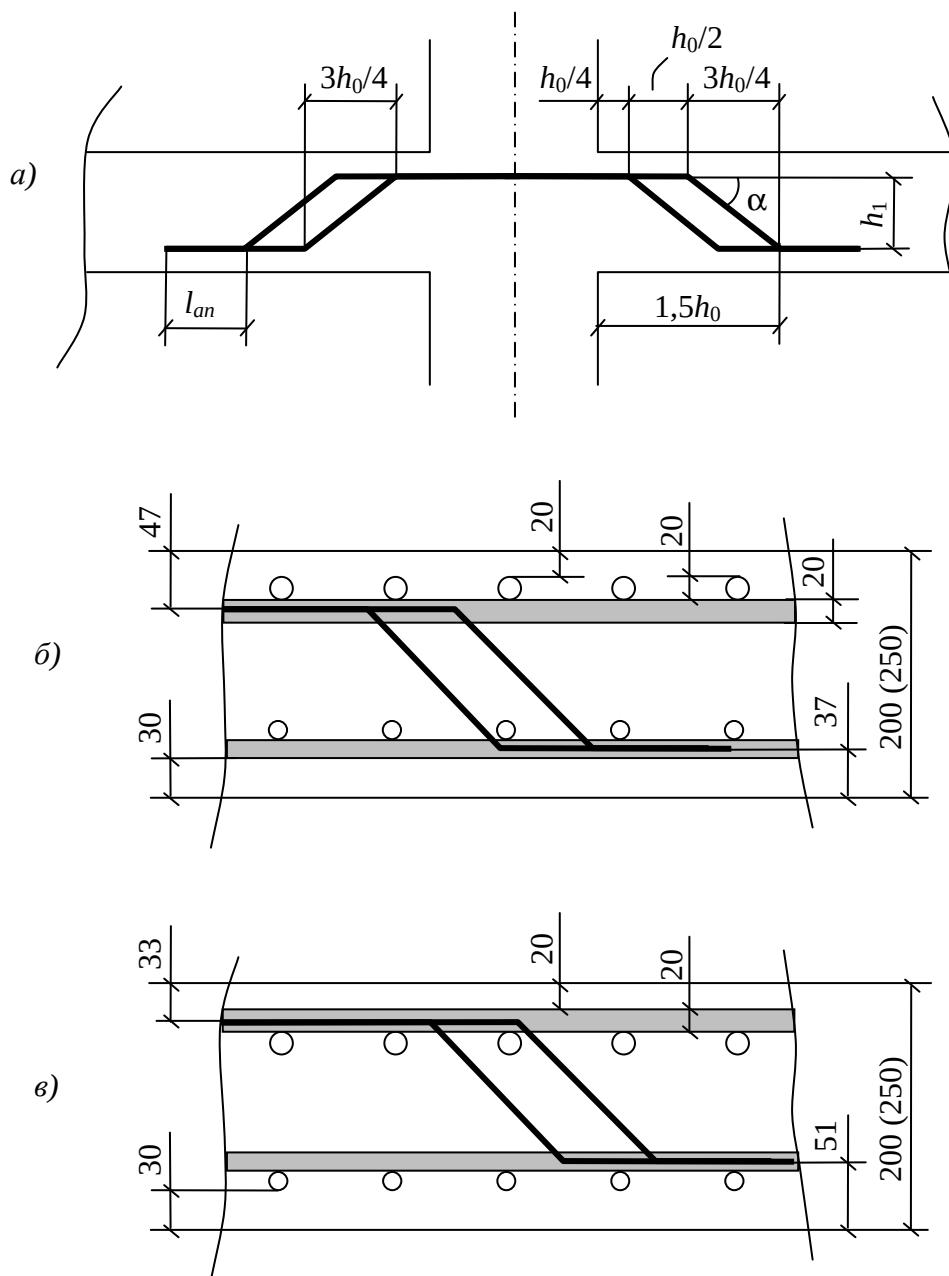


Рис. 1.1

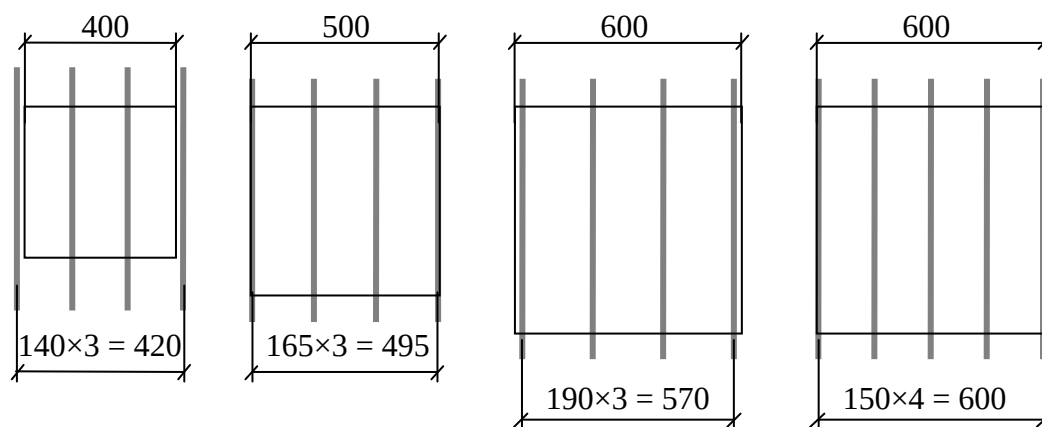


Рис. 1.2

2. Теоретические положения армирования отгибами

Площадь арматуры при армировании отгибами устанавливается путем расчета крестовидного поперечного армирования и последующей корректировки полученных результатов.

Расчет крестовидного армирования основывается на решении уравнения предельного состояния материала в окрестности расчетного контура продавливания. Уравнение имеет вид:

$$Cr(F, e_x, e_y, q_{sw}) = 1, \quad (2.1)$$

где $Cr(\cdot)$ — показатель использования несущей способности материала (величина, обратная к показателю запаса прочности);

F — действующая продавливающая сила;

e_x, e_y — эксцентриситеты продавливающей силы, соответственно, в направлениях главных центральных осей армированного контура продавливания $x_{гл}$ и $y_{гл}$;

$q_{sw} = R_{sw}A$ — искомое предельное усилие в арматуре на единицу длины расчетного контура продавливания.

При заданных нагрузках решается уравнение (2.1) относительно предельного усилия q_{sw} , или, что то же, площади арматуры A .

Расчет начинается определением величины $F_{ult\ b}$ — допускаемой продавливающей силы для неармированного бетона при заданных эксцентриситетах нагрузки. Для этого решается уравнение:

$$Cr(F_{ult\ b}, e_x, e_y, 0) = 1. \quad (2.2)$$

Если обнаружится, что $F < F_{ult\ b}$, то расчет заканчивается.

Для учета требований по ограничению площади арматуры, устанавливаемых п. 6.2.48 СП 52-101-2003, уравнение (2.1) решается трижды: устанавливаются, соответственно, минимальная, максимальная и расчетная без учета конструктивных требований площади арматуры из уравнений:

$$Cr(1,25F_{ult\ b}, e_x, e_y, R_{sw}A_{min}) = 1; \quad (2.3)$$

$$Cr(2F_{ult\ b}, e_x, e_y, R_{sw}A_{max}) = 1; \quad (2.4)$$

$$Cr(F, e_x, e_y, R_{sw}A) = 1. \quad (2.5)$$

Уравнение (2.3) определяет площадь арматуры, которая воспринимает 25% от нагрузки, воспринимаемой бетоном; уравнение (2.4) определяет площадь арматуры, которая воспринимает 100% нагрузки, допускаемой без армирования.

Рекомендуемая площадь устанавливается корректировкой расчетной площади:

$$A_{des} = \begin{cases} A_{min}, & \text{если } 0 < A < A_{min}; \\ A, & \text{если } A_{min} < A < A_{max}. \end{cases} \quad (2.6)$$

Для расчета критериальной функции устанавливаются моменты инерции расчетного контура продавливания $I_{b\,x}$, $I_{b\,y}$ и моменты инерции армированных участков этого контура $I_{sw\,x}$, $I_{sw\,y}$. Кроме того, в случаях расположения колонны на краю плиты потребуются расстояния от главных центральных осей контура продавливания до его крайних точек x_{in} , x_{out} . Расчетные формулы для этих величин даны в разд. 5. Далее, если не оговорено иное, обозначения соответствуют СП 52-101-2003.

Расчет для колонны внутри плана плиты перекрытия (рис. 2.1).
Критериальная функция устанавливается прямыми вычислениями:

$$W_{b\,y} = \frac{I_{b\,y}}{0,5L_x}; \quad W_{sw\,y} = \frac{I_{sw\,y}}{0,5L_x}; \quad (2.7)$$

$$W_{b\,x} = \frac{I_{b\,x}}{0,5L_y}; \quad W_{sw\,x} = \frac{I_{sw\,x}}{0,5L_y}; \quad (2.8)$$

$$\left. \begin{aligned} F_b &= R_{bt} h_0 u; \quad M_{b,y} = R_{bt} h_0 W_{b,y}; \quad M_{b,x} = R_{bt} h_0 W_{b,x}; \\ F_{sw} &= 0,8 q_{sw} u_{sw}; \quad M_{sw,y} = 0,8 q_{sw} W_{sw,y}; \quad M_{sw,x} = 0,8 q_{sw} W_{sw,x}; \\ M_y &= F e_x; \quad M_x = F e_y. \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

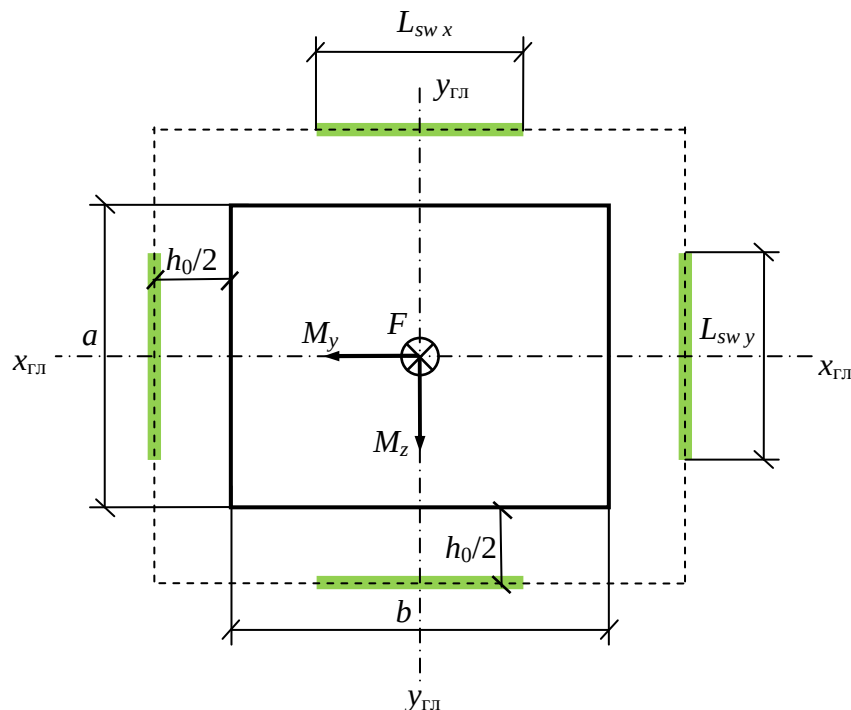


Рис. 2.1. Сечение колонны и расчетный контур продавливания внутри плана плиты перекрытия.
 $x_{гл}$, $y_{гл}$ — главные центральные оси контура;
 $L_{sw\,x}$, $L_{sw\,y}$ — участки расчетного контура в крестовидной зоне поперечного армирования (расположены симметрично относительно главных осей)

$$Cr(F, e_x, e_y, q_{sw}) = \frac{F}{F_b + F_{sw}} + \frac{|M_y|}{M_{b,y} + M_{sw,y}} + \frac{|M_x|}{M_{b,x} + M_{sw,x}}. \quad (2.10)$$

Расчет для колонны на ребре плиты перекрытия (рис. 2.2).
Критериальная функция устанавливается вычислениями:

$$W_{b,y1(2)} = \frac{I_{b,y}}{x_{in(out)}}; \quad W_{sw,y1(2)} = \frac{I_{sw,y}}{x_{in(out)}}; \quad (2.11)$$

$$W_{b,x} = \frac{I_{b,x}}{0,5L_y}; \quad W_{sw,x} = \frac{I_{sw,x}}{0,5L_y}; \quad (2.12)$$

$$\left. \begin{aligned} F_b &= R_{bt} h_0 u; \quad M_{b,y1(2)} = R_{bt} h_0 W_{b,y1(2)}; \quad M_{b,x} = R_{bt} h_0 W_{b,x}; \\ F_{sw} &= 0,8 q_{sw} u_{sw}; \quad M_{sw,y1(2)} = 0,8 q_{sw} W_{sw,y1(2)}; \quad M_{sw,x} = 0,8 q_{sw} W_{sw,x}; \\ M_y &= F e_x; \quad M_x = F e_y. \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

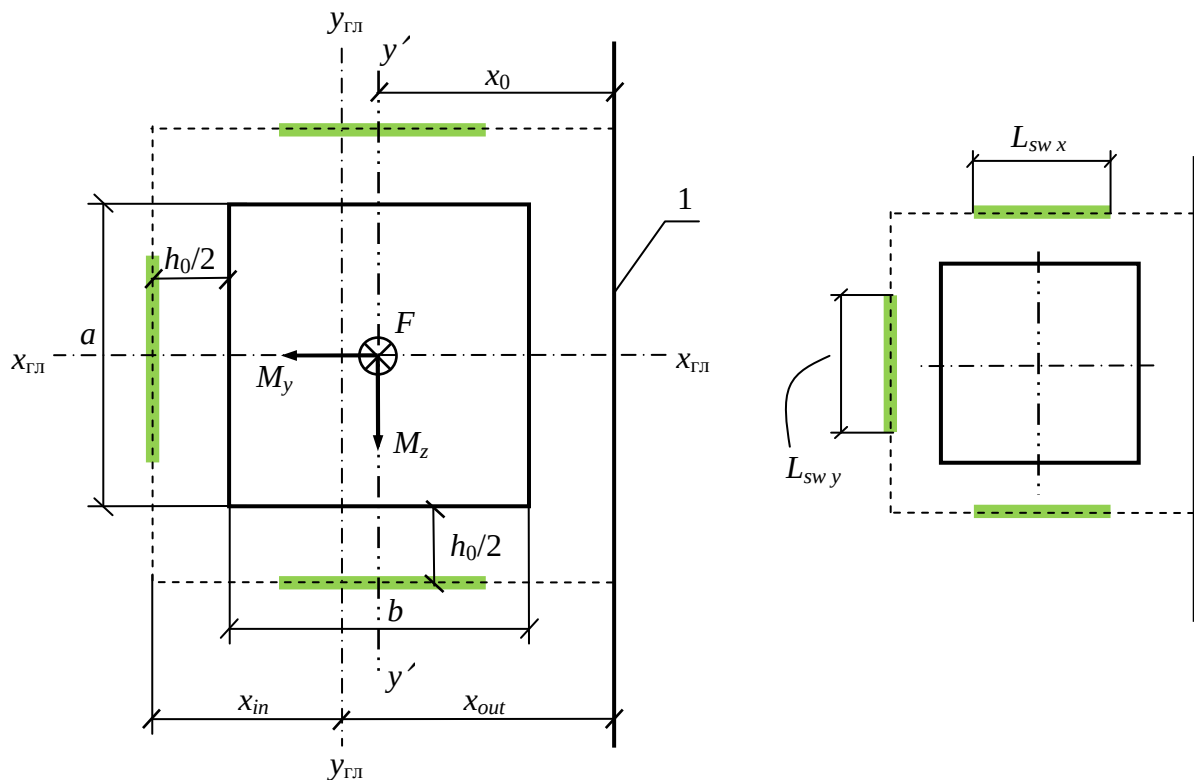


Рис. 2.2. Сечение колонны и расчетный контур продавливания на ребре плиты перекрытия.

$x_{ГЛ}, y_{ГЛ}$ – главные центральные оси приведенного контура;

y' – ось симметрии сечения колонны;

$L_{sw,x}, L_{sw,y}$ – участки расчетного контура в крестовидной зоне поперечного армирования (расположены симметрично относительно оси $x_{ГЛ}$);

1 – ребро плиты

$$Cr(F, e_x, e_y, q_{sw}) = \max \left| \frac{F}{F_b + F_{sw}} \mp \frac{M_y}{M_{b,y1(2)} + M_{sw,y1(2)}} \right| + \frac{|M_x|}{M_{b,x} + M_{sw,x}}. \quad (2.14)$$

В отличие от критерия (6.108) СП 52-101-2003, в данной критериальной функции учитываются знаки моментов: если момент M_y положителен, то создаваемая им поперечная сила на расчетном контуре продавливания направлена противоположно продавливающей силе слева от колонны (рис. 2.2). Эта сила разгружает сечение пирамиды продавливания слева, что учитывается знаком «−» в формуле (2.14). Такая же по величине сила прибавляется справа от колонны к поперечной силе без учета моментов, что учитывается знаком «+». Наиболее неблагоприятное нагружение волокна на расчетном контуре получается как максимум из действующих на контуре поперечных сил.

Расчет для колонны на углу плиты перекрытия (рис. 2.3). Критериальная функция устанавливается вычислениями:

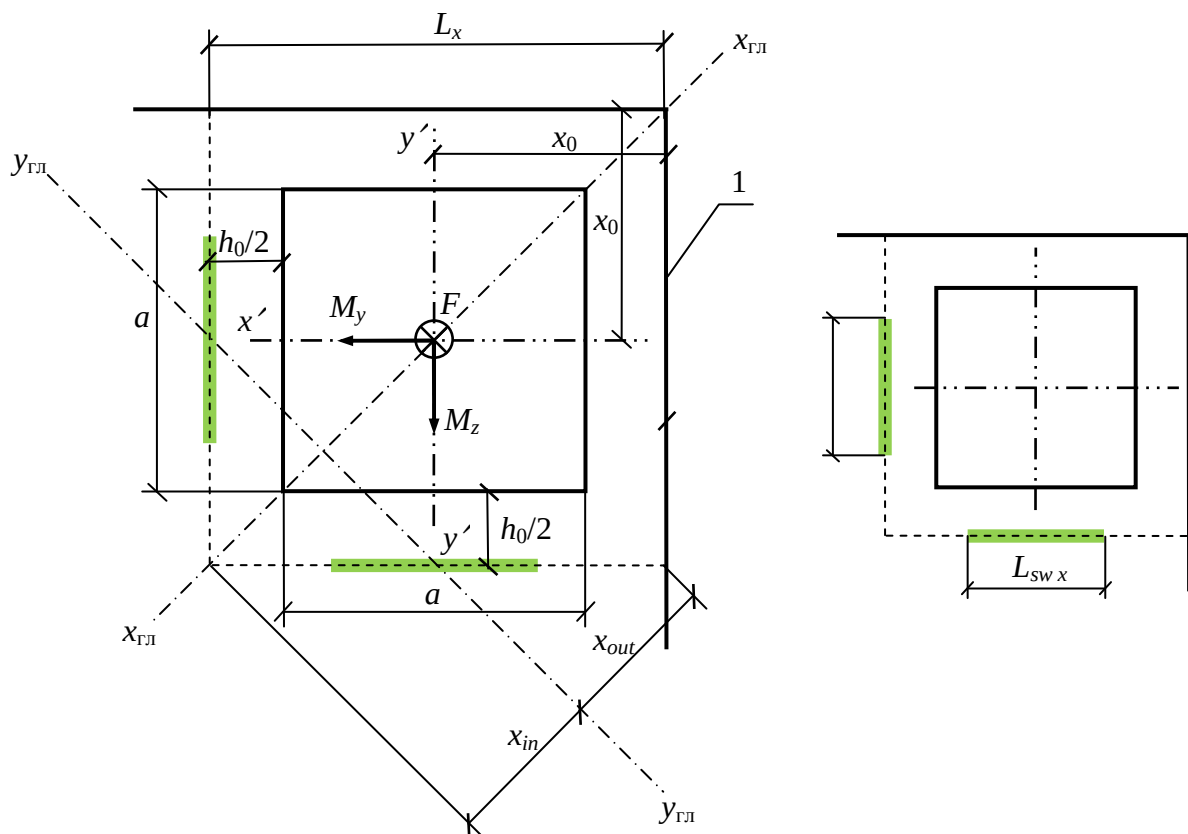


Рис. 2.3. Сечение колонны и расчетный контур продавливания на углу плиты перекрытия.

$x_{гл}, y_{гл}$ — главные центральные оси приведенного контура;

$L_{sw\ x}$ — участки расчетного контура в крестовидной зоне поперечного армирования (расположены симметрично относительно оси $x_{гл}$);

1 — граница плиты

$$W_{b\ y1(2)} = \frac{I_{b\ y}}{x_{in(out)}}; \quad W_{sw\ y1(2)} = \frac{I_{sw\ y}}{x_{in(out)}}; \quad (2.15)$$

$$W_{b\ x} = \frac{I_{b\ x}}{L_x / \sqrt{2}}; \quad W_{sw\ x} = \frac{I_{sw\ x}}{L_x / \sqrt{2}}; \quad (2.16)$$

$$\left. \begin{aligned} F_b &= R_{bt} h_0 u; \quad M_{b,y1(2)} = R_{bt} h_0 W_{b\ y1(2)}; \quad M_{b,x} = R_{bt} h_0 W_{b\ x}; \\ F_{sw} &= 0,8 q_{sw} u_{sw}; \quad M_{sw,y1(2)} = 0,8 q_{sw} W_{sw\ y1(2)}; \quad M_{sw,x} = 0,8 q_{sw} W_{sw\ x}; \\ M_y &= F e_x; \quad M_x = F e_y. \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

$$Cr(F, e_x, e_y, q_{sw}) =$$

$$\max \left\{ \left| \frac{F}{F_b + F_{sw}} + \frac{M_y}{M_{b,y2} + M_{sw,y2}} \right| + \frac{|M_x|}{M_{b,x} + M_{sw,x}}, \left| \frac{F}{F_b + F_{sw}} - \frac{M_y}{M_{b,y1} + M_{sw,y1}} \right| \right\}. \quad (2.18)$$

Первая сумма под знаком максимума соответствует наибольшей поперечной силе на одном из концов контура продавливания (на краю плиты). Вторая сумма соответствует поперечной силе на углу контура (внутри плана плиты). Из двух значений показателя исчерпания несущей способности материала берется большее значение.

Площадь арматуры, полученная при поперечном крестовидном армировании, должна быть скорректирована при переходе на армирование отгибами [1, разд. 5]: ее необходимо умножить на коэффициент $\sin^{-1} \alpha$.

3. Теоретические положения равномерного поперечного армирования

Критерий отсутствия продавливания (6.108) СП 52-101-2003 приведен к удобному для расчета виду для каждого из двух случаев положения колонны на фундаментной плите, а именно: колонна внутри плана плиты, колонна на ребре плиты. Для проверки выполнения критерия продавливания при отсутствии поперечного армирования и для расчета требуемой площади поперечной арматуры использовались два параметра: допускаемая продавливающая сила в отсутствии поперечной арматуры с учетом эксцентриситетов продавливающей силы $F_{ult\ b}$ и допускаемая продавливающая сила в отсутствии поперечной арматуры при центральном действии нагрузки F_b .

Расчет для колонны внутри плана плиты (рис. 3.1). Отсутствие продавливания плит без поперечного армирования проверяется с помощью неравенства:

$$F \leq F_{ult\ b} = \min \frac{R_{bt} h_0}{\left| \frac{1}{u} \mp \frac{e_x}{W_y} \right| + \frac{|e_y|}{W_x}}, \quad (3.1)$$

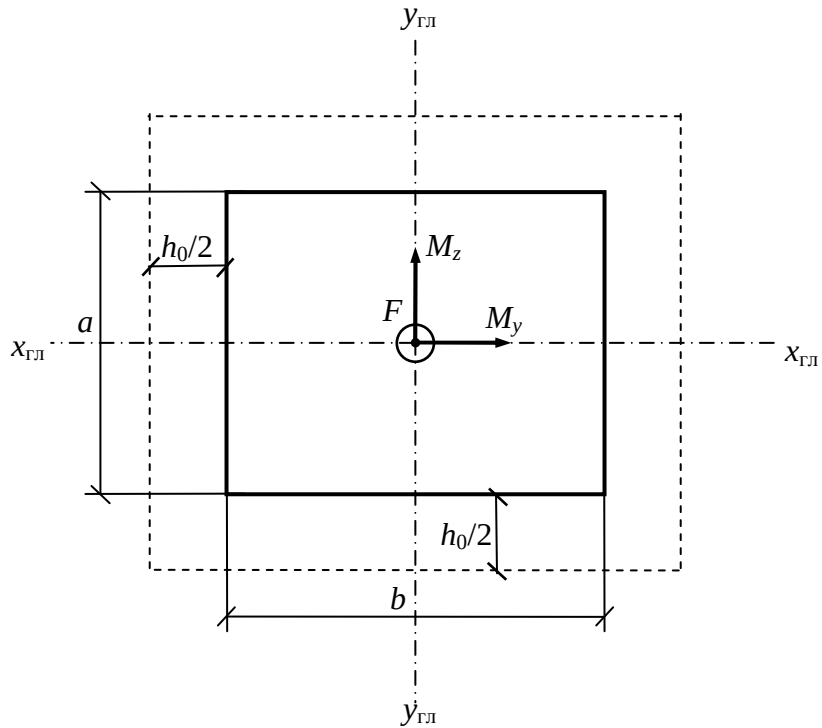


Рис. 3.1. Сечение колонны и расчетный контур продавливания для ФП. $x_{\text{гл}}$, $y_{\text{гл}}$ – главные центральные оси контура

где u — длина расчетного контура продавливания; e_x — эксцентриситет продавливающей силы вдоль главной центральной оси расчетного контура $x_{\text{гл}}$; e_y — эксцентриситет продавливающей силы вдоль главной центральной оси расчетного контура $y_{\text{гл}}$; W_y — момент сопротивления расчетного контура относительно оси $y_{\text{гл}}$; W_x — момент сопротивления расчетного контура относительно оси $x_{\text{гл}}$.

Перечисленные величины с учетом принятых положительных направлений нагрузок на колонну со стороны плиты (рис. 3.1) вычисляются следующим образом:

$$L_x = b + h_0;$$

$$L_y = a + h_0;$$

$$u = 2(L_x + L_y);$$

$$e_x = M_z / 2F;$$

$$I_y = L_x^2 \left(\frac{L_x}{6} + \frac{L_y}{2} \right);$$

$$W_y = \frac{I_y}{0,5L_x};$$

$$e_y = M_y / 2F;$$

$$I_x = L_y^2 \left(\frac{L_y}{6} + \frac{L_x}{2} \right);$$

$$W_x = \frac{I_x}{0,5L_y}.$$

Максимально допустимая площадь поперечной арматуры в зоне продавливания **при ее равномерной расстановке** составляет

$$A_{\Sigma sw, \max} = \frac{F_b}{0,8R_{sw}}; \quad (3.2)$$

$$F_b = R_{bt} u h_0.$$

При этом допускаемая продавливающая сила равна

$$F_{ult, \max} = 2F_{ult b},$$

что соответствует п. 6.2.48 СП 52-101-2003.

Величина $A_{\Sigma sw}$ есть суммарная площадь арматуры, пересекаемой пирамидой продавливания. R_{sw} — расчетное сопротивление арматуры с учетом условий работы, которое для арматуры класса А-III равно 2900 кгс/см².

Требуемая площадь арматуры при $F_{ult b} < F < 2F_{ult b}$ определяется формулой:

$$A_{\Sigma sw} = \frac{F_b \left(\frac{F}{F_{ult b}} - 1 \right)}{0,8R_{sw}}. \quad (3.3)$$

При этом согласно п. 6.2.48 СП 52-101-2003, абзац 4, необходимо дополнительно обеспечить требование

$$A_{\Sigma sw} \geq \frac{0,25F_b}{0,8R_{sw}}. \quad (3.4)$$

Расчет для колонны на ребре плиты (рис. 3.2). Отсутствие продавливания плит без поперечного армирования проверяется с помощью неравенства:

$$F \leq F_{ult b} = \min \left[\frac{R_{bt} h_0}{\frac{1}{u} + \frac{e_x}{W_{y1(2)}}} + \frac{|e_y|}{W_x} \right], \quad (3.5)$$

где обозначения приняты те же, что и в формуле (3.1), и, кроме того, W_{y1} — момент сопротивления расчетного контура относительно оси $y_{гп}$ для волокон расчетного контура, наиболее удаленных от края; W_{y2} — момент сопротивления расчетного контура относительно оси $y_{гп}$ для волокон контура на краю плиты. Эксцентриситет e_x считаем положительным, если

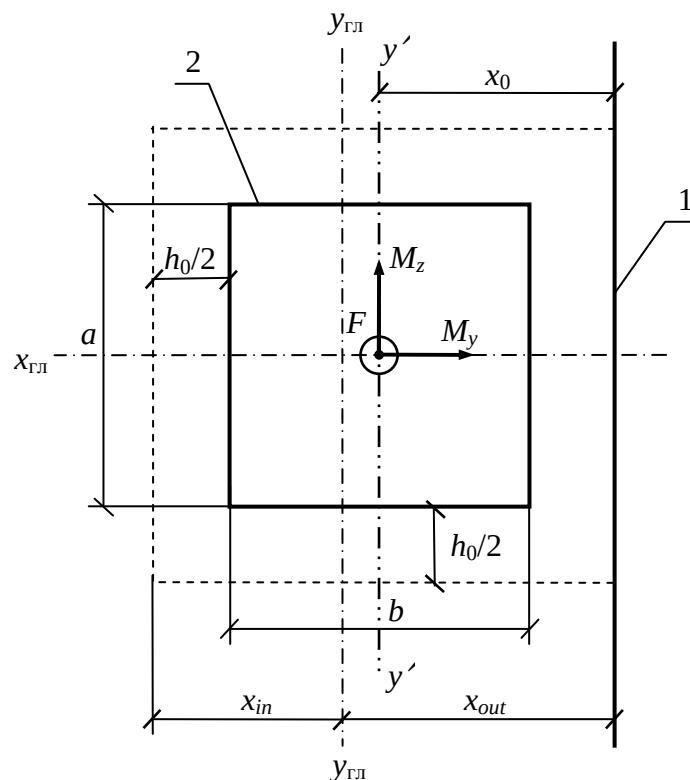


Рис. 3.2. Сечение колонны и расчетный контур продавливания для ФП.

$x_{\text{гл}}, y_{\text{гл}}$ – главные центральные оси контура;

1 – ребро плиты; 2 — сечение колонны

равнодействующая продавливающей силы находится между ребром плиты и осью $y_{\text{гл}}$ (например, как показано на рис. 3.2).

Перечисленные величины с учетом принятых положительных направлений нагрузок на колонну со стороны плиты (рис. 3.2) вычисляются следующим образом:

$$L_x = x_0 + b/2 + h_0/2;$$

$$L_y = a + h_0;$$

$$u = 2L_x + L_y;$$

$$x_{\text{in}} = \frac{L_x^2}{u}; \quad x_{\text{out}} = \frac{L_x(L_x + L_y)}{u};$$

$$e_0 = x_{\text{out}} - x_0;$$

$$\Delta e_x = \frac{M_z}{2F}; \quad e_x = e_0 - \Delta e_x;$$

$$I_y = \frac{L_x^3}{3} \frac{2(L_x + L_y)^2 + L_x L_y}{u^2};$$

$$W_{y1(2)} = \frac{I_y}{x_{in(out)}};$$

$$e_y = \frac{M_y}{2F};$$

$$I_x = L_y^2 \left(\frac{L_y}{12} + \frac{L_x}{2} \right);$$

$$W_x = \frac{I_x}{0,5L_y};$$

Соотношения (3.2)—(3.4) остаются в силе.

4. Расчет для отсека в осях 10–13

Расчеты на продавливание выполнены для перекрытий 2—6 этажей, плиты покрытия здания (рабочая высота сечения $h_0 = 20 - 4 = 16$ см), для подвального и надподвального перекрытий ($h_0 = 25 - 4 = 21$ см), для фундаментной плиты ($h_0 = 100 - 6,5 = 93,5$ см).

Для плит перекрытий выше отметки 0,000 минимальное расстояние от колонны до края плиты $x_0 - b/2 = 20$ см.

Нагрузки устанавливались при совместном действии всех вертикальных загрузок с коэффициентами сочетаний $\psi_1 = \psi_2 = 1$; $\psi_3 = 0,95$; $\psi_4 = \psi_5 = 0,9$.

Таблицы 4.1—4.4 содержат результаты расчетов на продавливание перекрытий. Сведения, представленные в них, достаточны как для конструирования, так и для проверки правильности вычислений. В таблицах указана суммарная площадь арматуры на пирамиде продавливания (то есть в пределах расстояния $\pm h_0/2$ от контура продавливания). Параметры армирования даны в заголовках таблиц.

Значения усилий получены с помощью процессора ЛИРА 9.4 «Нагрузка на фрагмент»: выбранная для расчета плита рассматривается как источник нагрузки на узлы колонн этой плиты и задается как «фрагмент». Узлы колонн в данном случае — это узлы примыкания фрагмента. После расчета нагрузки на выбранный фрагмент следует рассчитать РСН и отобразить искомые нагрузки на фрагмент в требуемом РСН. Именно они и служат продавливающими силами и моментами. На рис. 4.1—4.4 показаны эти нагрузки для перекрытия 4 этажа. На рис. 4.5 показаны колонны с выделением номеров узлов на перекрытии 4 этажа.

Для формирования продавливающих нагрузок в табличном виде создается форма интерактивной таблицы, в которую эти нагрузки выводятся. Выходные таблицы системы ЛИРА даны в разд. 7. Эти таблицы скопированы в соответствующие поля отчетных таблиц, после чего в отчетных таблицах уточнены знаки моментов, и номера узлов заменены их координатами.

В отчетных таблицах представлены расчеты не для всех колонн, а только для тех, которые полагались «опасными». Из расчетов исключались, например, колонны, в которых моменты на контуре продавливания оказывались меньше соответствующих моментов таких же уже рассчитанных колонн при тех же продавливающих силах.

Площадь арматуры, полученная при поперечном крестовидном армировании, должна быть скорректирована при переходе на армирование отгибами [1, разд. 5]: ее необходимо умножить на коэффициент $\sin^{-1}\alpha$. С учетом этого получаем:

для внутренних колонн на перекрытии толщ. 200 мм требуется поперечная арматура суммарной площади не более $12,5 \text{ см}^2$. В зоне продавливания имеется 16 пересечений отгибов пирамидой продавливания. Требуемая площадь сечения отгиба $12,5 \text{ см}^2 \times 1,44 / 16 = 1,13 \text{ см}^2$; рекомендуется арматура отгиба АIII Ø12 ($S = 1,13 \text{ см}^2$);

для колонн на ребре перекрытия толщ. 200 мм требуется поперечная арматура площади не более $6,0 \text{ см}^2$. В зоне продавливания имеется 12 пересечений отгибов пирамидой продавливания. Требуемая площадь сечения отгиба $6,0 \text{ см}^2 \times 1,44 / 12 = 0,72 \text{ см}^2$; рекомендуется арматура отгиба АIII Ø10 ($S = 0,79 \text{ см}^2$);

для колонн на углу перекрытия толщ. 200 мм требуется поперечная арматура площади не более $2,5 \text{ см}^2$. В зоне продавливания имеется 8 пересечений отгибов пирамидой продавливания. Требуемая площадь сечения отгиба $2,5 \text{ см}^2 \times 1,44 / 8 = 0,45 \text{ см}^2$; рекомендуется арматура отгиба АIII Ø10 ($S = 0,79 \text{ см}^2$);

для колонн на перекрытии толщ. 250 мм (все колонны внутренние) требуется поперечная арматура суммарной площади не более $17,5 \text{ см}^2$. В зоне продавливания имеется 16 пересечений отгибов пирамидой продавливания. Требуемая площадь сечения отгиба $17,5 \text{ см}^2 \times 1,38 / 16 = 1,51 \text{ см}^2$; рекомендуется арматура отгиба АIII Ø14 ($S = 1,59 \text{ см}^2$).

Дополнительно проводился расчет на продавливание — проверка по внешнему контуру за пределами армирования. Внешний контур рассматривался как прямоугольный, проходящий через концы отгибов согласно [1], а также как многоугольный, с отступом $h_0/2$ от концов отгибов (схемы многоугольного контура продавливания приводятся в разд. 6). Проверка подтвердила правильность предложенного армирования для всех зон продавливания.

Вывод: при армировании отгибами перекрытий рекомендуется использовать установку 4 отгибов арматуры АIII в каждом направлении, диаметры сечений отгибов: на перекрытиях толщ. 200 мм для внутренних колонн Ø12, для колонн на ребре Ø10, для колонн на углу плиты Ø10; на перекрытиях толщ. 250 мм Ø14.

Армирование фундаментной плиты в зонах продавливания выполняется равномерно расставленной поперечной арматурой. Результаты расчетов

сведены в табл. 4.5. Данные о нагрузках на контур продавливания получены с помощью расчетного процессора «Нагрузка на фрагмент».

Вывод: на фундаментной плите рекомендуемая суммарная площадь поперечной арматуры на расстоянии $h_0/2$ до колонны составляет 37 см^2 .

Таблица 4.1

Данные расчета на продавливание для 6 этажа
 $(h_0 = 16 \text{ см}; L_{sw\ x} = L_{sw\ y} = 42 \text{ см})$

Сечение колонны	Координаты колонны	Положение на плите	Продавливающая сила F , т	Изгибающие моменты, т·м		Допускаемая продавливающая сила для бетона $F_{ult\ b}$, т	Максимальное армирование $A_{\Sigma\ max}$, см ²	Минимальное армирование $A_{\Sigma\ min}$, см ²	Рекомендуемое армирование $A_{\Sigma\ sw}$, см ²	Использование несущей способности Сг-100%
				M_z	M_y					
400×400	11Ж	На ребре	25.846	10.604	-0.629	17.9	13.6	3.4	6.0	100.0
	12Г	На ребре	15.902	5.656	7.679	12.0	14.2	3.5	4.5	100.0
	12Е	Внутрен.	30.669	-2.402	10.563	18.0	17.6	4.4	12.5	100.0
	12Ж	На ребре	23.682	9.951	1.423	17.0	13.8	3.4	5.4	100.0
	13Ж	Угловая	11.538	4.653	-3.874	9.9	10.4	2.5	2.5	93.2
	11Е	Внутрен.	25.112	0.992	-3.887					

Таблица 4.2

Данные расчета на продавливание для 4 этажа
 $(h_0 = 16 \text{ см}; L_{sw\ x} = L_{sw\ y} = 42 \text{ см})$

Сечение колонны	Координаты колонны	Положение на плите	Продавливающая сила F , т	Изгибающие моменты, т·м		Допускаемая продавливающая сила для бетона $F_{ult\ b}$, т	Максимальное армирование $A_{\Sigma\ max}$, см ²	Минимальное армирование $A_{\Sigma\ min}$, см ²	Рекомендуемое армирование $A_{\Sigma\ sw}$, см ²	Использование несущей способности Сг-100%
				M_z	M_y					
400×400	11В	На ребре	21.158	9.964	-0.478	16.6	14.0	3.4	3.8	100.0
	11Г	Внутрен.	37.808	3.309	-1.978	27.9	17.1	4.3	6.1	100.0
	11Д	Внутрен.	37.542	-2.932	-2.399					
	11Е	На ребре	21.046	9.992	-0.986					
	12В	На ребре	20.664	9.213	1.299	16.3	13.9	3.4	3.7	100.0
	12Г	Внутрен.	27.293	0.658	9.857	18.8	17.5	4.4	7.9	100.0
	12Д	Внутрен.	26.848	-0.761	9.787					
	12Е	На ребре	20.711	9.480	1.097					
	13В	Угловая	9.423	3.412	-3.524	10.1	-	-	нет	92.8
	13Ж	Угловая	9.589	3.731	-3.532	9.8	-	-	нет	97.6

Таблица 4.3

Данные расчета на продавливание для 1 этажа
 $(h_0 = 21 \text{ см}; L_{swx} = L_{swy} = 42 \text{ см})$

Сечение колонны	Координаты колонны	Положение на плите	Продавливающая сила F , т	Изгибающие моменты, т·м		Допускаемая продавливающая сила для бетона F_{ultb} , т	Максимальное армирование $A_{\Sigma \max}$, см ²	Минимальное армирование $A_{\Sigma \min}$, см ²	Рекомендуемое армирование $A_{\Sigma sw}$, см ²	Использование несущей способности Сг-100%
				M_z	M_y					
400×400	11Б	Внутрен.	76.477	5.516	-1.780	44.4	24.3	6.1	17.5	100.0
	11В	Внутрен.	72.553	0.768	-1.449					
	11Г	Внутрен.	55.808	5.715	-2.860	39.8	24.6	6.1	9.9	100.0
	11Д	Внутрен.	57.351	-3.751	-2.895					
	11Ж	Внутрен.	57.374	-4.220	-2.534					
	11И	Внутрен.	70.367	-1.615	-0.193					
	11К	Внутрен.	68.774	1.925	-0.210					
	12А	Внутрен.	57.190	3.335	-0.228					
	12Б	Внутрен.	87.508	2.182	-0.402	51.2	23.9	6.0	16.9	100.0
	12В	Внутрен.	67.060	1.087	0.310					
	12Г	Внутрен.	45.044	3.496	4.626	38.0	24.7	6.2	6.2	94.7
	12Д	Внутрен.	45.632	-2.035	4.960					
	12Ж	Внутрен.	55.691	-3.814	-0.063					
	12И	Внутрен.	70.588	-1.691	-1.492	49.3	24.0	6.0	10.3	100.0
	12К	Внутрен.	67.777	1.864	-0.884					

Таблица 4.4

Данные расчета на продавливание для 1 уровня автостоянки
 $(h_0 = 21 \text{ см}; L_{swx} = L_{swy} = 42 \text{ см})$

Сечение колонны	Координаты колонны	Положение на плите	Продавливающая сила F , т	Изгибающие моменты, т·м		Допускаемая продавливающая сила для бетона F_{ultb} , т	Максимальное армирование $A_{\Sigma \max}$, см ²	Минимальное армирование $A_{\Sigma \min}$, см ²	Рекомендуемое армирование $A_{\Sigma sw}$, см ²	Использование несущей способности Сг-100%
				M_z	M_y					
400×400	11Б	Внутрен.	46.288	3.868	-0.530					
	11Г	Внутрен.	49.505	4.576	-1.982	41.3	24.5	6.1	6.1	95.9
	11Д	Внутрен.	50.146	-3.171	-1.782					

11Ж	Внутрен.	43.869	-4.717	-0.759					
11И	Внутрен.	46.716	-2.035	1.305					
11К	Внутрен.	45.923	2.882	0.819					
12А	Внутрен.	35.188	0.332	-0.883					
12Б	Внутрен.	50.124	1.680	-2.199	46.0	24.2	6.0	6.0	87.0
12В	Внутрен.	45.975	3.033	-1.486					
12Г	Внутрен.	40.214	3.116	1.882					
12Д	Внутрен.	40.031	-2.027	2.251					
12Ж	Внутрен.	42.529	-4.475	-1.493	40.7	24.5	6.1	6.1	83.5
12И	Внутрен.	46.431	-2.169	-3.506					
12К	Внутрен.	49.240	3.555	-2.631	41.9	24.4	6.1	6.1	94.0
11В	Внутрен.	50.985	2.521	-0.164					

Таблица 4.5

Данные расчета на продавливание для ФП
($h_0 = 63,5$ см)

Сечение колонны	Координаты колонны	Положение на плите	Продавливающая сила F , т	Изгибающие моменты, т*м		Допускаемая продавливающая сила для бетона F_{ultb} , т	Рекомендуемое армирование $A_{\Sigma sw}$, см ²
				M_z	M_y		
400×400	11Б	Внутрен.	125.185	-1.562	1.716		
	11В	Внутрен.	242.760	2.477	0.842		
	11Г	Внутрен.	355.782	1.253	-0.747	279	33,3
	11Д	Внутрен.	363.618	-0.784	-0.608	280	36,4
	11Ж	Внутрен.	243.630	-3.195	0.825		
	11И	Внутрен.	119.503	-1.480	2.100		
	11К	Внутрен.	117.117	2.474	1.601	268	нет
	12А	Внутрен.	94.798	-4.357	-1.316		
	12Б	Внутрен.	140.052	0.010	-2.972		
	12В	Внутрен.	229.677	3.284	-3.072		
	12Г	Внутрен.	255.022	1.737	-3.488	273	нет
	12Д	Внутрен.	263.560	-1.262	-3.338	274	нет
	12Ж	Внутрен.	237.340	-3.525	-3.025		
	12И	Внутрен.	119.439	-1.499	-3.733		
	12К	Внутрен.	119.437	2.546	-2.915	264	нет

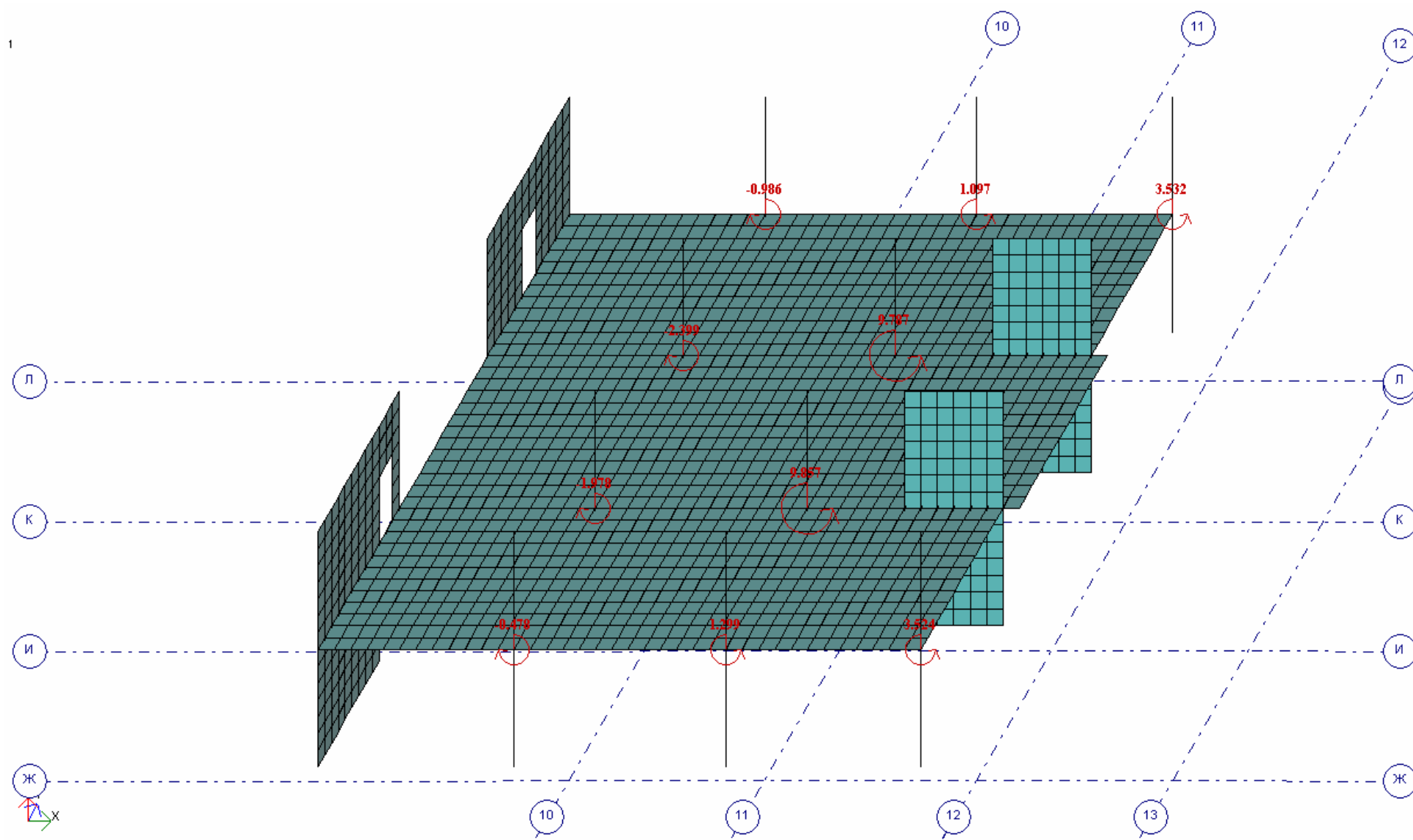


Рис. 4.1. Вид 4 этажа здания с указанием моментов, приложенных к узлам от фрагмента (перекрытия)

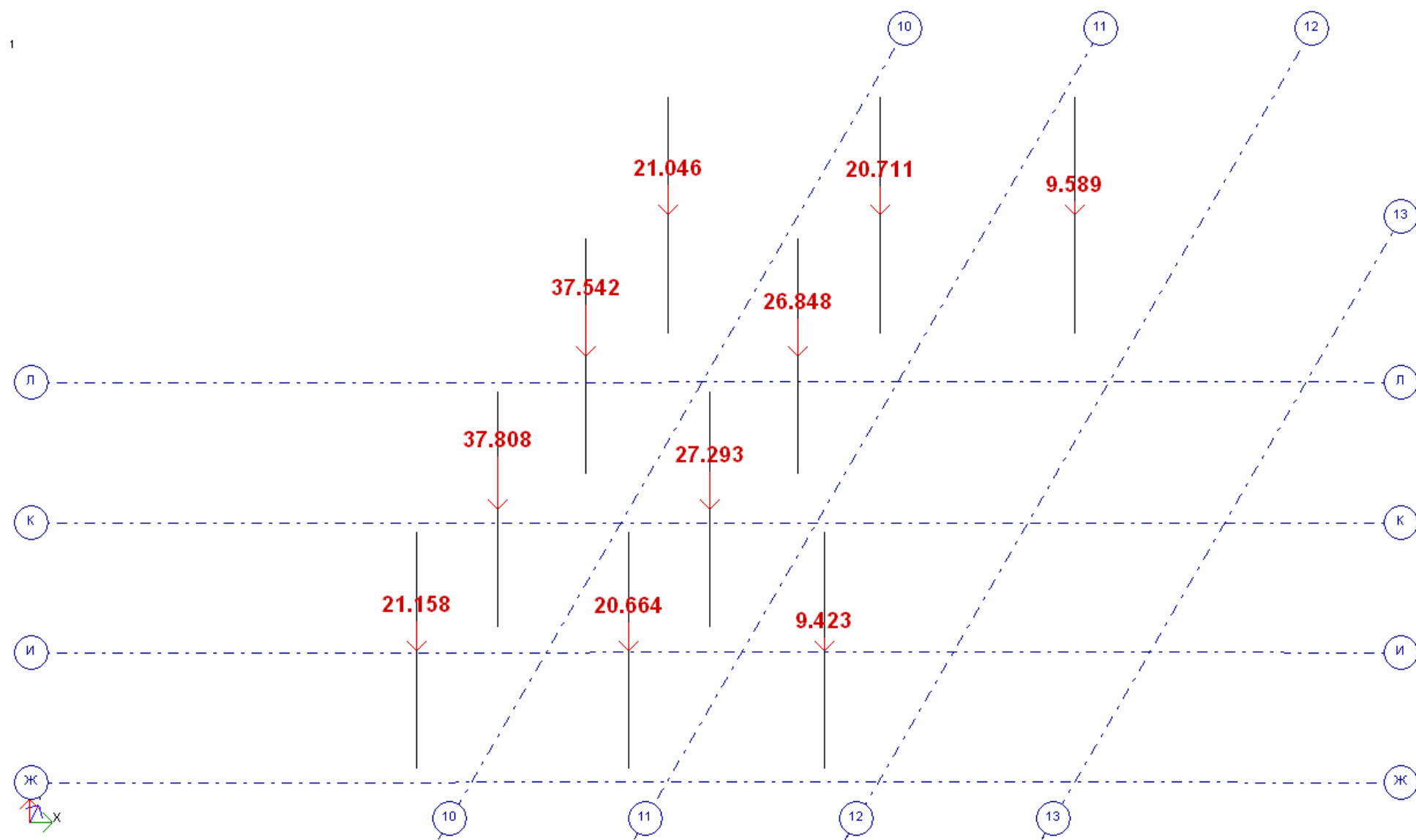


Рис. 4.2. Продавливающие силы

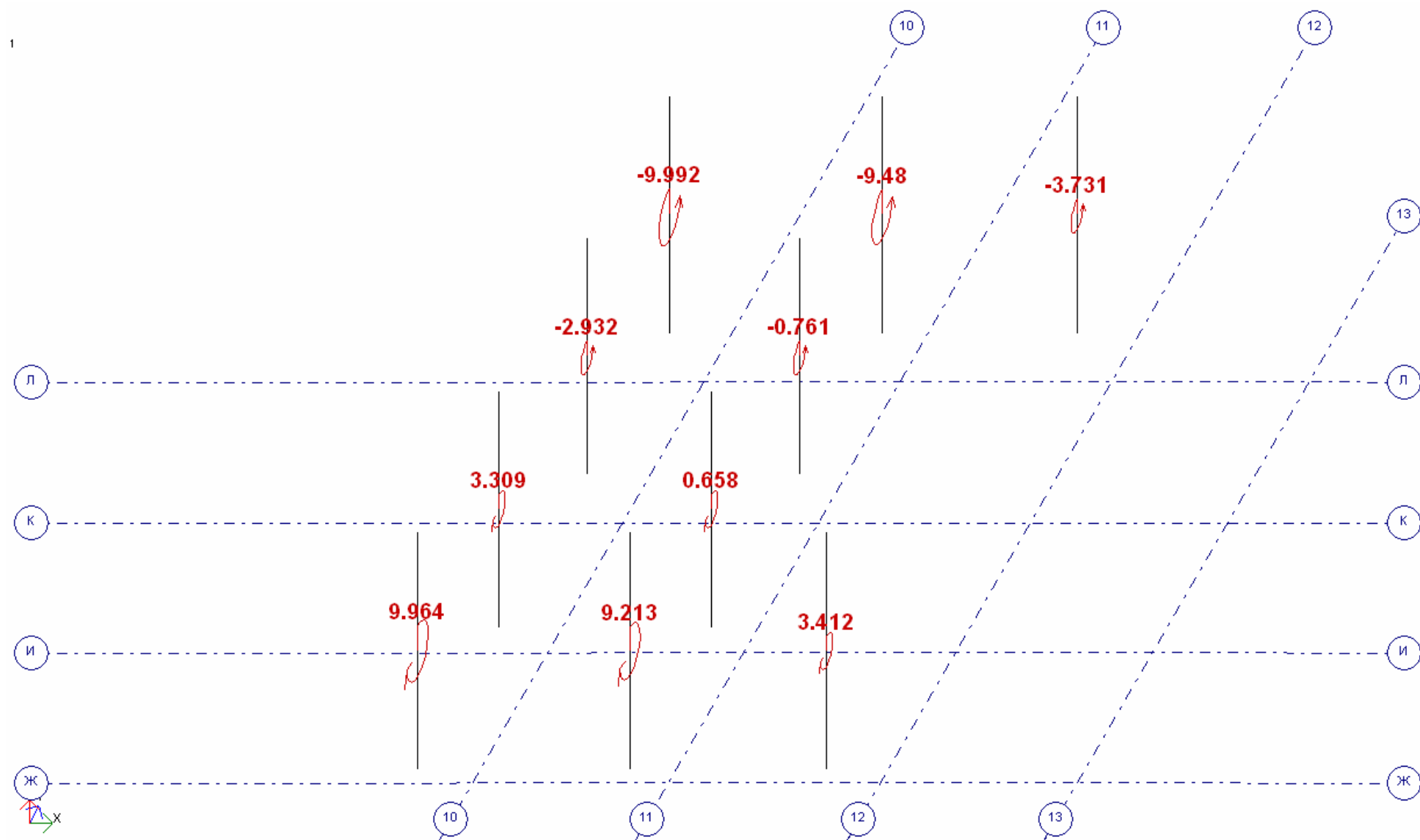


Рис. 4.3. Продавливающие моменты

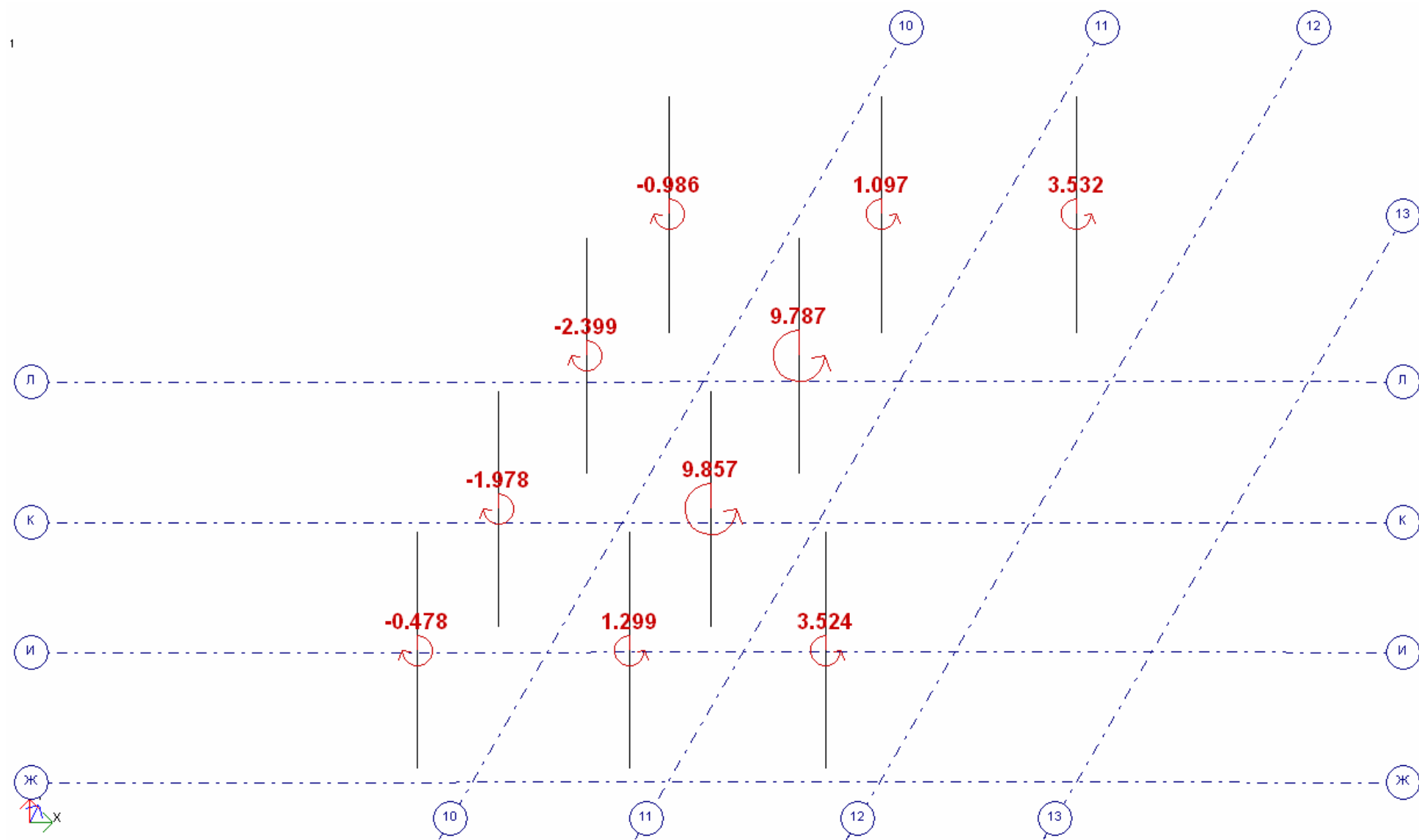


Рис. 4.4. Продавливающие моменты

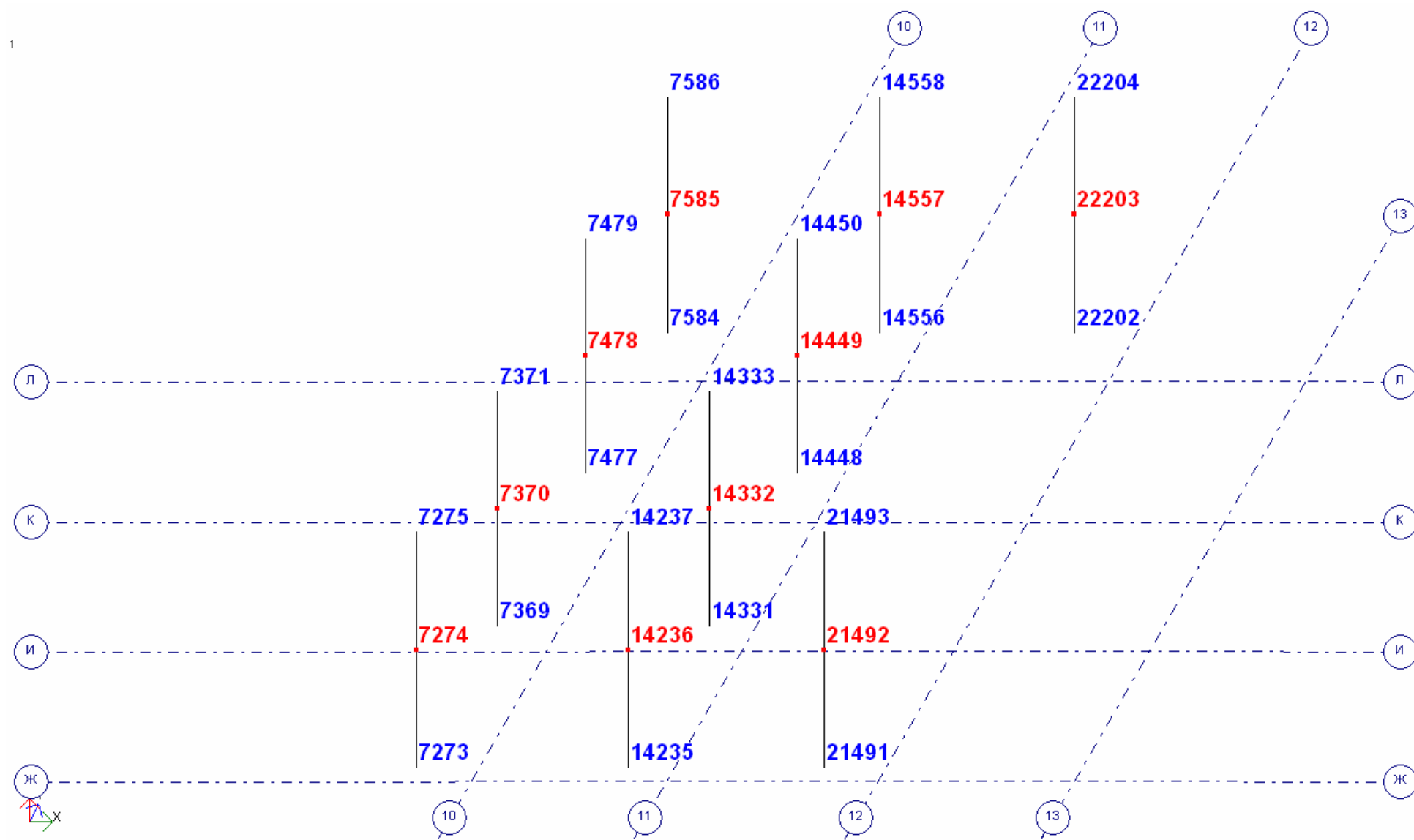


Рис. 4.5. Номера узлов колонн: выделены узлы примыкания фрагмента

5. Дополнительные материалы: расчет геометрических характеристик контура продавливания

В случае колонны внутри плана плиты перекрытия (рис. 2.1) расчетные соотношения для моментов инерции контура продавливания имеют вид:

$$L_x = b + h_0; \quad L_y = a + h_0; \quad (5.1)$$

$$I_{b\ y} = L_x^2 \left(\frac{L_x}{6} + \frac{L_y}{2} \right); \quad (5.2)$$

$$I_{sw\ y} = \frac{L_{sw\ x}^3}{6} + L_x^2 \frac{L_{sw\ y}}{2}; \quad (5.3)$$

$$I_{b\ x} = L_y^2 \left(\frac{L_y}{6} + \frac{L_x}{2} \right); \quad (5.4)$$

$$I_{sw\ x} = \frac{L_{sw\ y}^3}{6} + L_y^2 \frac{L_{sw\ x}}{2}. \quad (5.5)$$

В случае колонны на ребре плиты перекрытия (рис. 2.2) расчетные соотношения для геометрических характеристик контура продавливания имеют вид:

$$k = \frac{0,8R_{sw}A}{R_{bt}h_0}; \quad (5.6)$$

$$L_x = x_0 + b/2 + h_0/2; \quad L_y = a + h_0; \quad (5.7)$$

$$u = 2L_x + L_y; \quad u_{sw} = 2L_{sw\ x} + L_{sw\ y}; \quad (5.8)$$

$$u_{red} = u + ku_{sw}; \quad (5.9)$$

$$x_{out} = \frac{L_x(L_x + L_y) + k(L_x L_{sw\ y} + 2L_{sw\ x} x_0)}{u_{red}}; \quad (5.10)$$

$$x_{in} = L_x - x_{out}; \quad (5.11)$$

$$I_{b\ y} = 2 \left[\frac{(L_x - x_{out})^3}{3} + \frac{x_{out}^3}{3} \right] + L_y x_{in}^2; \quad (5.12)$$

$$I_{sw\ y} = 2 \left[\frac{\left(x_0 + \frac{L_{sw\ x}}{2} - x_{out} \right)^3}{3} - \frac{\left(x_0 - \frac{L_{sw\ x}}{2} - x_{out} \right)^3}{3} \right] + L_{sw\ y} x_{in}^2; \quad (5.13)$$

$$I_{b\ x} = L_y^2 \left(\frac{L_y}{12} + \frac{L_x}{2} \right); \quad (5.14)$$

$$I_{sw\ x} = \frac{L_{sw\ y}^3}{12} + L_y^2 \frac{L_{sw\ x}}{2}. \quad (5.15)$$

В случае колонны на углу плиты перекрытия (рис. 2.3) расчетные соотношения для геометрических характеристик контура продавливания имеют вид:

$$k = \frac{0,8R_{sw}A}{R_{bt}h_0}; \quad (5.16)$$

$$L_x = x_0 + a/2 + h_0/2; \quad (5.17)$$

$$u = 2L_x; \quad u_{sw} = 2L_{sw\ x} \quad (5.18)$$

$$u_{red} = u + ku_{sw}; \quad (5.19)$$

$$x_{in} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}L_x^2 + k\frac{1}{\sqrt{2}}(L_x - x_0)2L_{sw\ x}}{u_{red}}; \quad (5.20)$$

$$x_{out} = \frac{L_x}{\sqrt{2}} - x_{in}; \quad (5.21)$$

$$I_{b\ y} = \frac{L_x^3}{12} + \left(x_{in} - \frac{L_x}{2\sqrt{2}} \right)^2 2L_x; \quad (5.22)$$

$$I_{sw\ y} = \frac{L_{sw\ x}^3}{12} + \left[\frac{1}{\sqrt{2}}(L_x - x_0) - x_{in} \right]^2 2L_{sw\ x}; \quad (5.23)$$

$$I_{b\ x} = \frac{L_x^3}{3}; \quad (5.24)$$

$$I_{sw\ x} = \frac{L_{sw\ x}^3}{12} + (L_x - x_0)^2 L_{sw\ x}. \quad (5.25)$$

6. Дополнительные материалы: расчетные схемы для проверки по внешнему контуру продавливания

На рис. 6.1—6.6 приводятся схемы контура продавливания за пределами зоны армирования при крестовидной установке поперечной арматуры. На схемах показаны также нагрузки на колонну со стороны монолитной плиты.

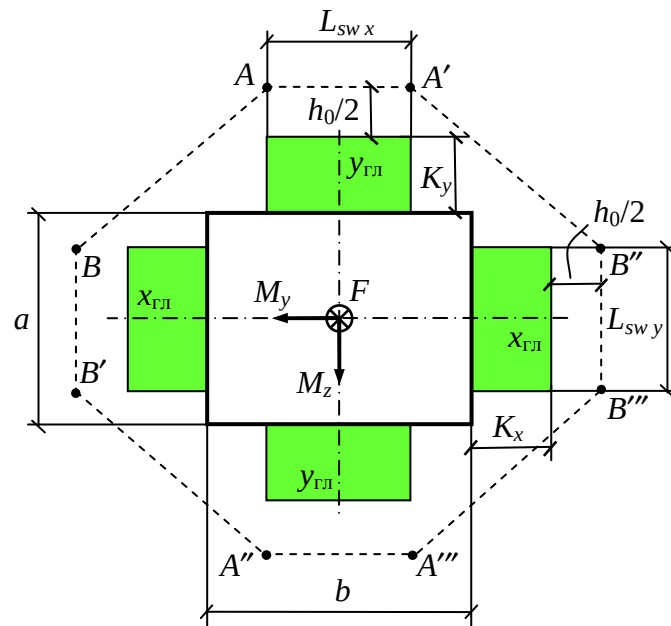


Рис. 6.1. Сечение колонны и расчетный контур продавливания для плиты перекрытия.

$x_{\text{гл}}, y_{\text{гл}}$ — главные центральные оси контура;

$L_{\text{sw}x} \times K_y, L_{\text{sw}y} \times K_x$ — зоны установки поперечной арматуры (расположены симметрично относительно главных осей, выделены зеленым цветом);

$A, A', A'', A''', B, B', B'', B'''$ — опасные точки на расчетном контуре продавливания

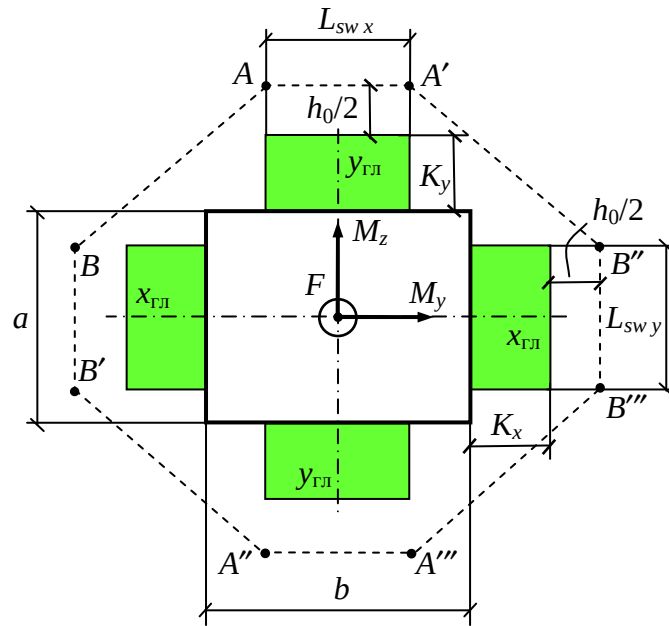


Рис. 6.2. Сечение колонны и расчетный контур продавливания для ФП.

$x_{\text{ГЛ}}, y_{\text{ГЛ}}$ — главные центральные оси контура;

$L_{\text{sw } x} \times K_y, L_{\text{sw } y} \times K_x$ — зоны установки поперечной арматуры (расположены симметрично относительно главных осей, выделены зеленым цветом);

$A, A', A'', A''', B, B', B'', B'''$ — опасные точки на расчетном контуре продавливания

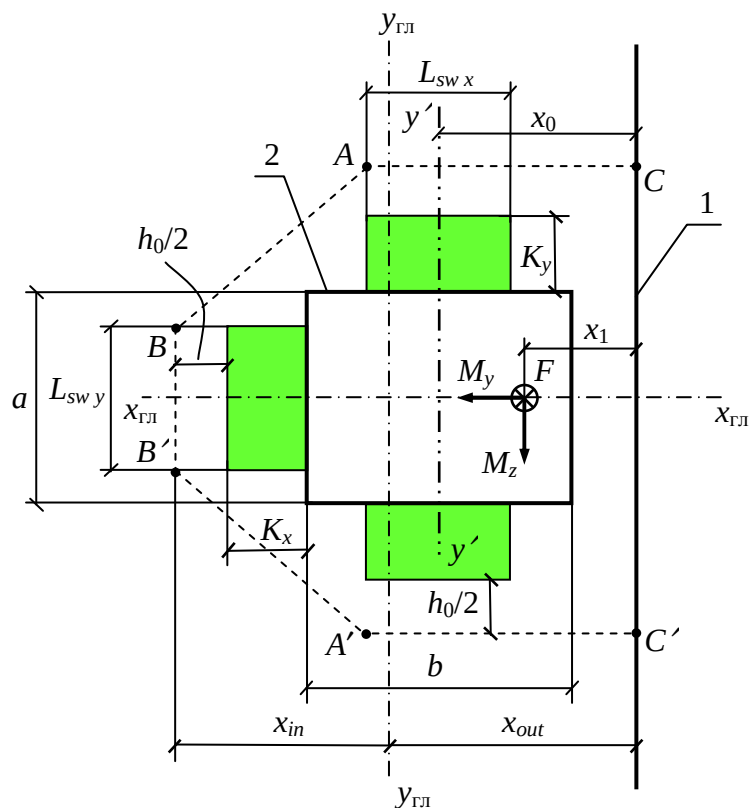


Рис. 6.3. Сечение капители и расчетный контур продавливания для плиты перекрытия.

$x_{ГЛ}, y_{ГЛ}$ — главные центральные оси контура;

y' — ось симметрии капители;

$L_{sw\ x} \times K_y, L_{sw\ y} \times K_x$ — зоны установки поперечной арматуры (расположены симметрично относительно главной оси $x_{ГЛ}$, выделены зеленым цветом);

A, A', B, B', C, C' — опасные точки на расчетном контуре продавливания

1 — ребро плиты; 2 — капитель

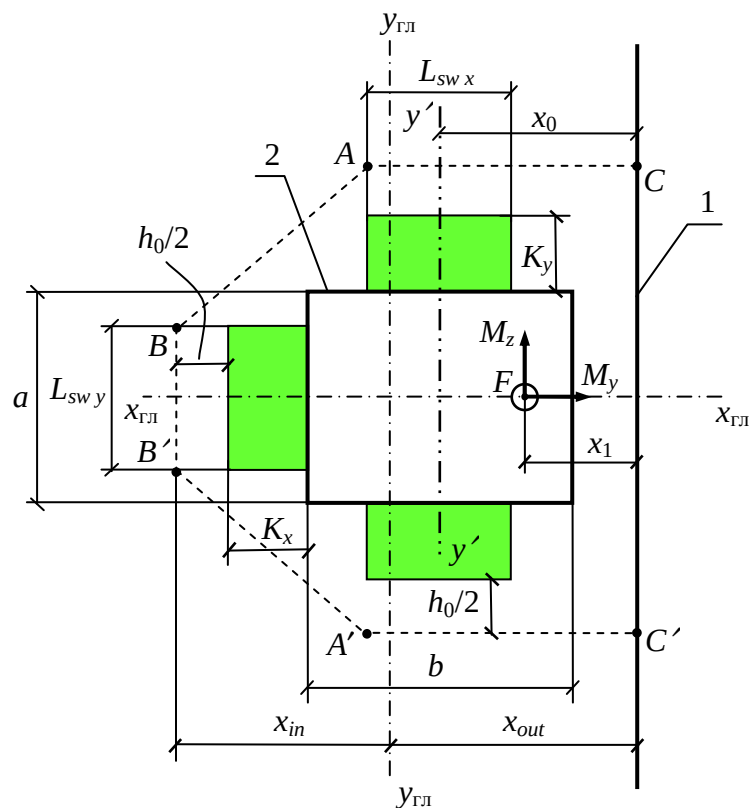


Рис. 6.4. Сечение базы и расчетный контур продавливания для ФП.

$x_{\text{гл}}, y_{\text{гл}}$ — главные центральные оси контура;

y' — ось симметрии базы;

$L_{\text{sw } x} \times K_y, L_{\text{sw } y} \times K_x$ — зоны установки поперечной арматуры (расположены симметрично относительно главной оси $x_{\text{гл}}$, выделены зеленым цветом);

A, A', B, B', C, C' — опасные точки на расчетном контуре продавливания

1 — ребро плиты; 2 — база





7. Дополнительные материалы: интерактивные таблицы ЛИР-ВИЗОР с результатами расчета продавливающих усилий

Нагрузка на
фрагмент, 6 этаж

№ узла	Нагрузка на фрагмент		
	Pz (т)	Mx (т*м)	My (т*м)
7588	25.846	-10.604	-0.629
14335	15.902	5.656	7.679
14452	30.669	-2.402	10.563
14560	23.682	-9.951	1.423
23852	11.538	-4.653	3.874
23856	25.112	0.992	-3.887

Нагрузка на
фрагмент, 4 этаж

№ узла	Нагрузка на фрагмент		
	Pz (т)	Mx (т*м)	My (т*м)
7274	21.158	9.964	-0.478
7370	37.808	3.309	-1.978
7478	37.542	-2.932	-2.399
7585	21.046	-9.992	-0.986
14236	20.664	9.213	1.299
14332	27.293	0.658	9.857
14449	26.848	-0.761	9.787
14557	20.711	-9.480	1.097
21492	9.423	3.412	3.524
22203	9.589	-3.731	3.532

Нагрузка на
фрагмент, 1 этаж

№ узла	Нагрузка на фрагмент		
	Pz (т)	Mx (т*м)	My (т*м)
7236	76.477	5.516	-1.780
7271	72.553	0.768	-1.449
7367	55.808	5.715	-2.860
7475	57.351	-3.751	-2.895
7582	57.374	-4.220	-2.534
7621	70.367	-1.615	-0.193
7654	68.774	1.925	-0.210
14164	57.190	3.335	-0.228
14197	87.508	2.182	-0.402
14233	67.060	1.087	0.310
14329	45.044	3.496	4.626
14446	45.632	-2.035	4.960
14554	55.691	-3.814	-0.063
14593	70.588	-1.691	-1.492
14626	67.777	1.864	-0.884

Нагрузка на фрагмент,
1 уровень а/с

№ узла	Нагрузка на фрагмент		
	Pz (т)	Mx (т*м)	My (т*м)
7235	46.288	3.868	-0.530
7366	49.505	4.576	-1.982
7474	50.146	-3.171	-1.782
7581	43.869	-4.717	-0.759
7620	46.716	-2.035	1.305
7653	45.923	2.882	0.819
14163	35.188	0.332	-0.883
14196	50.124	1.680	-2.199
14232	45.975	3.033	-1.486
14328	40.214	3.116	1.882
14445	40.031	-2.027	2.251
14553	42.529	-4.475	-1.493
14592	46.431	-2.169	-3.506
14625	49.240	3.555	-2.631
23226	50.985	2.521	-0.164

Нагрузка на фрагмент, фундамент

№ узла	Нагрузка на фрагмент		
	Pz (Т)	Mx (Т*М)	My (Т*М)
7234	-125.185	-1.562	1.716
7270	-242.760	2.477	0.842
7365	-355.782	1.253	-0.747
7473	-363.618	-0.784	-0.608
7580	-243.630	-3.195	0.825
7619	-119.503	-1.480	2.100
7652	-117.117	2.474	1.601
14162	-94.798	-4.357	-1.316
14195	-140.052	0.010	-2.972
14231	-229.677	3.284	-3.072
14327	-255.022	1.737	-3.488
14444	-263.560	-1.262	-3.338
14552	-237.340	-3.525	-3.025
14591	-119.439	-1.499	-3.733
14624	-119.437	2.546	-2.915

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка методики расчета и конструирования монолитных железобетонных безбалочных перекрытий, фундаментных плит и ростверков на продавливание. Научно-технический отчет. Руководитель темы А.С. Залесов. М.: ГУП «НИИЖБ», 2002.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). М.: ОАО ЦНИИПромзданий, 2005.