

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ  
ПЛИТ БЕЗРИГЕЛЬНЫХ  
ПЕРЕКРЫТИЙ НА  
ПРОДАВЛИВАНИЕ

Жуковская К.С.

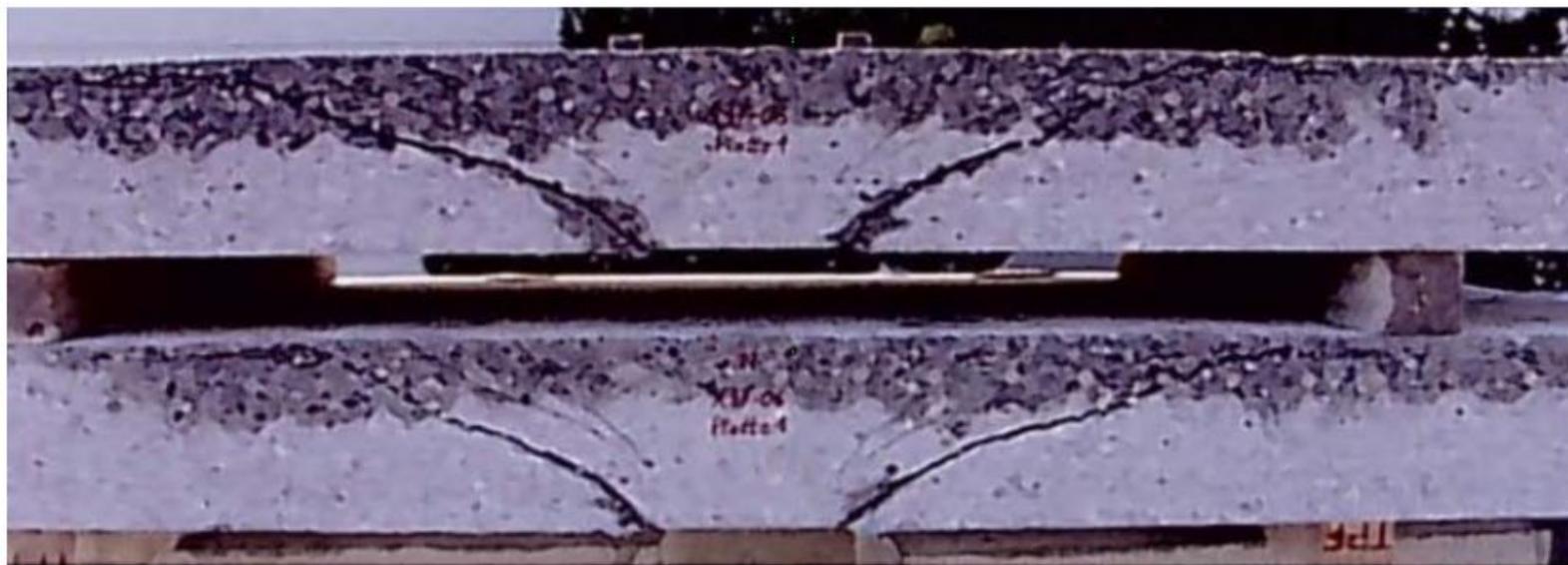
Научный руководитель – к.т.н., доцент Балушкин А.Л.

# Актуальность работы

При проектировании монолитных безбалочных перекрытий, возникают вопросы об обеспечении прочности плит на продавливание и о конструировании и расчете стыков колонн с перекрытиями.

Исследования стыков колонн с перекрытиями необходимо, так как с конструктивной точки зрения данные узловые сопряжения являются «слабым местом» в каркасе здания из-за небольшой толщины плиты перекрытия и насыщенности её продольной и поперечной арматурой.

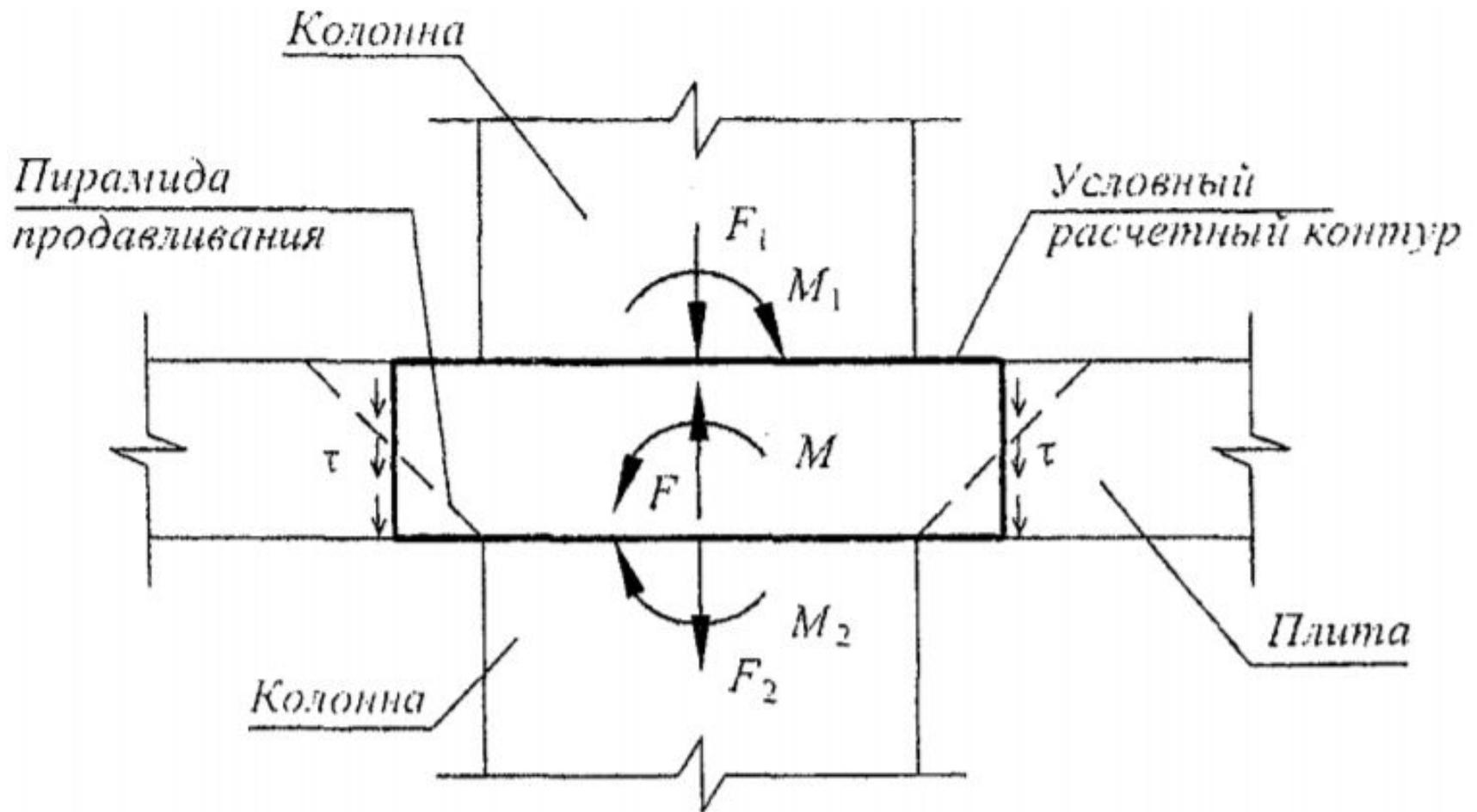
Продавливание – механизм разрушения плиты от приложения нагрузки в виде сосредоточенных сил, действующих по ограниченной площадке, связанный с разрушением плиты вокруг этой площадки с выделением из плиты, тела в форме усеченного конуса (пирамиды).



Расчеты по прочности плит на продавливание и на установку арматуры производятся по СП 63.13330-2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Расчеты на продавливание производят для плоских железобетонных элементов при действии на них (нормально к плоскости элемента) местных, концентрированно приложенных усилий – сосредоточенных силы и изгибающего момента.

# Условная модель для расчета на продавливание



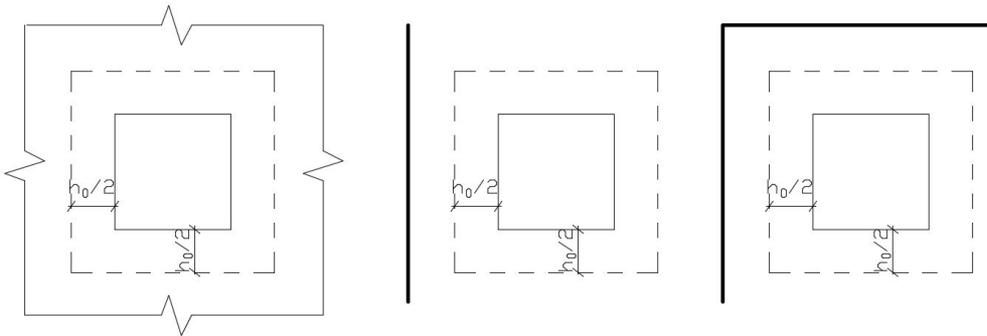


# СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ ПО НОРМАМ РФ И ЕВРОКОДУ

# Расчетное поперечное сечение, расположенное вокруг зоны передачи усилий на элемент на расстоянии

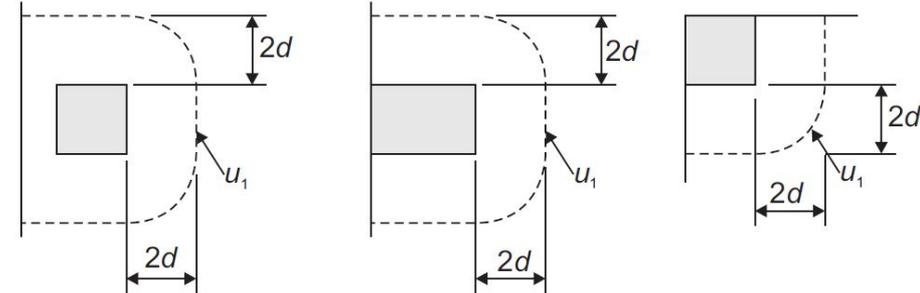
СП 63.13330.2012

$h_0/2$ , где  $h_0$  – приведенная  
рабочая высота сечения



Eurocode 2 EN 1992-1-1-2009

$2,0d$ , где  $d$  – полезная высота  
сечения



# Приведенная рабочая (полезная) высота сечения

СП 63.13330.2012

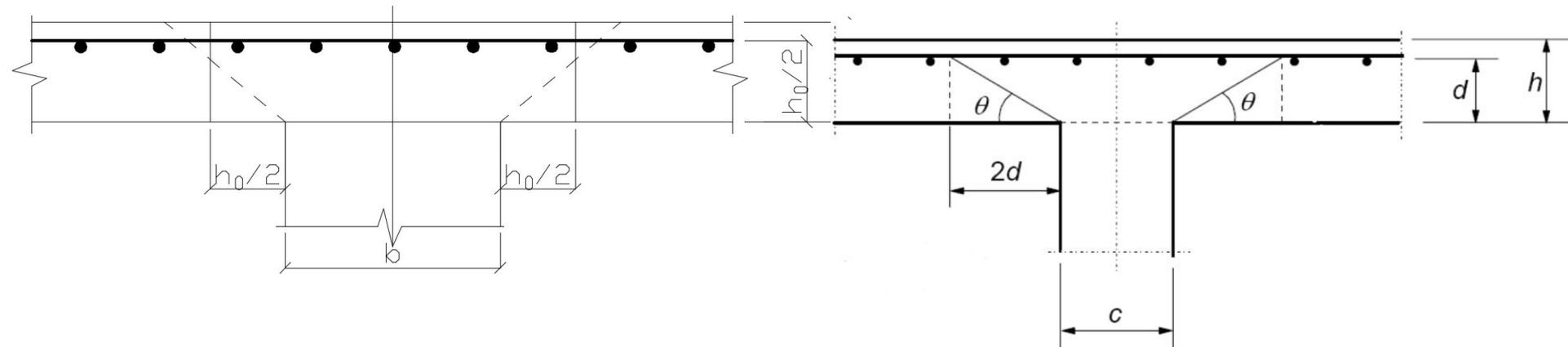
$$h_0 = \frac{h_{0x} + h_{0y}}{2}$$

где  $h_{0x}$  и  $h_{0y}$  – рабочая высота сечения для продольной арматуры, расположенной в направлении осей X и Y

Eurocode 2 EN 1992-1-1-2009

$$d_{eff} = \frac{d_y + d_z}{2}$$

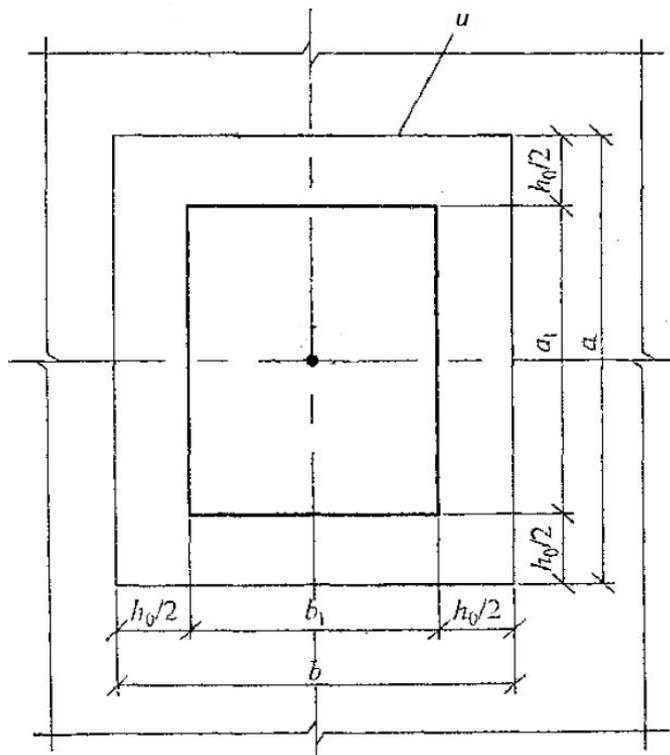
где  $d_y$  и  $d_z$  – полезная высота для арматуры в двух ортогональных направлениях



# Периметр контура расчетного поперечного сечения (контрольный периметр), определяемый

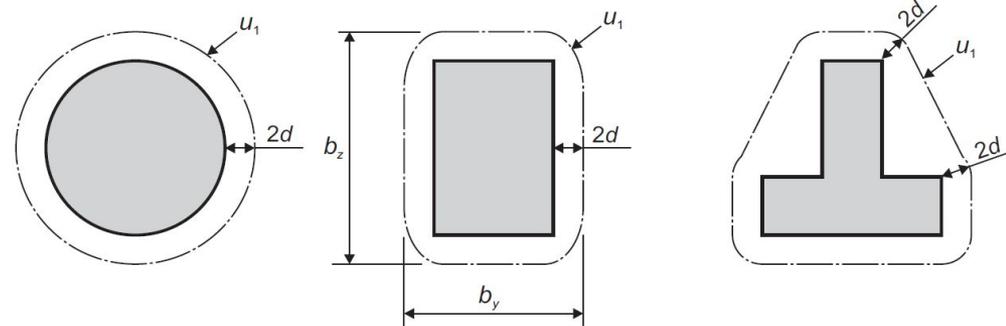
СП 63.13330.2012

$$u = 2 \cdot (a + b + 2 \cdot h_0)$$



Eurocode 2 EN 1992-1-1-2009

$$u_i = 2 \cdot (b + a) + \pi \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot d$$



# Расчет на продавливание при действии сосредоточенной силы

СП 63.13330.2012

$$F \leq F_{b,ult}$$

где  $F$  – сосредоточенная сила от внешней нагрузки;

$F_{b,ult}$  – предельное усилие, воспринимаемое бетоном

$$F_{b,ult} = R_{bt} \cdot A_b$$

где  $A_b$  – площадь расчетного поперечного сечения, определяемая ;

$R_{bt}$  – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению

Eurocode 2 EN 1992-1-1-2009

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$$

где  $v_{Ed}$  – расчетное значение поперечного усилия;

$v_{Rd,c}$  – расчетное значение сопротивления продавливанию плиты без поперечной арматуры

$$v_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,1 \cdot \sigma_{cp}$$

где  $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  (масштабный фактор),  
 $\leq 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} + 0,1 \cdot \sigma_{cp}$

$\rho_1 = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} \leq 0,02$  – усредненный коэффициент продольного армирования;

$f_{ck}$  – характеристическая прочность бетона на сжатие;

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy} + \sigma_{cz}}{2}$$

здесь  $\sigma_{cy}$ ,  $\sigma_{cz}$  – нормальные напряжения в бетоне в направлениях  $y$  и  $z$  в критическом сечении

$$\sigma_{cy} = \frac{N_{Edy}}{A_{cy}} \text{ и } \sigma_{cz} = \frac{N_{Edz}}{A_{cz}}$$

$N_{Edy}$ ,  $N_{Edz}$  – продольные усилия, которые действуют для внутренних опоры во всей зоне в пределах площади рассматриваемого круглого сечения, и продольные усилия, которые действуют для угловых колонн в площади рассматриваемого круглого сечения;

$A_c$  – площадь бетона согласно определению  $N_{Ed}$

# Расчет элементов с поперечной арматурой на продавливание при действии сосредоточенной силы

СП 63.13330.2012

$$F \leq F_{b,ult} + F_{sw,ult}$$

где  $F$  – предельное усилие, воспринимаемое поперечной арматурой при продавливании;

$F_{b,ult}$  – предельное усилие, воспринимаемое бетоном  $F_{sw,ult} = 0,8q_{sw} \cdot u$ ,

где  $q_{sw}$  – усилие в поперечной арматуре на единицу длины контура расчетного поперечного сечения, расположенной в пределах расстояния  $0,5h_0$  по обе стороны от контура расчетного сечения

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_w},$$

где  $A_{sw}$  – площадь сечения поперечной арматуры с шагом  $s_w$ , расположенная в пределах расстояния  $0,5h_0$  по обе стороны от контура расчетного поперечного сечения по периметру контура расчетного поперечного сечения;

$u$  – периметр контура расчетного поперечного сечения.

Eurocode 2 EN 1992-1-1-2009

$$v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} A_{sw} f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \cdot \sin \alpha,$$

где  $A_{sw}$  – площадь сечения поперечной арматуры одного периметра вокруг колонны;

$s_r$  – радиальное расстояние между периметрами поперечной арматуры;

$f_{ywd,ef}$  – эффективное расчетное значение сопротивления поперечной арматуры согласно  $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d \leq$

$f_{fwd}$ ;

$u_1$  – контрольный периметр;

$d$  – среднее значение полезной (рабочей) высоты в ортогональных направлениях;

$\alpha$  – угол между поперечной арматурой и плоскостью плиты.

# Расчет элементов на продавливание при действии сосредоточенных силы и изгибающего момента

СП 63.13330.2012

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M}{M_{b,ult}} \leq 1,$$

где  $F$  – сосредоточенная сила от внешней нагрузки;

$M$  – сосредоточенный изгибающий момент от внешней нагрузки, учитываемый при расчете на продавливание;

$F_{b,ult}$ ,  $M_{b,ult}$  – предельные сосредоточенные сила и изгибающий момент, которые могут быть восприняты бетоном в расчетном поперечном сечении при их раздельном действии.

$$M_{b,ult} = R_{bt} \cdot W_b \cdot h_0,$$

где  $W_b$  – момент сопротивления расчетного поперечного сечения.

Eurocode 2 EN 1992-1-1-2009

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i d'}$$

где  $d$  – средняя полезная высота плиты;

$u_i$  – длина рассматриваемого контрольного периметра

$\beta$  – коэффициент

$$\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_i}{W_i}$$

$u_i$  – длина основного контрольного периметра;

$k$  – коэффициент, зависящий от отношения размеров колонны  $c_1$  и  $c_2$ ; его значение является функцией пропорции неуравновешенного момента, переданного поперечной силой и совместно изгибом и кручением;

$W_i$  – соответствует распределению поперечного усилия

# При действии изгибающих моментов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях расчет производят из условия

## СП 63.13330.2012

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{bx,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult}} \leq 1,$$

где  $F$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  – сосредоточенные сила и изгибающие моменты в направлениях осей  $X$  и  $Y$ , учитываемые при расчете на продавливание, от внешней нагрузки;

$F_{b,ult}$ ,  $M_{bx,ult}$ ,  $M_{by,ult}$  – предельные сосредоточенные сила и изгибающие моменты в направлениях осей  $X$  и  $Y$ , которые могут быть восприняты бетоном в расчетном поперечном сечении при их раздельном действии.

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_x}{M_{bx,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult} + M_{sw,y,ult}} \leq 1,$$

$F_{sw,ult}$ ,  $M_{sw,x,ult}$ ,  $M_{sw,y,ult}$  – предельные сосредоточенные сила и изгибающие моменты в направлениях  $X$  и  $Y$ , которые могут быть восприняты поперечной арматурой при их раздельном действии

$$M_{sw,ult} = 0,8 \cdot q_{sw} \cdot W_{sw}$$

## Eurocode 2 EN 1992-1-1-2009

Для внутренней прямоугольной колонны

$$\beta = 1 + 1,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2},$$

где  $e_y$  и  $e_z$  – эксцентриситеты  $M_{Ed}/V_{Ed}$ , соответственно вдоль осей  $y$  и  $z$ ;

$b_y$  и  $b_z$  – размеры контрольного периметра.

$$\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \cdot \frac{u_1}{W_1} \cdot e_{par},$$

$u_1$  – основной контрольный периметр;

$u_{1*}$  – уменьшенный основной контрольный периметр;

$e_{par}$  – эксцентриситет параллельно краю плиты, определяемый по моменту относительно оси, перпендикулярной краю плиты;

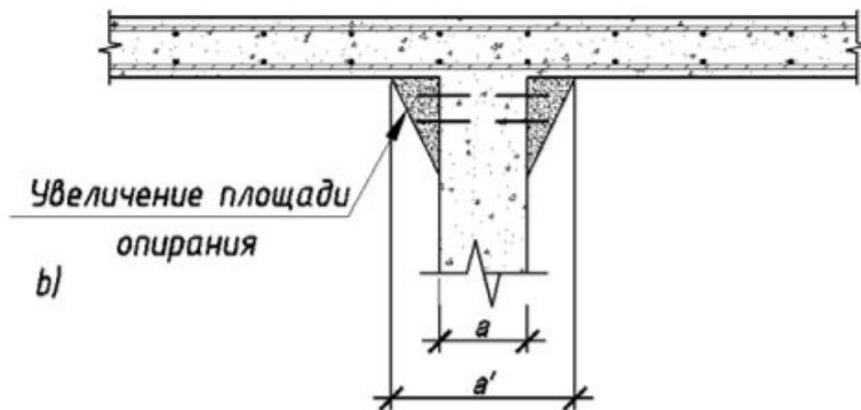
$k$  – коэффициент;

$W_1$  – рассчитано для основного контрольного периметра  $u_1$ .

## Конструктивные решения обеспечения прочности плит перекрытий на продавливание.

- путем увеличения площади опирания плиты;
- путем увеличения рабочей толщины плиты;
- путем постановки поперечной арматуры.

# Основные типы обеспечения прочности плит на продавливание

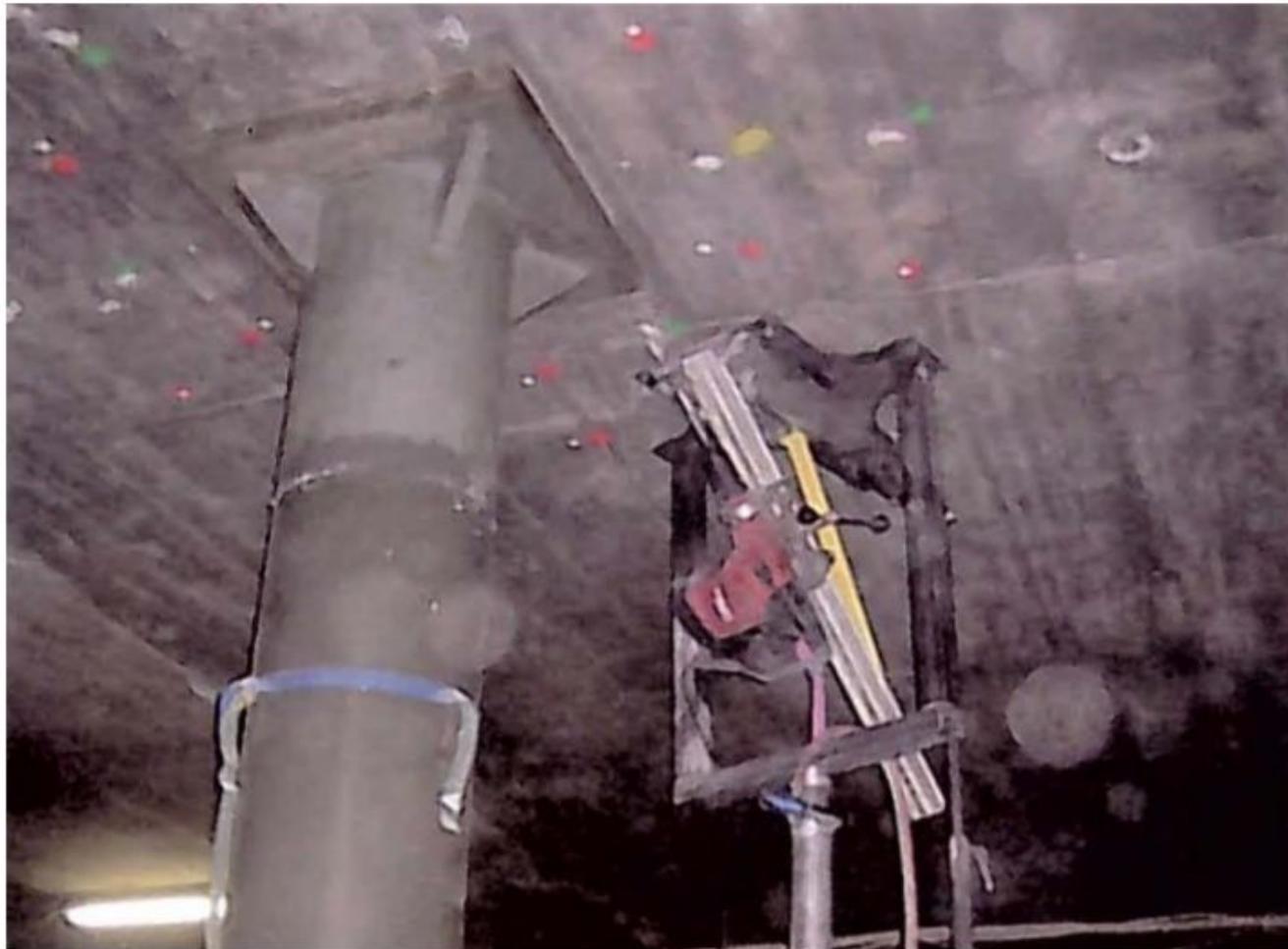


# Технологии обеспечения прочности плит на продавливание зарубежных компаний

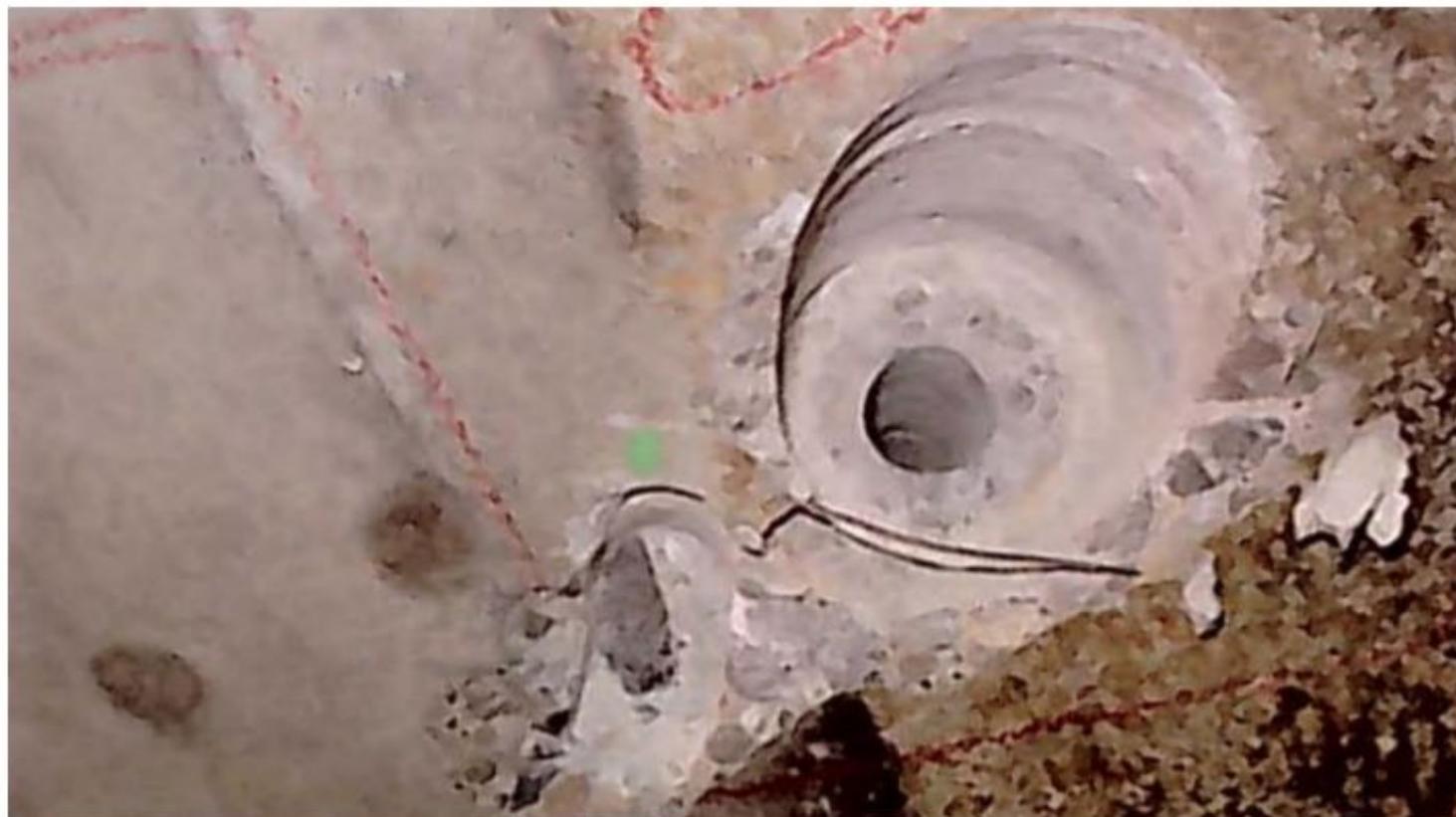
В настоящее время многие строительные компании пытаются разработать технологию для укрепления плит перекрытий на продавливание.

В данной научной работе мною рассмотрены технологии компании HILTI и HALFEN.

# Бурение отверстия в потолке под углом 45°



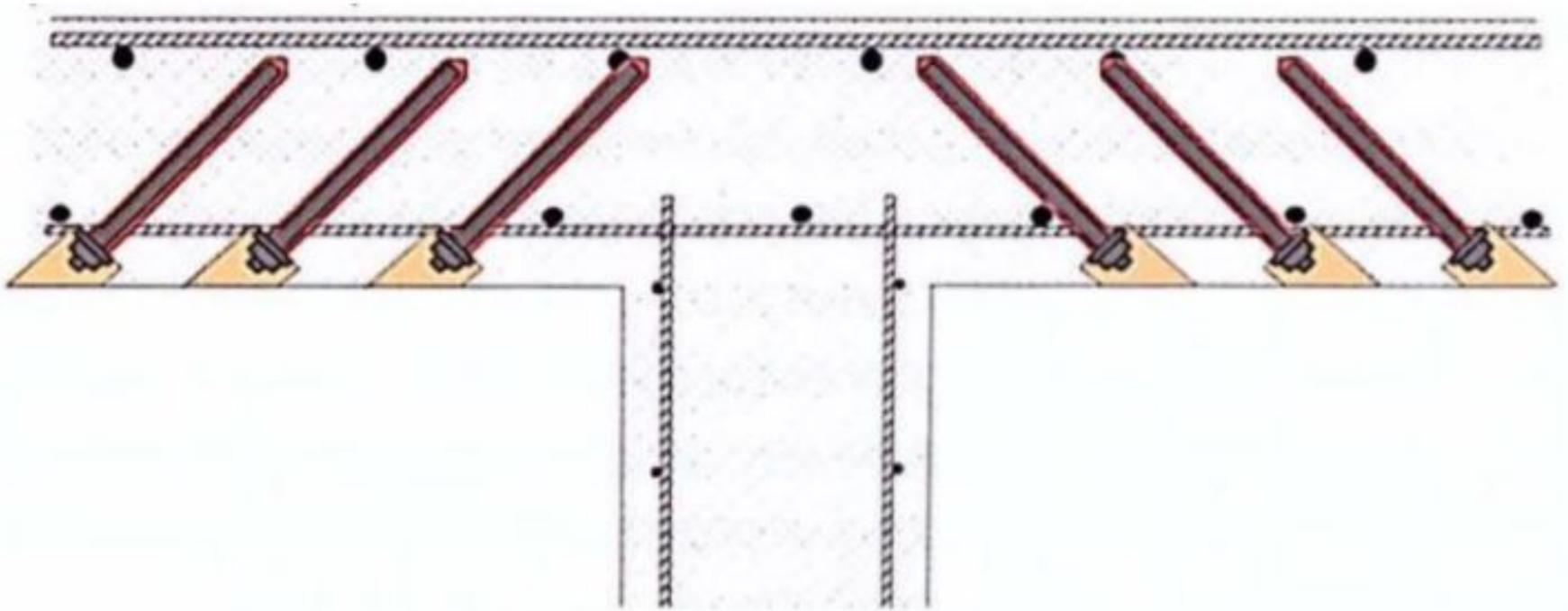
# Пробуренное отверстие с расширенной под анкер горловиной



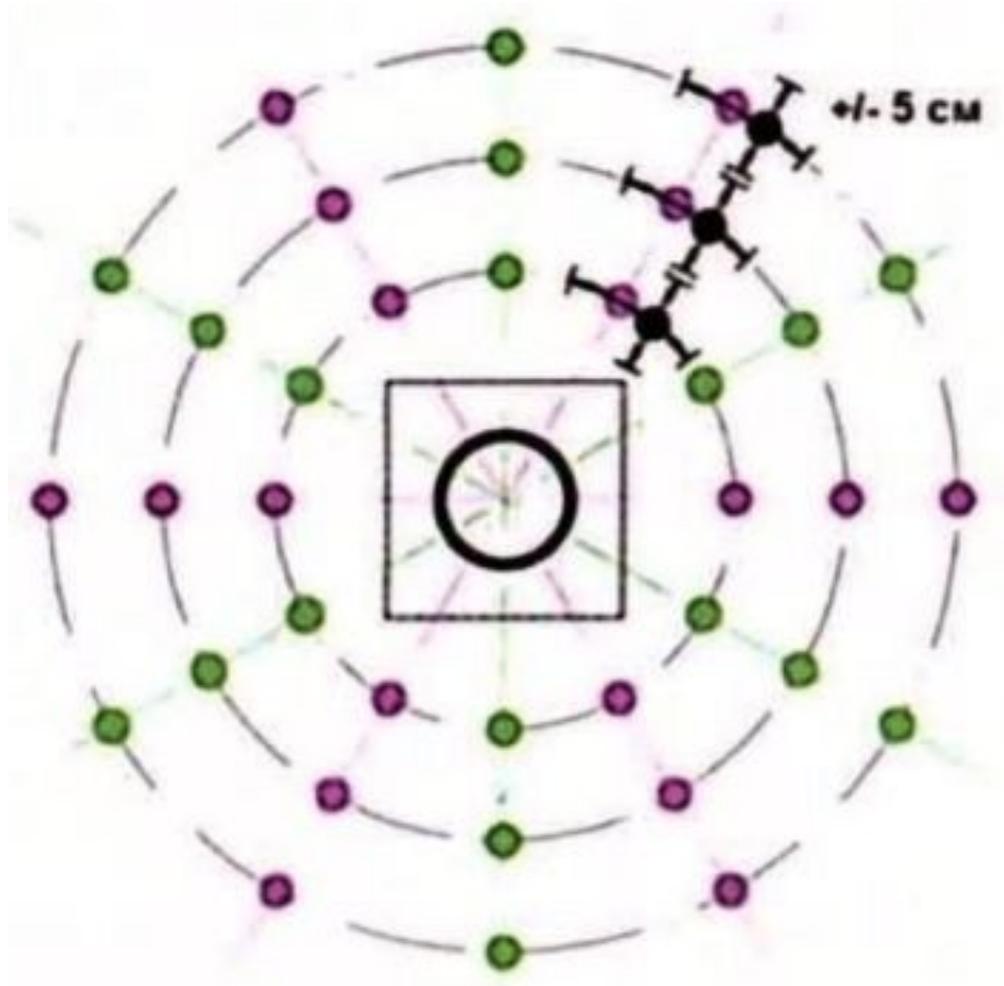
# Установленные в плиту анкеры



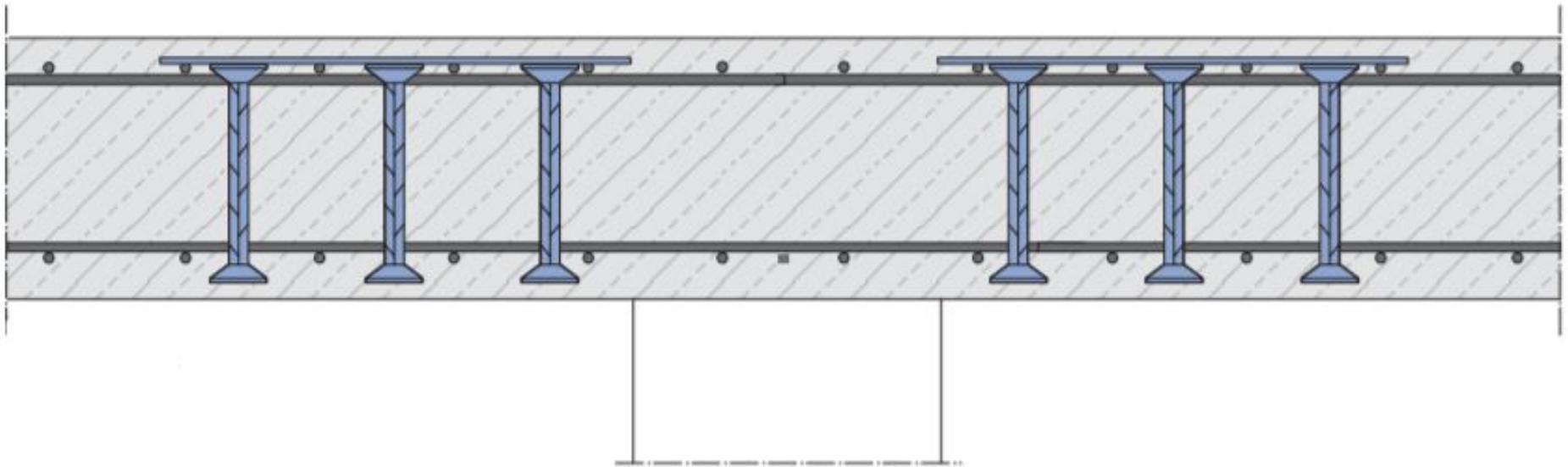
# Схема усиления плиты перекрытия компанией HILTI



# Схема поэтапной вклейки специальных анкеров

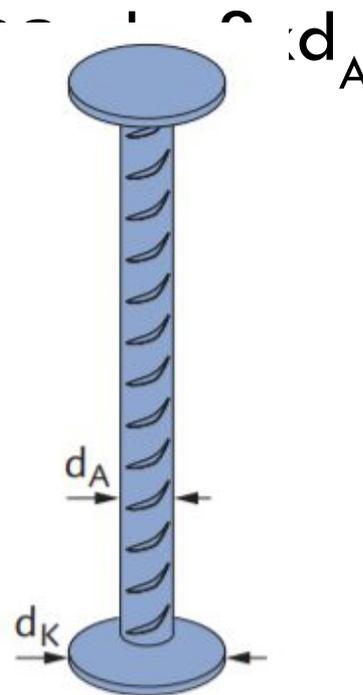


# Плита перекрытия с использованием арматуры HALFEN HDB

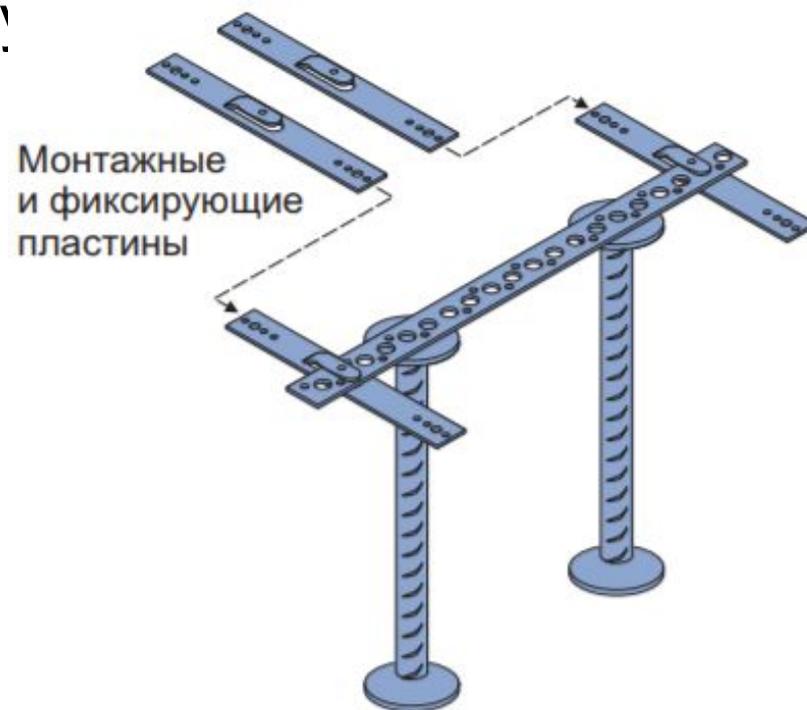


# Изделие

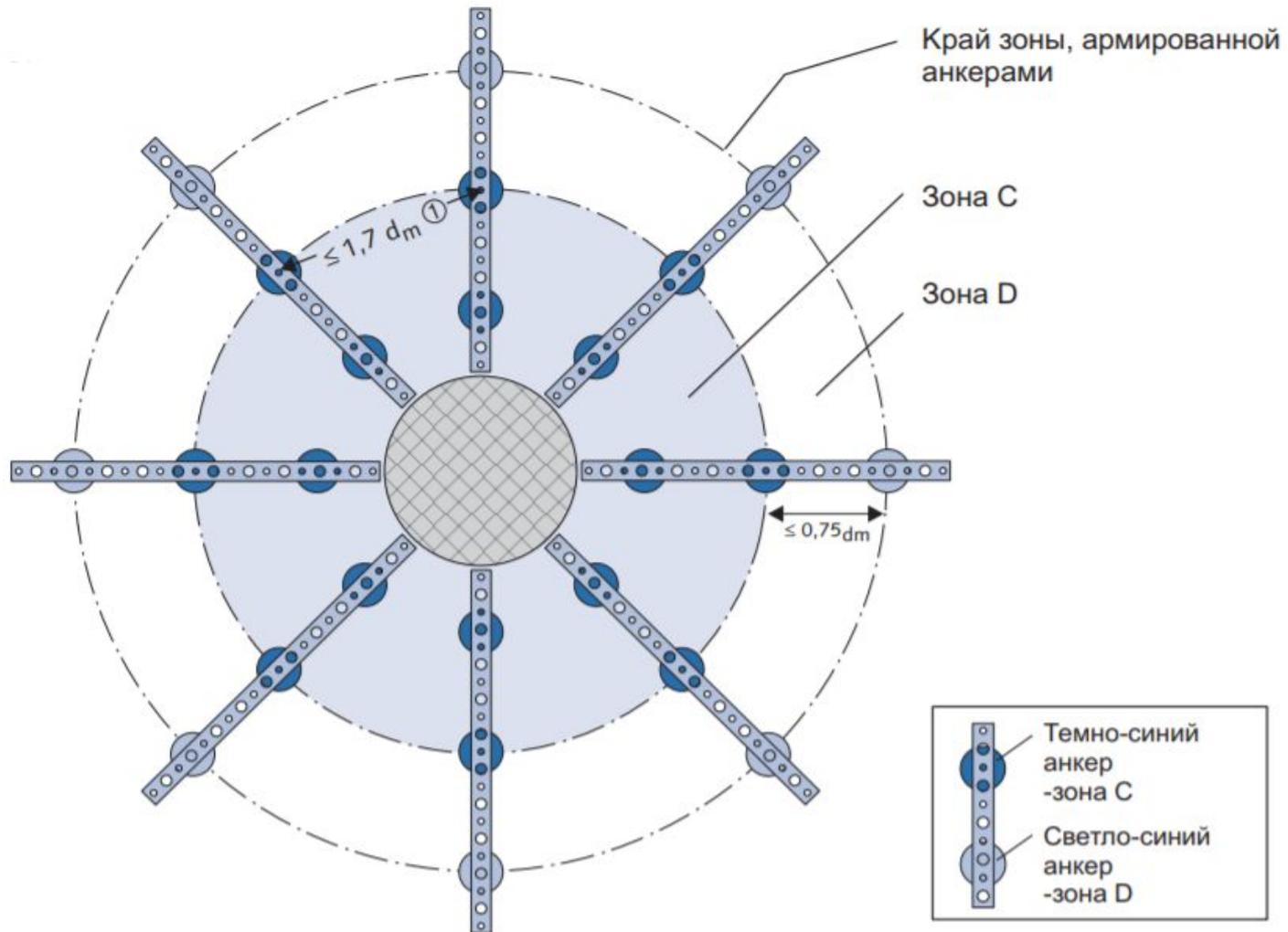
Несущий анкер из арматурной стали BSt 500S  
доступный диаметр  $d_A$  10-12-14-16-20-25  
мм. Диаметр головки равняется  
трехкратному диаметру анкера

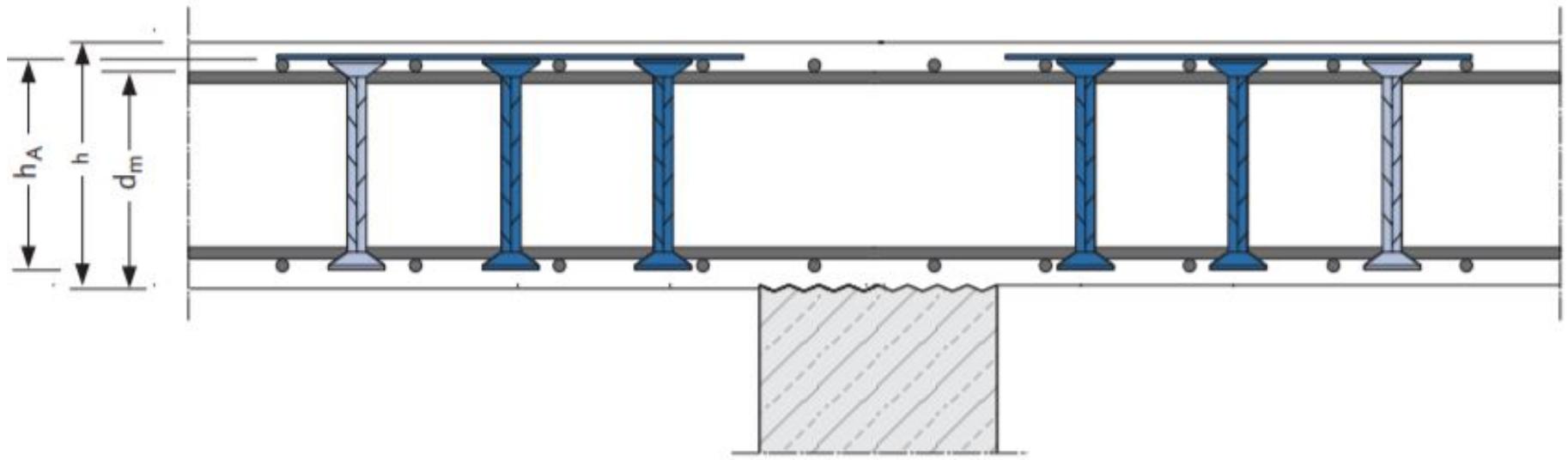


Анкеры соединяются между собой с помощью приваренной монтажной пластины. С целью правильного сцепления с арматурой конструкции в любом месте монтажной пластины можно установить дополнительные фиксир:



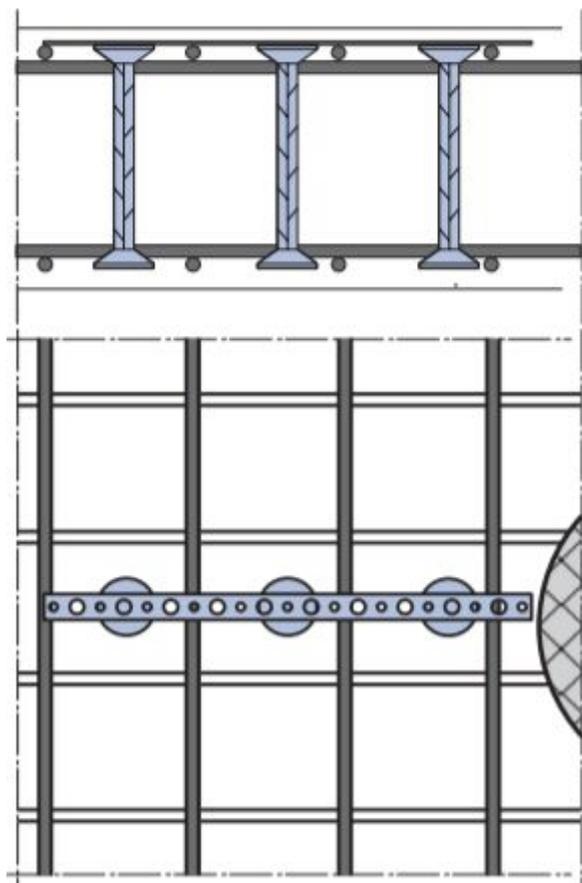
# Размещение арматуры против продавливания НДВ





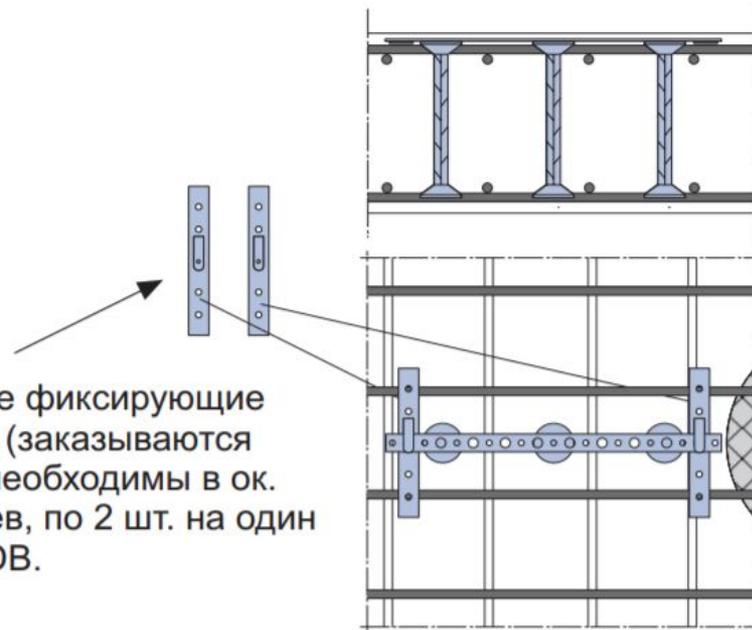
# Крепление элементов HDB к арматуре плиты:

без дополнительных поперечных фиксирующих пластин – поперек верхнего слоя арматуры



С дополнительными поперечными фиксирующими пластинами – параллельно верхнему слою .

Поперечные фиксирующие пластинами (заказываются отдельно) необходимы в ок. 50% случаев, по 2 шт. на один элемент HDB.





# Монтаж арматуры против продавливания HDB на строительной площадке







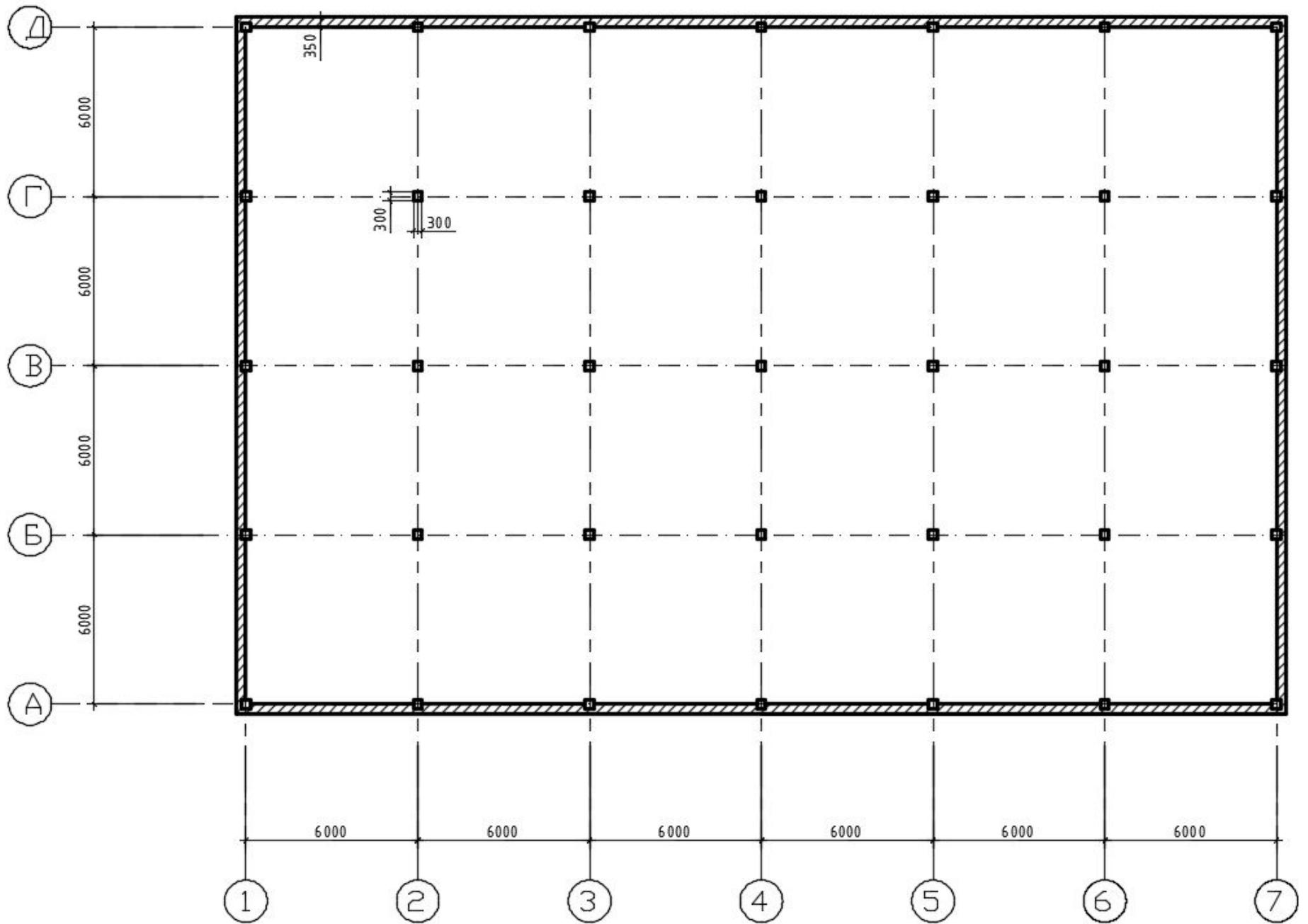
# Расчет в SCAD

Объектом исследования в данной работе выступает стык колонны и плоской плиты перекрытия. Методом исследования модели для решения поставленных задач является численный эксперимент.

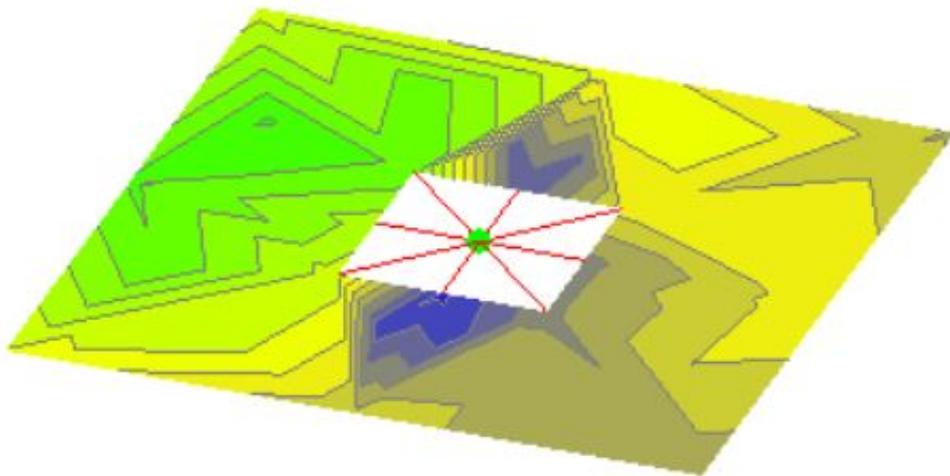
# Основные характеристики расчетной модели:

- шаг колонн –  $6 \times 6$  м;
- высота этажа – 4,2 м;
- количество этажей – 4;
- плиты перекрытий – бетон В25, толщина 200 мм;
- колонны – бетон В25, сечение  $300 \times 300$  мм;
- стены – бетон В25, толщина 350 мм.

# План типового этажа

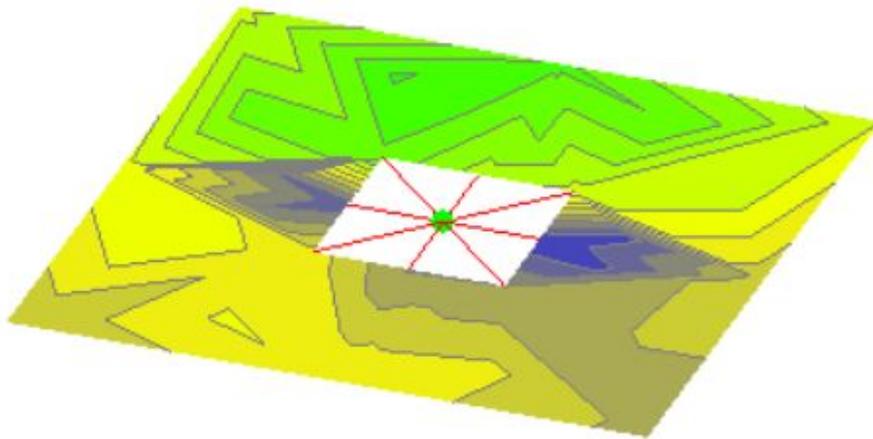


# Результаты расчета напряжения $M_x$ (кН\*м/м) угловой колонны



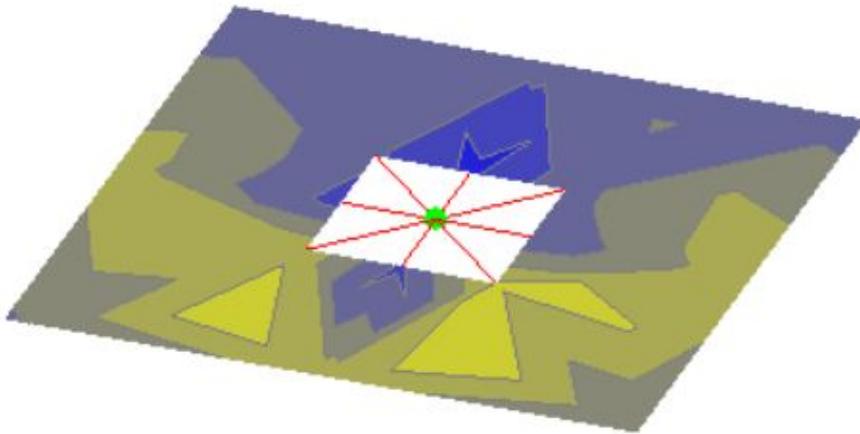
-1559,687	-1455,216
-1455,216	-1350,744
-1350,744	-1246,273
-1246,273	-1141,802
-1141,802	-1037,331
-1037,331	-932,86
-932,86	-828,389
-828,389	-723,917
-723,917	-619,446
-619,446	-514,975
-514,975	-410,504
-410,504	-306,033
-306,033	-201,562
-201,562	-97,091
-97,091	7,381
7,381	111,852

# Результаты расчета напряжения $M_u$ (кН\*м/м) угловой колонны



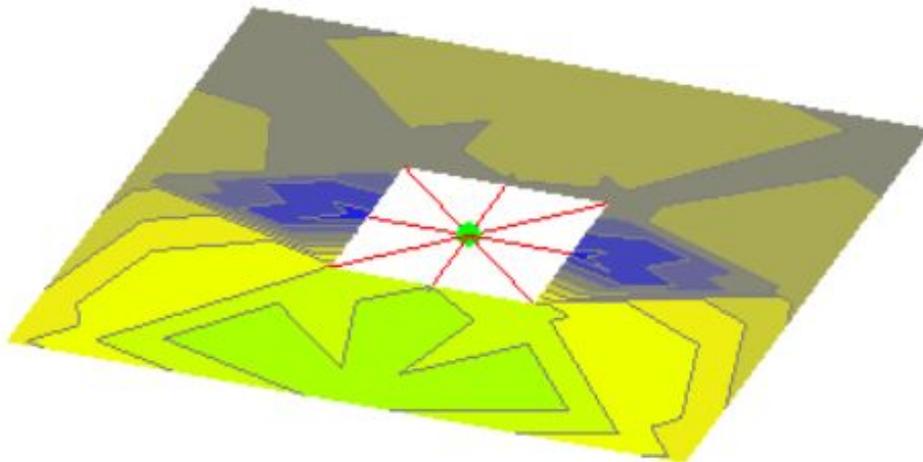
-1560,729	-1454,158
-1454,158	-1347,587
-1347,587	-1241,016
-1241,016	-1134,445
-1134,445	-1027,874
-1027,874	-921,303
-921,303	-814,732
-814,732	-708,161
-708,161	-601,59
-601,59	-495,019
-495,019	-388,449
-388,449	-281,878
-281,878	-175,307
-175,307	-68,736
-68,736	37,835
37,835	144,406

# Результаты расчета напряжения $M_x$ (кН\*м/м) крайней колонны



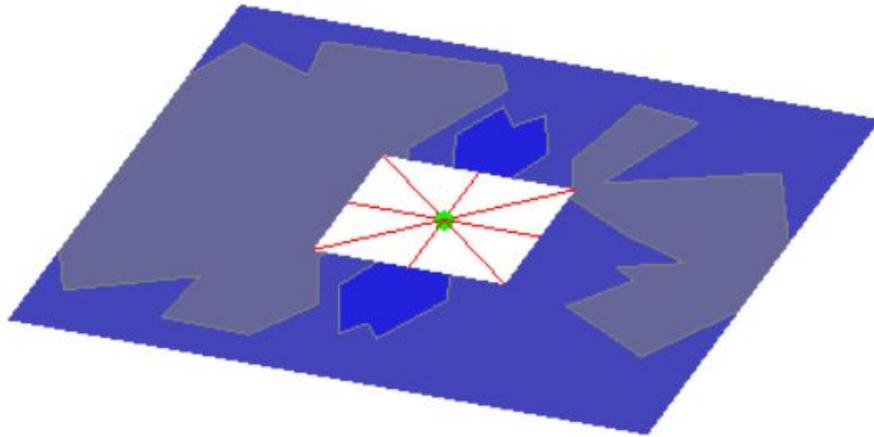
-1559,687	-1455,216
-1455,216	-1350,744
-1350,744	-1246,273
-1246,273	-1141,802
-1141,802	-1037,331
-1037,331	-932,86
-932,86	-828,389
-828,389	-723,917
-723,917	-619,446
-619,446	-514,975
-514,975	-410,504
-410,504	-306,033
-306,033	-201,562
-201,562	-97,091
-97,091	7,381
7,381	111,852

# Результаты расчета напряжения $M_u$ (кН\*м/м) крайней колонны



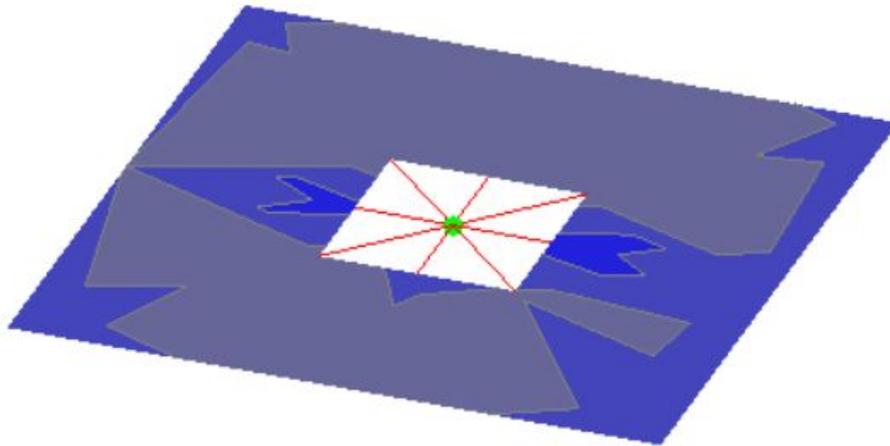
-1560,729	-1454,158
-1454,158	-1347,587
-1347,587	-1241,016
-1241,016	-1134,445
-1134,445	-1027,874
-1027,874	-921,303
-921,303	-814,732
-814,732	-708,161
-708,161	-601,59
-601,59	-495,019
-495,019	-388,449
-388,449	-281,878
-281,878	-175,307
-175,307	-68,736
-68,736	37,835
37,835	144,406

# Результаты расчета напряжения $M_x$ (кН\*м/м) средней колонны



-1559,687	-1455,216
-1455,216	-1350,744
-1350,744	-1246,273
-1246,273	-1141,802
-1141,802	-1037,331
-1037,331	-932,86
-932,86	-828,389
-828,389	-723,917
-723,917	-619,446
-619,446	-514,975
-514,975	-410,504
-410,504	-306,033
-306,033	-201,562
-201,562	-97,091
-97,091	7,381
7,381	111,852

# Результаты расчета напряжения $M_u$ (кН\*м/м) средней колонны



-1560,729	-1454,158
-1454,158	-1347,587
-1347,587	-1241,016
-1241,016	-1134,445
-1134,445	-1027,874
-1027,874	-921,303
-921,303	-814,732
-814,732	-708,161
-708,161	-601,59
-601,59	-495,019
-495,019	-388,449
-388,449	-281,878
-281,878	-175,307
-175,307	-68,736
-68,736	37,835
37,835	144,406