

**Основные положения
конструирования элементов
железобетонных конструкций**

Для обеспечения несущей способности, пригодности к нормальной эксплуатации и долговечности бетонных и железобетонных конструкций помимо требований, определяемых расчетом, следует выполнять **конструктивные требования:**

- по геометрическим размерам элементов конструкций;
- по армированию;
- по защите конструкций от неблагоприятного влияния воздействий среды.

Подбираются следующие параметры конструкций

- **по геометрическим размерам**
 - высота и ширина сечения элемента;
- **по армированию**
 - процент армирования
 - диаметр и расположение арматуры
 - толщина защитного слоя бетона
 - длина анкеровки
 - длина стыковки арматуры
- **по защите от неблагоприятного влияния воздействий среды**
 - толщина защитного слоя бетона

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ

Минимальные геометрические размеры

назначают такими, чтобы **обеспечивать:**

- **возможность надлежащего размещения арматуры** (расстояния между стержнями, защитный слой бетона и т.д.), ее **анкеровки и совместной работы с бетоном;**
- **достаточную жесткость конструкций;**
- **необходимую огнестойкость, водонепроницаемость конструкций, тепло- и звукоизоляцию, коррозионную стойкость, радиационную защиту и т.п.;**
- **возможность качественного изготовления при бетонировании конструкций,**

Минимальная высота балок и плит из условия обеспечения жесткости

Тип балок и плит, характер опирания	Вид бетона	
	тяжелый	легкий
Ригели	$(1/15)l$	$(1/12)l$
Второстепенные балки	$(1/20)l$	$(1/17)l$
Плиты при шарнирном опирании (сборные)	$(1/35)l$	$(1/30)l$
Плиты при упругой заделке (монолитные)	$(1/45)l$	$(1/35)l$
Плиты безбалочных перекрытий	$(1/30)l$	$(1/30)l$

*Высота балок принимается кратной 50 мм, при высоте свыше 600 мм – кратной 100 мм,
Толщина плит – кратной 10 мм.*

Ширина сечения балок

$$b = (0,3 - 0,5) h$$

принимают 100, 120, 150, 200, 220, 250 и далее кратно 50 мм;

Таблица подбора сечений балок

Ширина сечения	Высота сечения, мм								
	300	400	500	600	700	800	1000	1200	Далее кратно 300
150	+	+							
200		+	+	+					
300				+	+	+			
400						+	+	+	
500							+	+	
Кратно 100								+	+

В тонкостенных конструкциях толщина ребра балки может составить 1/5 высоты сечения

Внецентренно сжатые элементы

Размеры сечения для обеспечения жесткости принимают такими, чтобы их гибкость λ в любом направлении не превышала:

- 200 — для железобетонных элементов;
- 120 — для колонн, являющихся элементами зданий;
- 90 — для бетонных элементов.

Гибкость

$$\lambda = L_0 / i$$

L_0 – расчетная длина элемента;

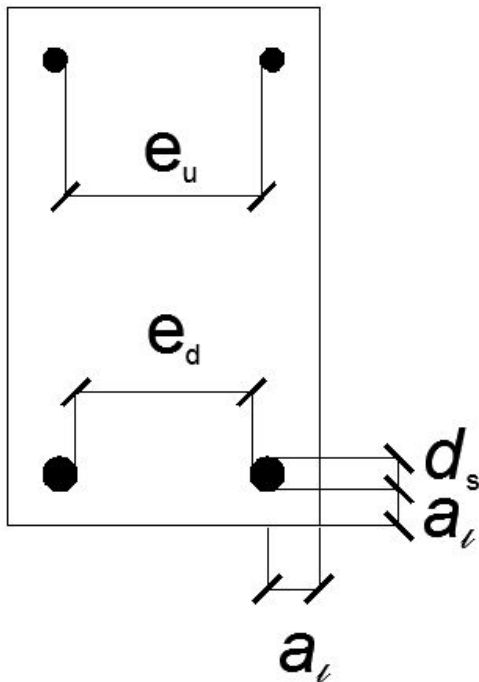
i - радиус инерции.

АРМИРОВАНИЕ

Защитный слой бетона

Назначение

Арматура, расположенная внутри сечения конструкции, должна иметь **защитный слой бетона a_s** , (расстояние от поверхности арматуры до соответствующей грани конструкций), чтобы обеспечить:



- совместную работу арматуры с бетоном;
- анкеровку арматуры в бетоне и возможность устройства стыков арматурных элементов;
- сохранность арматуры от воздействий окружающей среды (в том числе при наличии агрессивных воздействий);
- огнестойкость и огнесохранность.

Толщина защитного слоя бетона

• Минимальная толщина

Условия эксплуатации	a, \geq
В помещениях при нормальной и пониженной влажности	20
В помещениях при повышенной влажности	25
На открытом воздухе	30
В грунте, в фундаментах при наличии бетонной подготовки	40

- Величину a , уменьшают на 5 мм:
 - в сборных элементах;
 - для конструктивной арматуры.
- Во всех случаях принимают $a, \geq d_s$

Максимальная толщина

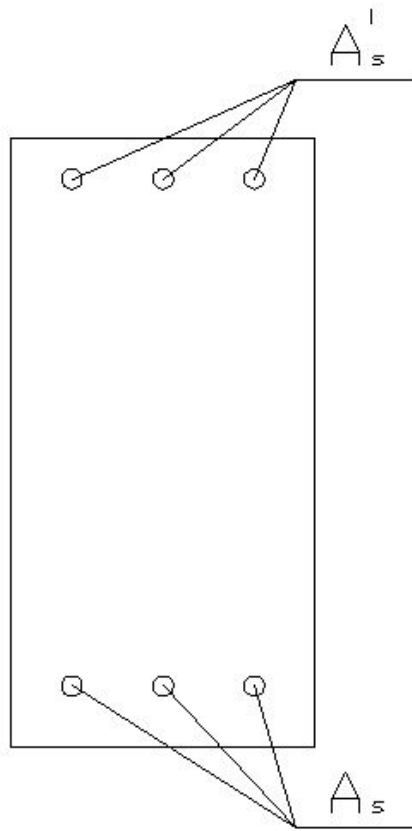
- Для растянутой рабочей арматуры $a, \leq 50$ мм

**Обеспечение толщины
защитного слоя бетона
инвентарными
фиксаторами на
горизонтальной и
вертикальной
поверхностях**



Продольное армирование

Площадь сечения арматуры



Площадь сечения арматуры определяется **процентом армирования** $\mu_{s,min}$ (отношением площади сечения арматуры к площади рабочего сечения бетона в процентах)

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} 100\%$$

Диаметр арматуры

Минимальный диаметр

- *Плиты* – не ограничивается;
- *Балки* и ребра $d_s \geq 10$ мм, монолитные при $h \geq 400$ мм $d_s \geq 12$ мм;
- *Колонны*
 - монолитные $d_s \geq 12$ мм;
 - любые, при меньшем размере стороны $h, b \geq 250$ мм $d_s \geq 16$ мм.
- *Стены* $d_s \geq 8$ мм;

Минимальный процент армирования

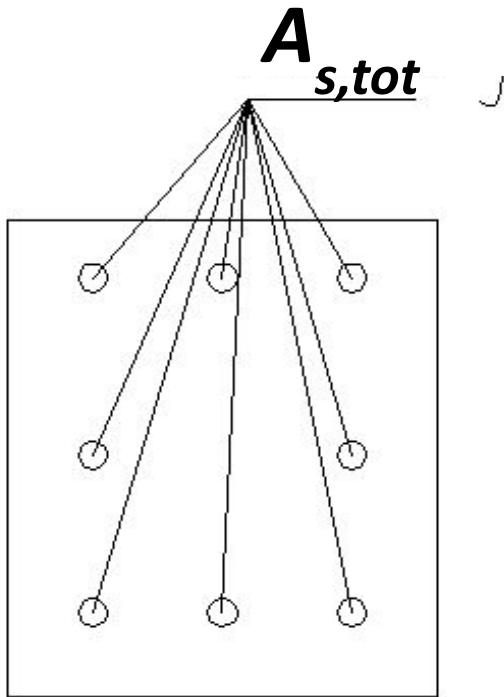
$$\mu_{s,min}$$

Для продольной расчетной растянутой и сжатой арматуры принимают не менее:

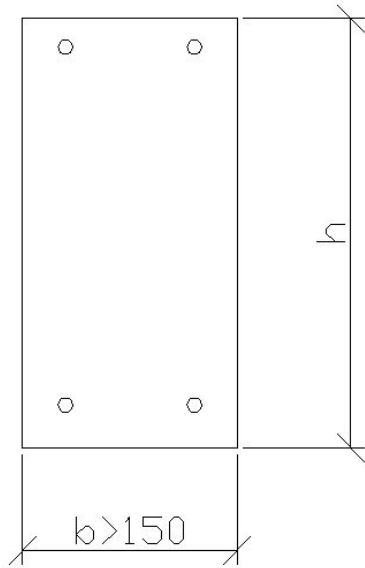
Элемент	$\mu_{s,min}$
Изгибаемый	0,1 %
Внецентренно-растянутый	
Внецентренно сжатый, при гибкости $\lambda = l_0/i \leq 17$	
Внецентренно сжатый, при гибкости $\lambda = l_0/i \geq 87$	0,25 %

для промежуточных значений λ , $\mu_{s,min}$ определяют по интерполяции.

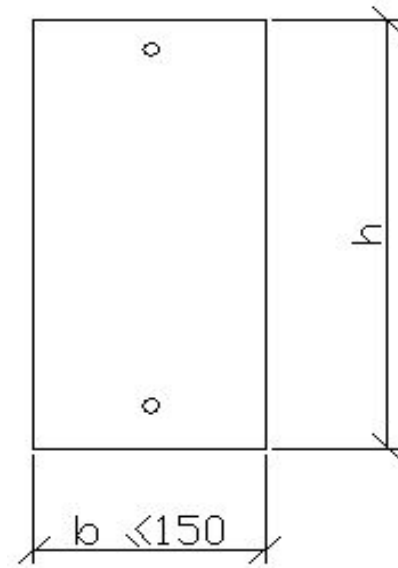
В элементах с продольной арматурой, **расположенной равномерно по контуру сечения**, минимальную площадь сечения всей продольной арматуры $A_{s,tot}$ принимают вдвое больше указанных выше значений и относят их к полной площади сечения бетона



- $$\mu_s = (A_{s,tot} / (bh)) 100\% \geq 2\mu_{s,min}$$



При $b > 150$ число продольных стержней (каркасов) должно быть не менее двух.



При $b \leq 150$ допускается устанавливать 1 продольный стержень (каркас).

Минимальные расстояния между стержнями арматуры

принимают такими, чтобы обеспечить:

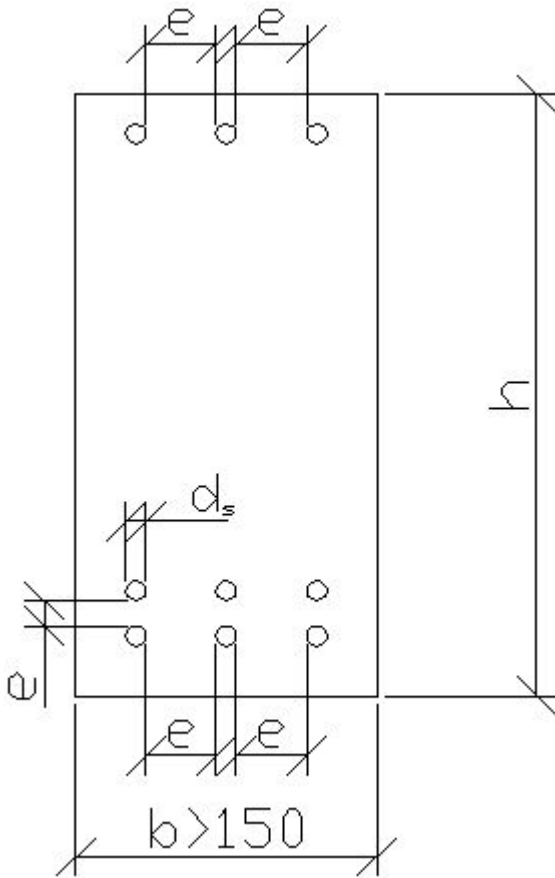
- **совместную работу** арматуры с бетоном;
- **качественное изготовление** конструкций, связанное с укладкой и уплотнением бетонной смеси.

Принимают не менее для балок и плит $e \geq$:

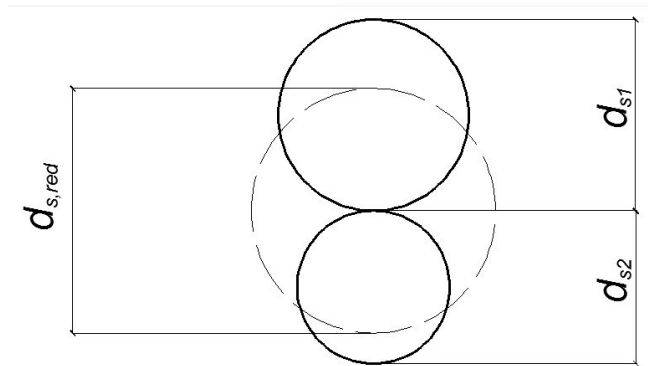
- **25 мм** — для **нижней арматуры**, расположенной в один или два ряда;
- **30 мм** — для **верхней арматуры**;
- **50 мм** — то же, при расположении **нижней арматуры более чем в два ряда** (кроме стержней двух нижних рядов).

Для колонн $e \geq 50$ мм

Стержни располагают равномерно по ширине, во всех случаях принимают $e \geq$
балки не более, чем в три ряда



При расположении стержней группами — пучками (без зазора между ними) расстояния в свету между пучками должны быть не менее **приведенного диаметра стержня**, эквивалентного по площади сечения пучка арматуры



$$e \geq d_{s,red}$$

$$d_{s,red} = \sqrt{\sum_1^n d_{si}^2}$$

d_{si} — диаметр одного стержня в пучке;

n — число стержней в пучке.

Максимальное расстояние между осями стержней продольной арматуры

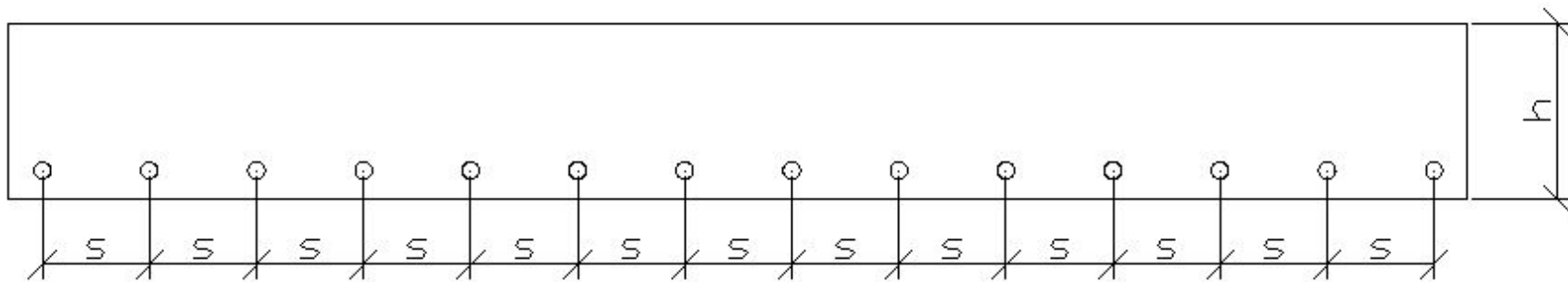
Устанавливается из условия обеспечения:

- эффективное вовлечение арматуры в работу бетона;
- равномерное распределение напряжений и деформаций между стержнями арматуры;
- ограничения ширины раскрытия трещин между стержнями арматуры

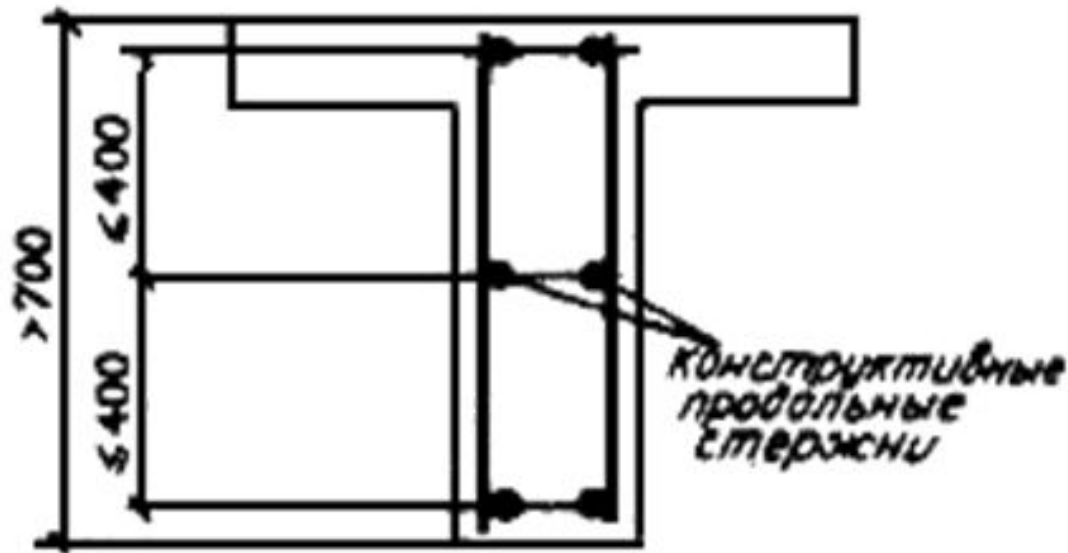
Наибольшее расстояние между осями стержней продольной арматуры при **выполнении** бетонных **балках и плитах**:

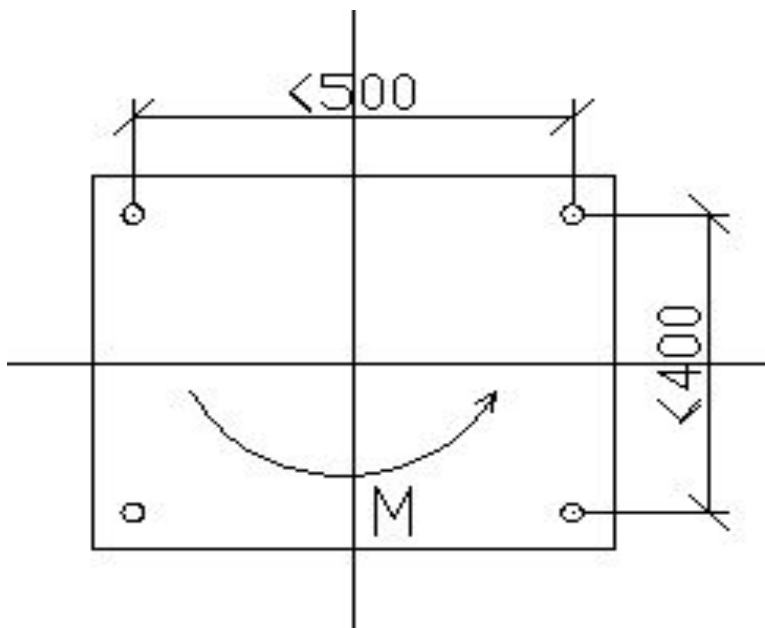
- $s \leq 200$ мм — при $h \leq 150$ мм;
- $s \leq 1,5h$ и $s \leq 400$ мм — при $h > 150$ мм;

h - высота сечения



- В изгибаемых элементах при $h > 700$ мм у боковых граней ставятся конструктивные продольные стержни с расстояниями между ними по высоте не более 400 мм и площадью сечения не менее 0,1% площади сечения бетона, имеющего размер $0,5h \times 0,5b$.





- В железобетонных колоннах принимают $S \leq$:
- **400 мм** — в направлении, перпендикулярном плоскости изгиба;
 - **500 мм** — в направлении плоскости изгиба.

Поперечное армирование

Поперечную арматуру устанавливают исходя из:

- расчета на восприятие поперечных усилий,
- с целью ограничения развития наклонных трещин,
- удержания продольных стержней в проектном положении
- закрепления продольных (сжатых) стержней от бокового выпучивания.

Поперечную арматуру устанавливают у всех поверхностей железобетонных элементов, вблизи которых ставится продольная арматура.

Поперечная арматура может не устанавливаться, если поперечная сила по расчету воспринимается только бетоном в следующих случаях:

- В сплошных плитах;
- В балках и ребрах высотой не более 150 мм
- В балках и ребрах толщиной не более 150 мм.
- В часторебристых балках высотой менее 300 мм

Диаметр поперечной арматуры (хомутов) принимают:

В вязаных каркасах:

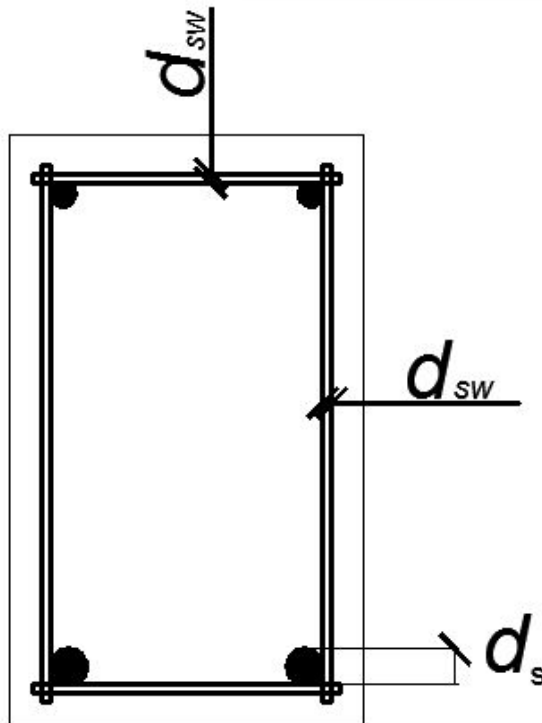
- *внецентренно сжатые элементы*

$$d_{sw} \geq 0,25 d_{s,max}$$

$$d_{sw} \geq 6 \text{ мм.}$$

- *изгибаемые элементы*

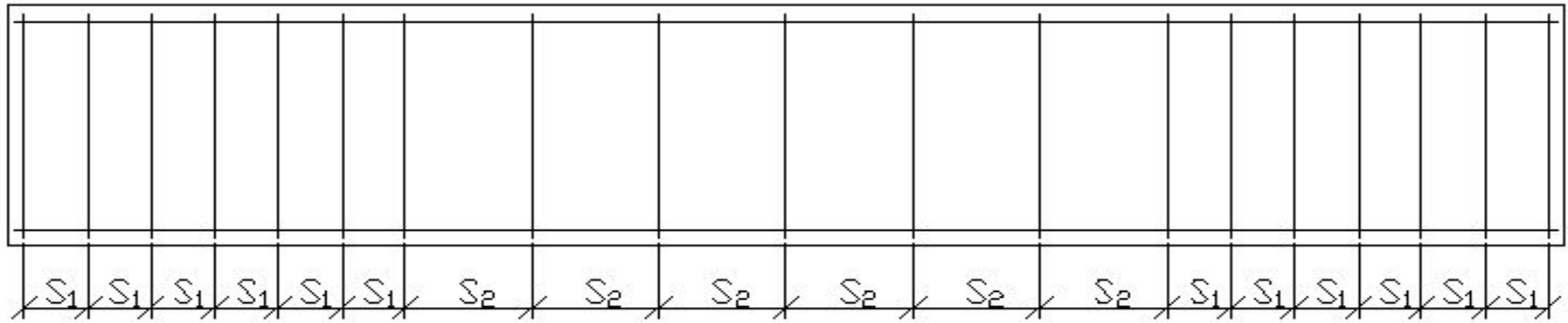
$$d_{sw} \geq 6 \text{ мм.}$$



В сварных каркасах:

не менее диаметра, устанавливаемого из условия сварки с наибольшим диаметром продольной арматуры

$$d_{sw} \geq 0,25 d_{s,max}$$



Если поперечная арматура **требуется по расчету**, то устанавливают с шагом S_1

- $S_1 \leq 0,5 h_0$ и $S_1 \leq 300$ мм.

Если поперечная арматура **не требуется по расчету**, то устанавливают с шагом S_2

- $S_2 \leq 0,75 h_0$ и $S_2 \leq 500$ мм.

Как правило, поперечная арматура требуется по расчету в приопорной зоне изгибаемых элементов, когда поперечное усилие не может быть воспринято только бетоном.



Во внецентренно сжатых элементах, а также в изгибаемых элементах при наличии расчетной сжатой продольной арматуры с целью предотвращения ее выпучивания устанавливают поперечную арматуру с шагом

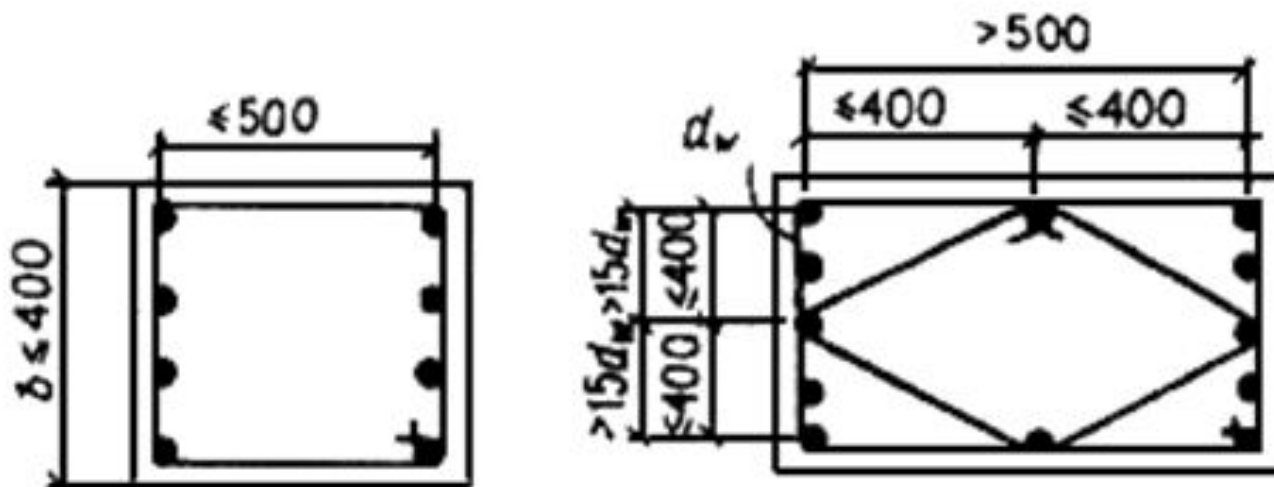
$$S \leq 15 d'_s \text{ и } S \leq 500 \text{ мм}$$

(d'_s — диаметр сжатой продольной арматуры).

Если площадь сечения сжатой продольной арматуры, устанавливаемой у одной из граней элемента, более 1,5 %, поперечную арматуру устанавливают с шагом

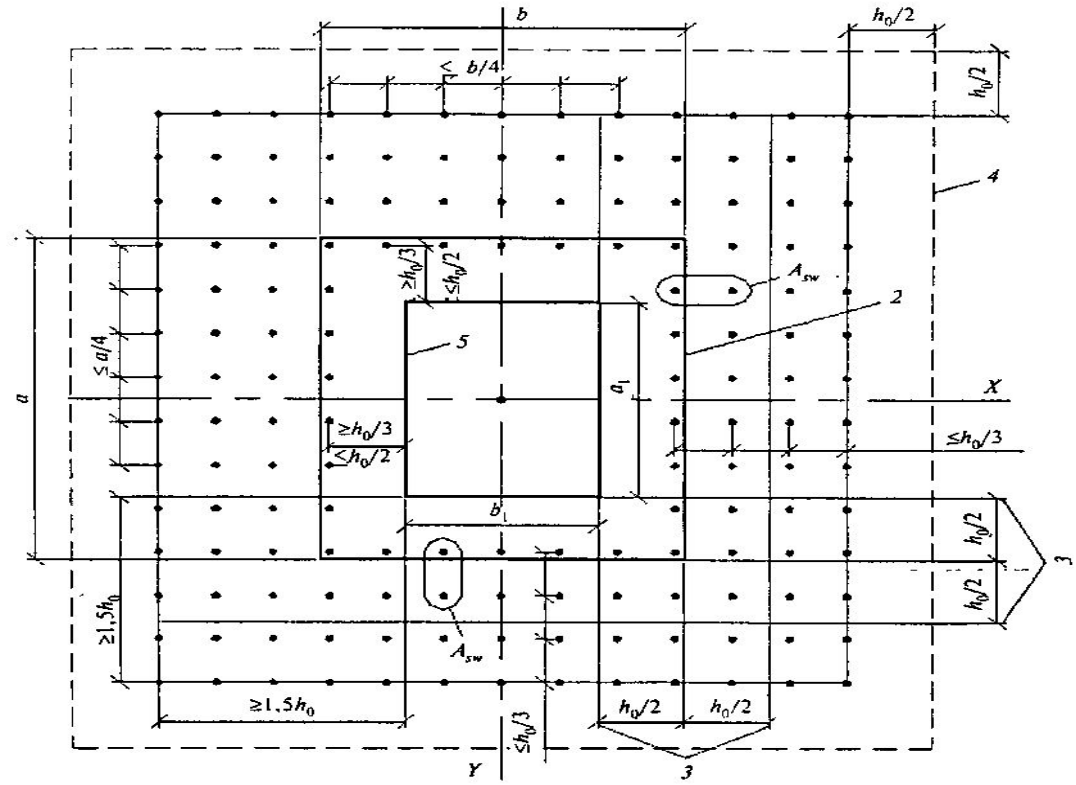
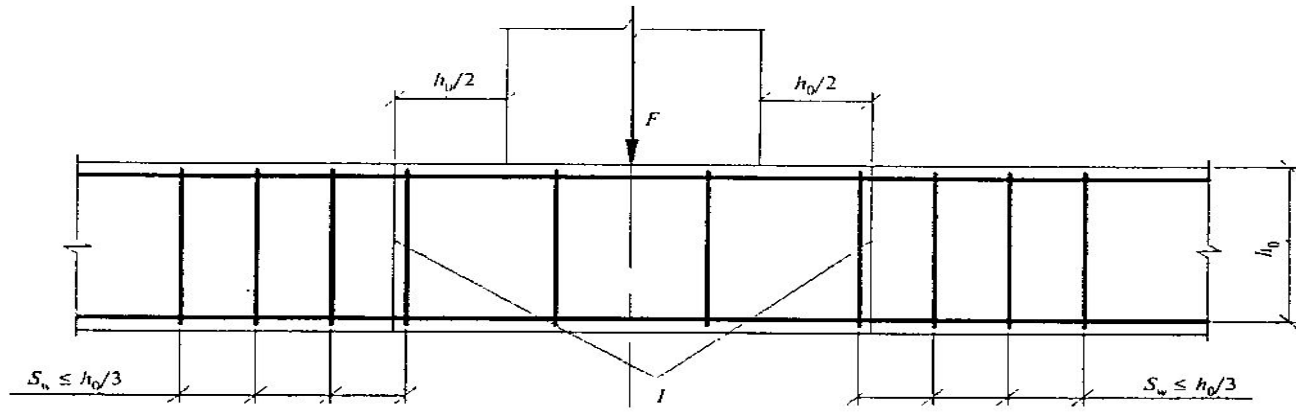
$$S \leq 10 d'_s \text{ и } S \leq 300 \text{ мм.}$$

- Конструкция хомутов (поперечных стержней) во внецентренно сжатых линейных элементах должна быть такой, чтобы продольные стержни (по крайней мере через один) располагались в местах перегибов, а эти перегибы - на расстоянии не более 400 мм по ширине грани. При ширине грани не более 400 мм и числе продольных стержней у этой грани не более четырех допускается охват всех продольных стержней одним хомутом.



Конструктивные требования при поперечном армировании плит **в зоне продавливания**:

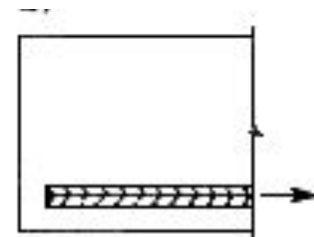
- в направлении, перпендикулярном сторонам расчетного контура, устанавливаются с шагом не более $\frac{1}{3} h_0$ и не более 300 мм.
- стержни, ближайшие к контуру грузовой площади, располагают не ближе $h_0/3$ и не далее $h_0/2$ от этого контура.
- при этом ширина зоны постановки поперечной арматуры (от контура грузовой площади) должна быть не менее $\frac{1}{5} h_0$.



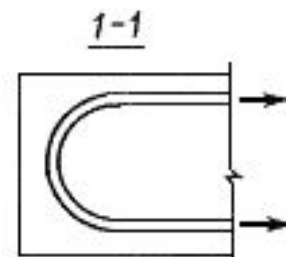
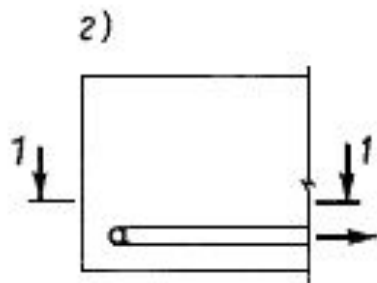
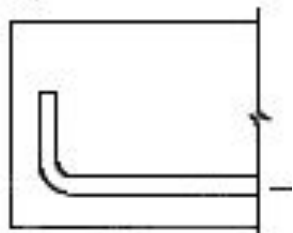
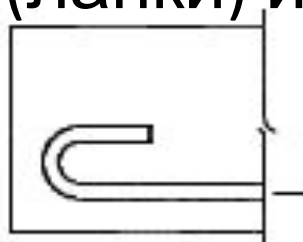
Анкеровка арматуры

Анкеровку арматуры осуществляют одним из следующих способов или их сочетанием:

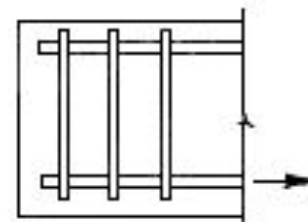
в виде прямого окончания стержня (прямая анкеровка)



с загибом на конце стержня в виде крюка, отгиба (лапки) или петли

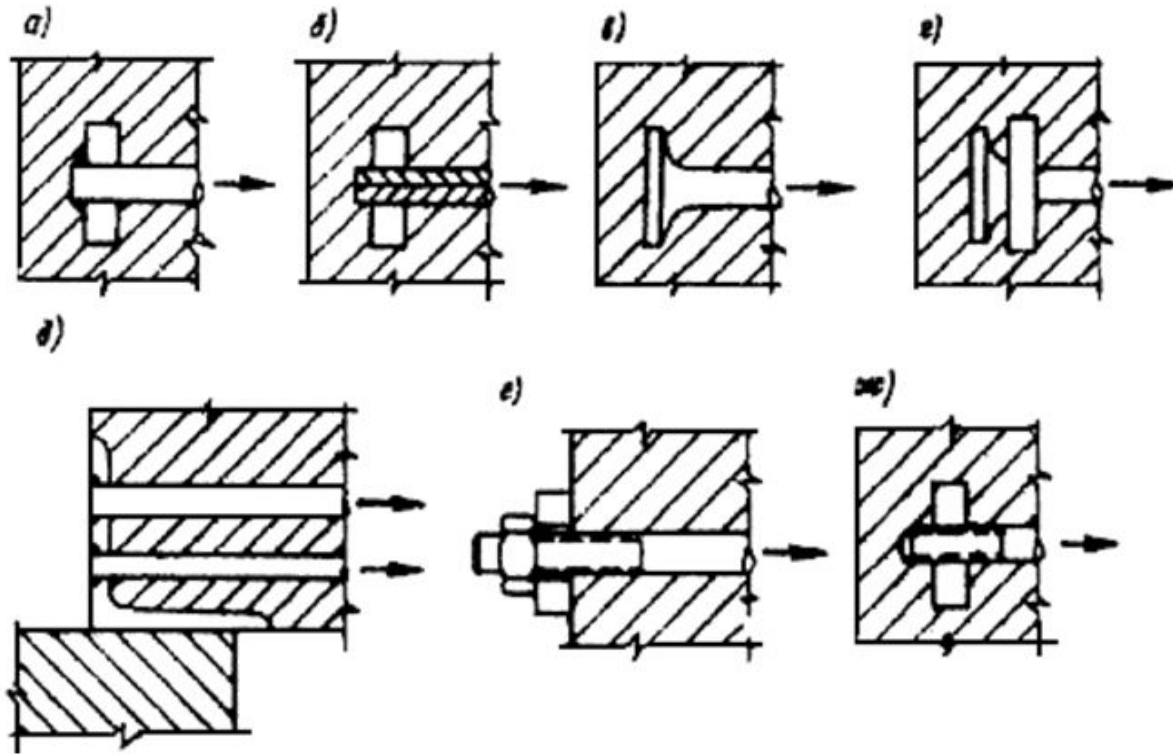


с приваркой или установкой поперечных стержней



с применением специальных анкерных устройств на конце стержня

Анкеровка арматуры с применением специальных анкерных устройств на конце стержня в виде:



а – приваренной пластины; **б** – обжатой пластины; **в** – высаженной головки; **г** – высаженной головки с шайбой; **д** – приваренного стержня к уголку; **е** – гайки с шайбой снаружи; **ж** – гайки внутри.

- Площадь контакта анкера с бетоном должна удовлетворять условию прочности бетона на смятие;
- Толщина анкерующей пластины должна быть не менее $1/5 d_s$ и удовлетворять условиям сварки;
- Длина заделки стержня должна определяться расчетом на выкалывание и приниматься не менее $10d_s$

- **Прямую анкеровку** и анкеровку с лапками допускается применять только для арматуры **периодического профиля**.
- Для растянутых **гладких стержней** предусматривают крюки, петли, приваренные поперечные стержни или специальные анкерные устройства.
- Лапки, крюки и петли не рекомендуется применять для анкеровки **сжатой арматуры**.

При расчете длины анкеровки арматуры учитывают:

- способ анкеровки;
- класс арматуры и ее профиль;
- диаметр арматуры;
- прочность бетона;
- напряженное состояние бетона в зоне анкеровки;
- конструктивное решение элемента в зоне анкеровки (наличие поперечной арматуры, положение стержней в сечении элемента и др.).

Базовую (основную) длину анкеровки, необходимую для передачи усилия в арматуре с полным расчетным значением сопротивления R_s на бетон, определяют по формуле

$$l_{0,an} = \frac{R_s A_s}{R_{bond} u_s}$$

A_s и u_s — соответственно площадь поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры и периметр его сечения, определяемые по номинальному диаметру стержня;

R_{bond} — расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном, принимаемое равномерно распределенным по длине анкеровки и определяемое по формуле

$$R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt}$$

R_{bt} — расчетное сопротивление бетона осевому растяжению;

η_1 — коэффициент, учитывающий влияние вида **поверхности арматуры**, принимаемый:

- 1,5 — для гладкой арматуры;
- 2 — для холоднодеформированной арматуры периодического профиля;
- 2,5 — для горячекатаной и термомеханически обработанной арматуры периодического профиля;

η_2 — коэффициент, учитывающий влияние размера **диаметра арматуры**, принимаемый:

- 1,0 — при диаметре арматуры $d_s \leq 32$ мм;
- 0,9 — при диаметре арматуры 36 и 40 мм.

Требуемую расчетную длину анкеровки арматуры с учетом конструктивного решения элемента в зоне анкеровки определяют по формуле

$$l_{an} = \alpha l_{0,an} \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$$

$l_{0,an}$ — базовая длина анкеровки;

$A_{s,cal}$, $A_{s,ef}$ — площади поперечного сечения арматуры, соответственно требуемая по расчету и фактически установленная;

В любом случае фактическую длину анкеровки принимают не менее:

$$l_{an} \geq 0,3l_{0,an}, l_{an} \geq 15 d_s \text{ и } l_{an} \geq 200 \text{ мм.}$$

α — коэффициент, учитывающий влияние на длину анкеровки напряженного состояния бетона и арматуры и конструктивного решения элемента в зоне анкеровки

Для стержней периодического профиля с прямыми концами (прямая анкеровка) или гладкой арматуры с крюками или петлями для растянутых стержней принимают $\alpha = 1,0$, а для сжатых — $\alpha = 0,75$.

Допускается уменьшать длину анкеровки в зависимости от количества и диаметра поперечной арматуры, вида анкерующих устройств (приварка поперечной арматуры, загиб концов стержней периодического профиля) и величины поперечного обжатия бетона в зоне анкеровки (например, от опорной реакции), но не более чем на 30 %.

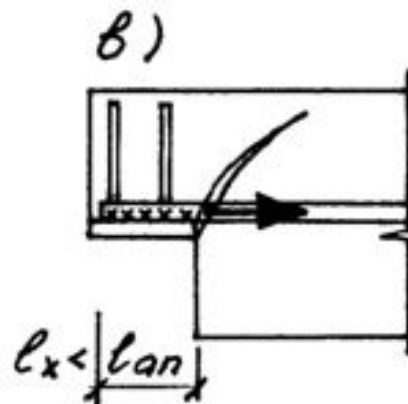
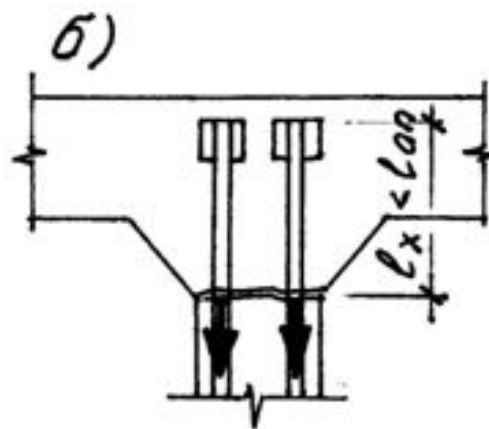
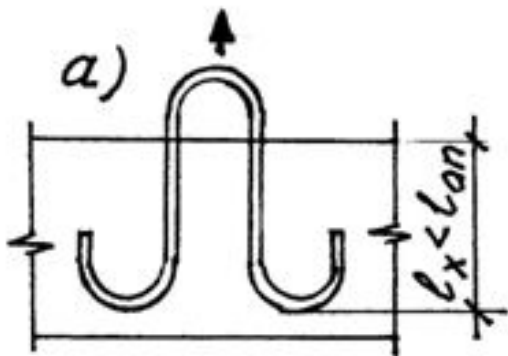
Усилие, воспринимаемое анкеруемым стержнем арматуры N_s , определяют по формуле

$$N_s = R_s A_s \frac{l_s}{l_{an}} \leq R_s A_s$$

l_{an} — длина анкеровки принимаемая при отношении $A_{s,cal}/A_{s,ef} = 1$;

l_s — расстояние от конца анкеруемого стержня до рассматриваемого поперечного сечения элемента.

- Когда размеры элемента не позволяют обеспечить необходимую длину анкеровки, принимаются дополнительные меры. Например, концы монтажных петель загибают в “крюки” (**а**), концы рабочих стержней в узлах ферм загибают в “лапы” или приваривают к ним “коротыши” (**б**), продольную рабочую арматуру в изгибаемых элементах приваривают к опорным закладным изделиям (**в**).



На крайних свободных опорах элементов **длина запуска** растянутых стержней **за внутреннюю грань** свободной опоры при выполнении условия $Q \leq Q_{b1}$ должна составлять **не менее $5 d_s$** .

При устройстве на концах стержней специальных анкеров в виде пластин, шайб, гаек, уголков, высаженных головок и т.п. площадь контакта анкера с бетоном должна удовлетворять условию прочности **бетона на смятие**.

Кроме того, при проектировании привариваемых анкерных деталей следует учитывать характеристики металла по **свариваемости**, а также способы и условия сварки

Соединения арматуры

Для соединения арматуры принимают один из следующих типов стыков:

а) стыки внахлестку без сварки:

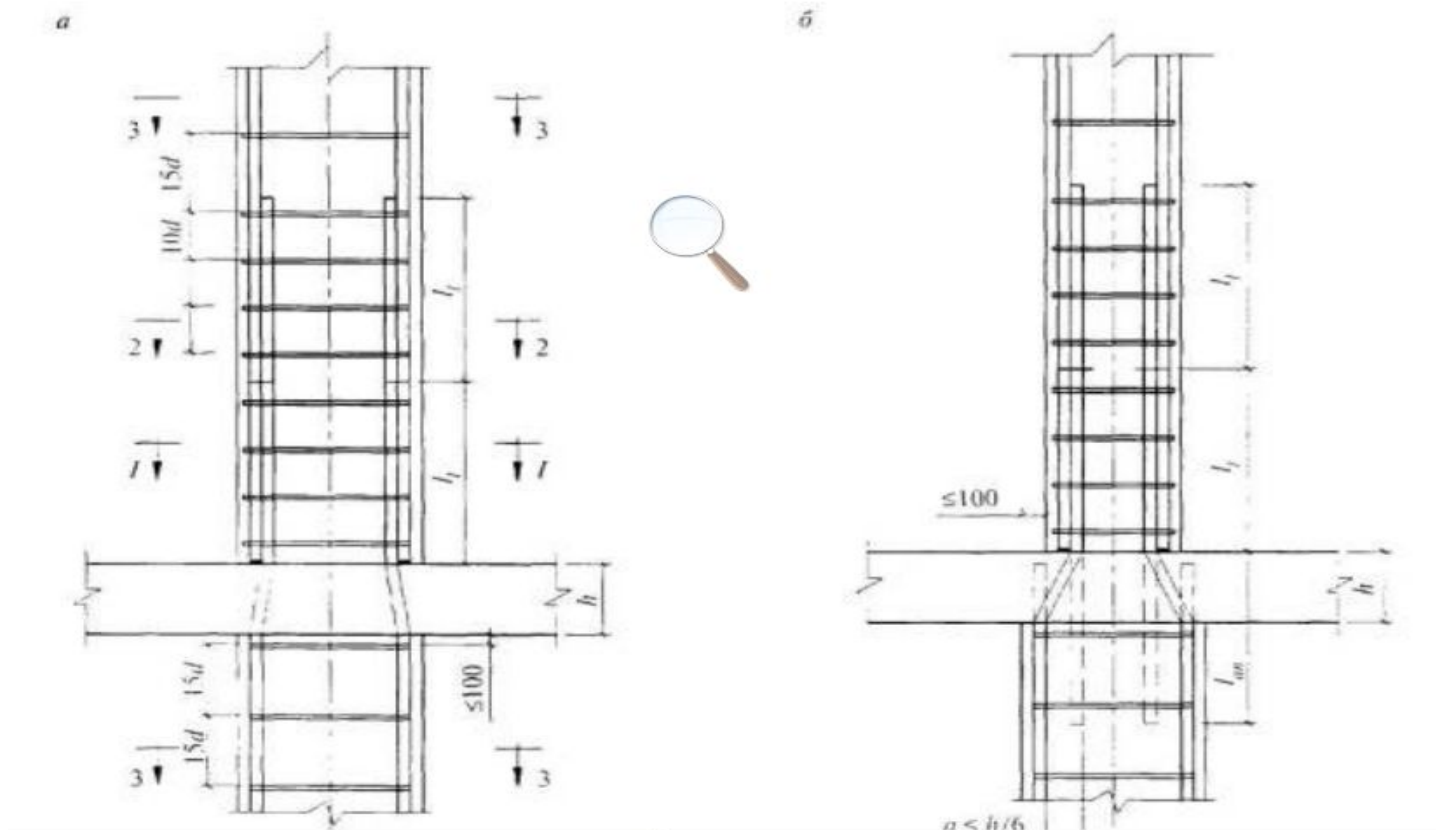
- с прямыми концами стержней периодического профиля;
- с прямыми концами стержней с приваркой или установкой на длине нахлестки поперечных стержней;
- с загибами на концах (крюки, лапки, петли); при этом для гладких стержней применяют только крюки и петли;

б) сварные стыковые соединения со сваркой арматуры;

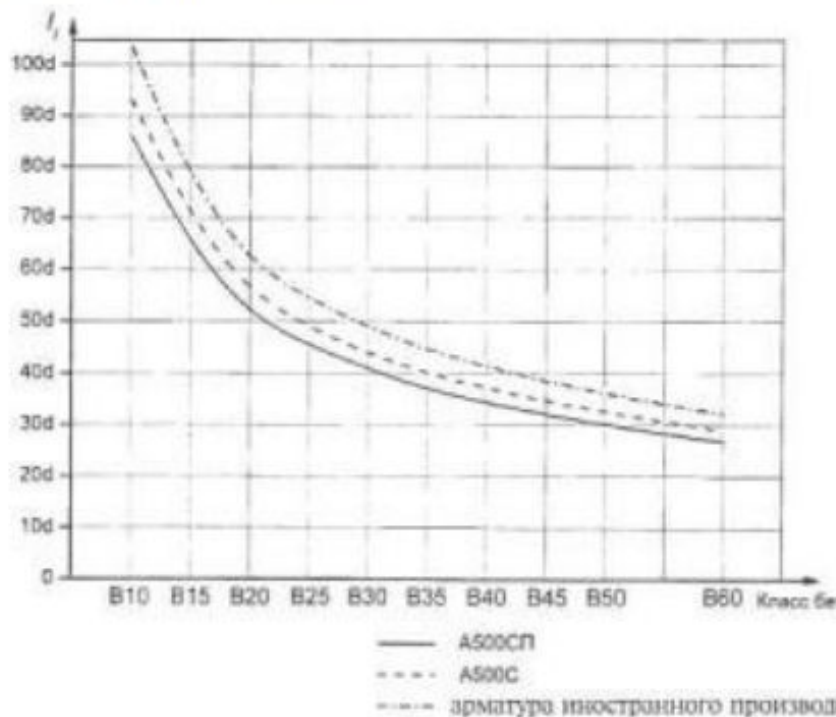
в) механические стыковые соединения с применением специальных механических устройств (стыки с опрессованными муфтами, резьбовыми муфтами и др.).

Стыки внахлестку (без сварки)

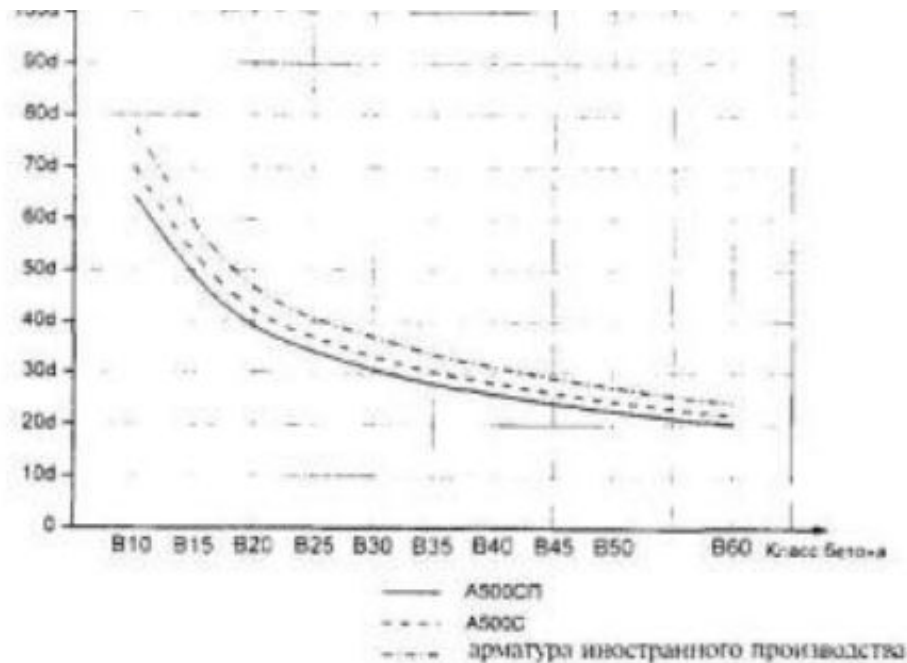
- Стыки арматуры внахлестку применяют при стыковании стержней с диаметром рабочей арматуры не более 40 мм.



Графики для определения длины нахлестки арматурных стержней периодического профиля

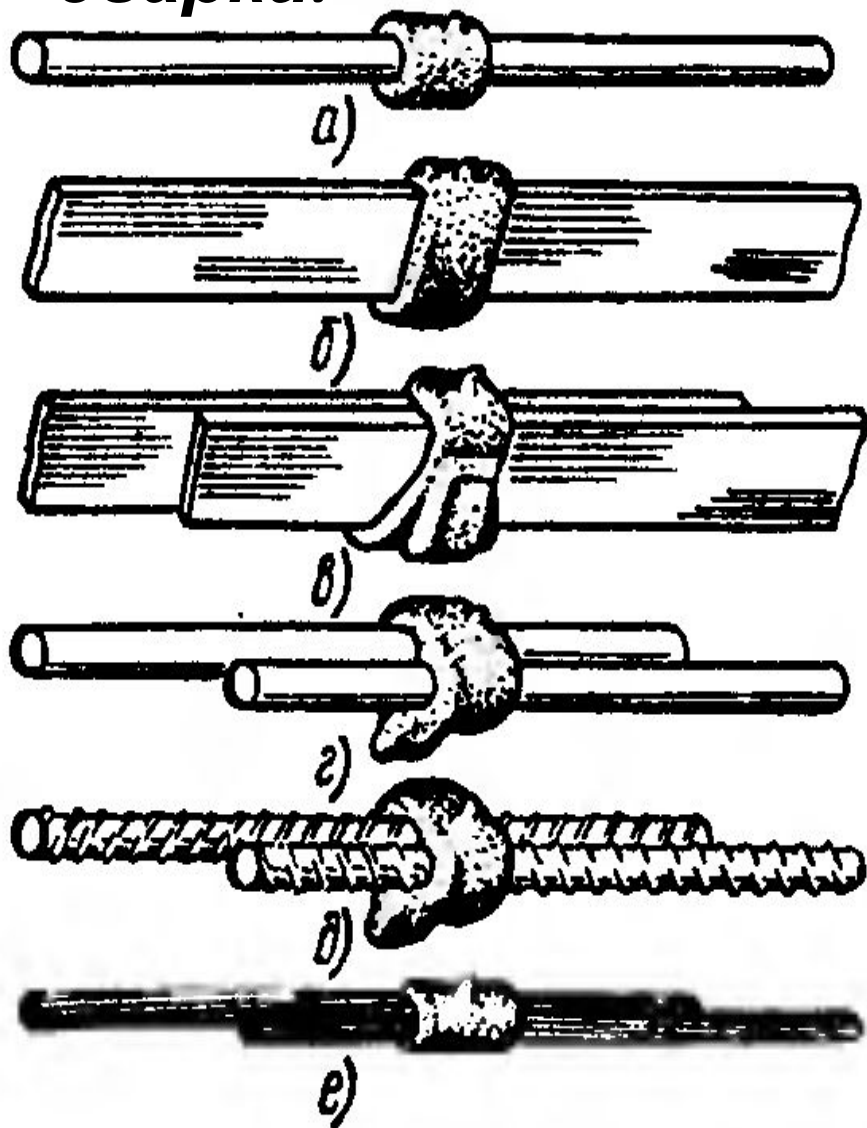


При
растяжении



При
сжатии

Виды соединений арматуры без сварки:



а) стержней встык;

б) полос встык;

в) полос внахлестку;

г) стержней
внахлест;

д) арматурной
стали;

е) тросов

- При наличии дополнительных **анкерующих устройств** на концах стыкуемых стержней (приварка поперечной арматуры, загиб концов стыкуемых стержней периодического профиля и др.) длина перепуска стыкуемых стержней может быть уменьшена, но не более чем на 30%.
- В любом случае фактическая длина перепуска арматуры принимается не менее:

$$l_l \geq 0,4 a l_{0,an}$$

$$l_l \geq 20 d_s$$

$$l_l \geq 250 \text{ мм.}$$

Расчет длины нахлестки

Стыки растянутой или сжатой арматуры должны иметь длину перепуска (нахлестки) не менее значения длины l_l , определяемого по формуле

$$l_l = \alpha l_{0,an} \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$$

$l_{0,an}$ — базовая длина анкеровки, определяемая по формуле (см. расчет анкеровки);

$A_{s,cal}$, $A_{s,ef}$ — площади поперечного сечения арматуры, соответственно требуемая по расчету и фактически установленная;

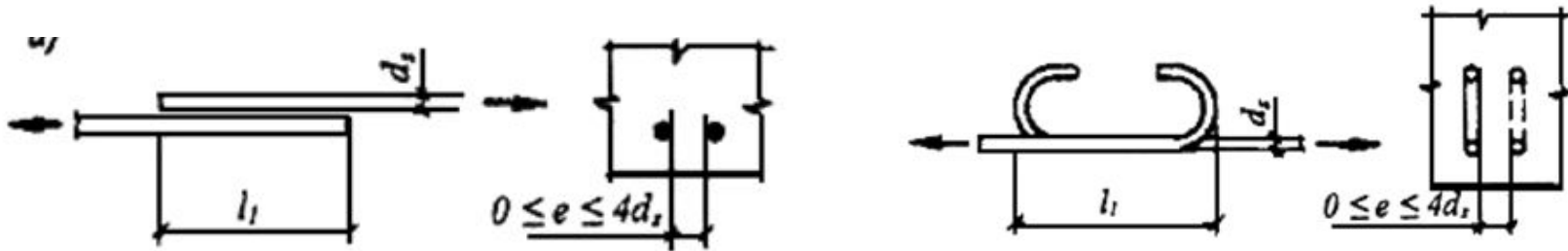
α — конструктивный коэффициент (учитывает влияние напряженного состояния арматуры, конструктивного решения элемента в зоне соединения стержней, количество стыкуемой арматуры в одном сечении по отношению к общему количеству арматуры в этом сечении, расстояния между стыкуемыми стержнями).

При стыковании нахлесткой должны быть соблюдены следующие условия:

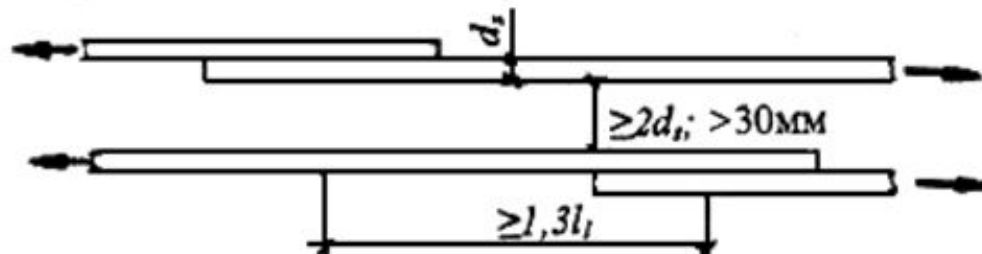
- количество стыкуемой в одном сечении (в пределах $1,3l_d$) рабочей растянутой арматуры должно быть не более 50 % для арматуры периодического профиля и не более 25 % для гладкой арматуры (с крюками или петлями)
- усилие, воспринимаемое всей поперечной арматурой, поставленной в пределах стыка, должно быть не менее половины усилия, воспринимаемого стыкуемой в одном расчетном сечении растянутой рабочей арматурой
- Допускается увеличивать количество стыкуемой в одном расчетном сечении элемента рабочей растянутой арматуры до 100%, принимая значение коэффициента $\alpha = 2,0$
- при относительном количестве стыкуемой в одном расчетном сечении арматуры периодического профиля более 50% и гладкой арматуры более 25% значения коэффициента α определяют по линейной интерполяции.

Расположение стержней, стыкуемых внахлестку и самих стыков

- расстояние между стыкуемыми рабочими стержнями арматуры не должно превышать $4 d_s$



- расстояние между соседними стыками внахлестку (по ширине железобетонного элемента) должно быть не менее $2 d$ и не менее 30 мм.



- В стыках сжатой продольной арматуры внахлестку обязательно ставятся хомуты с шагом не более $s \leq 10d_s$, где d_s - наименьший диаметр сжатой арматуры.