

Колонны.

Расчет центрально-сжатых
колонн по материалам

Колонна металлическая

Прочность Устойчивость

Металл

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c,$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c,$$

Дерево

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq R_c,$$

$$N \leq \varphi F_{расч} R_c,$$

Железобетон

$$N \leq \varphi [R_{sc}(A_s + A'_s) + R_b \gamma_{b2} b h].$$

Кирпич

$$N \leq m_g \varphi R A$$

$$N \leq m_g \varphi R_{sk} A_s,$$

Колонны. Материалы

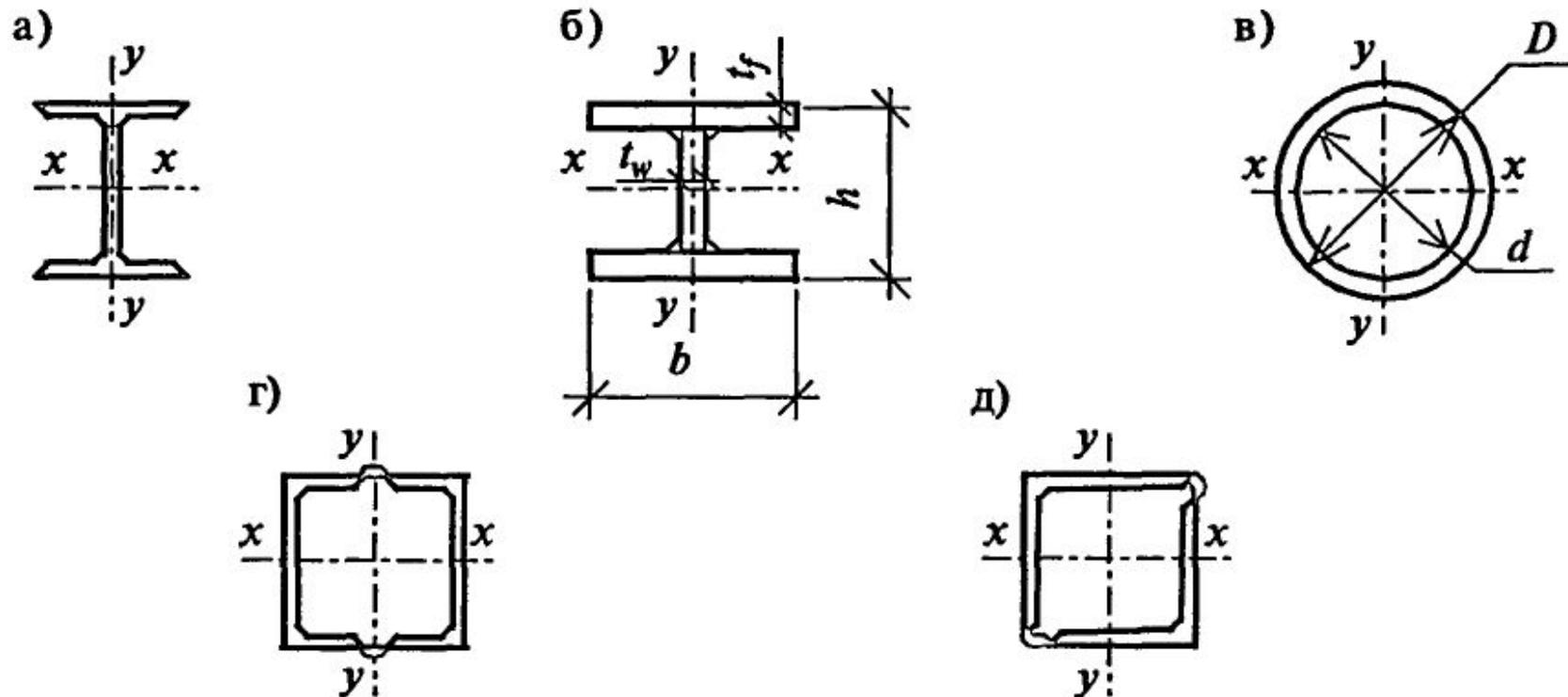
Несущая способность исчерпывается:

- от потери общей устойчивости
- от потери прочности
- от потери местной устойчивости

Потеря прочности: отверстия в поперечном сечении (технологические, для болтов и т.п.); колонны сквозного сечения (устойчивость колонн обеспечена большим разнесом ветвей колонн от главной оси)

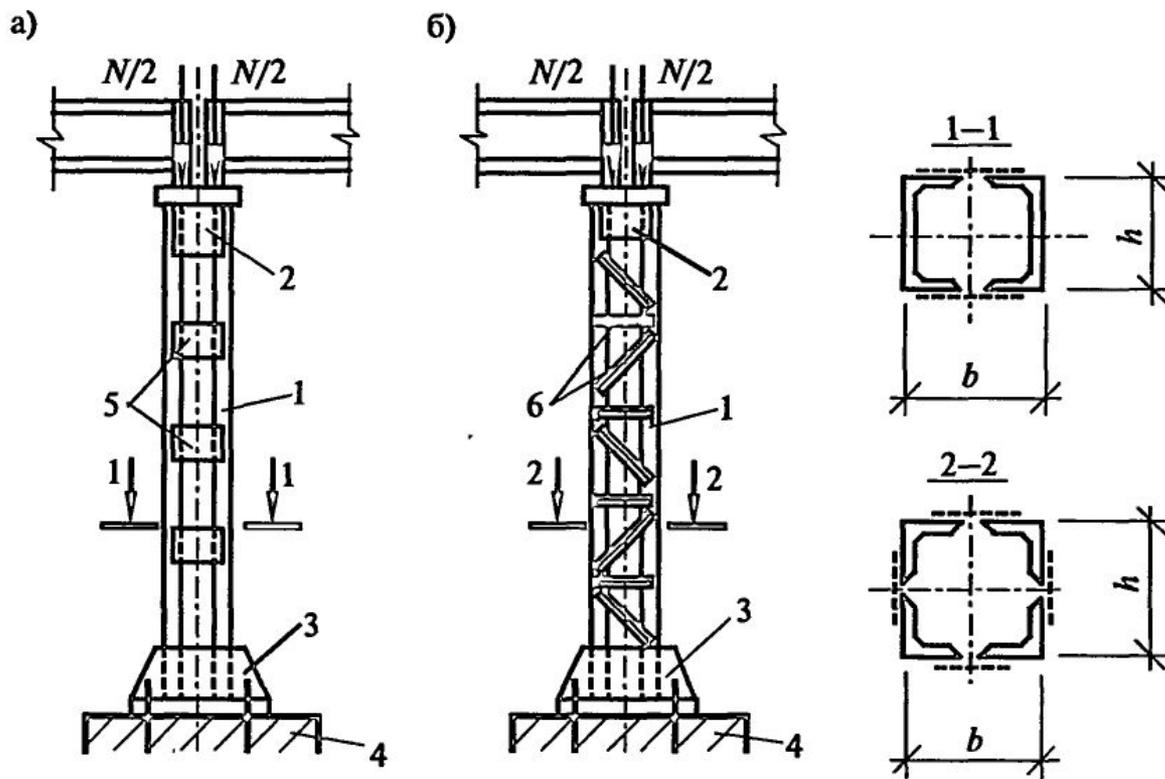
Потеря местной устойчивости: конструктивные меры – постановка ребер жесткости, увеличение толщины листов колонны и т.п. В прокатных сечениях такой случай исключен

Колонна металлическая



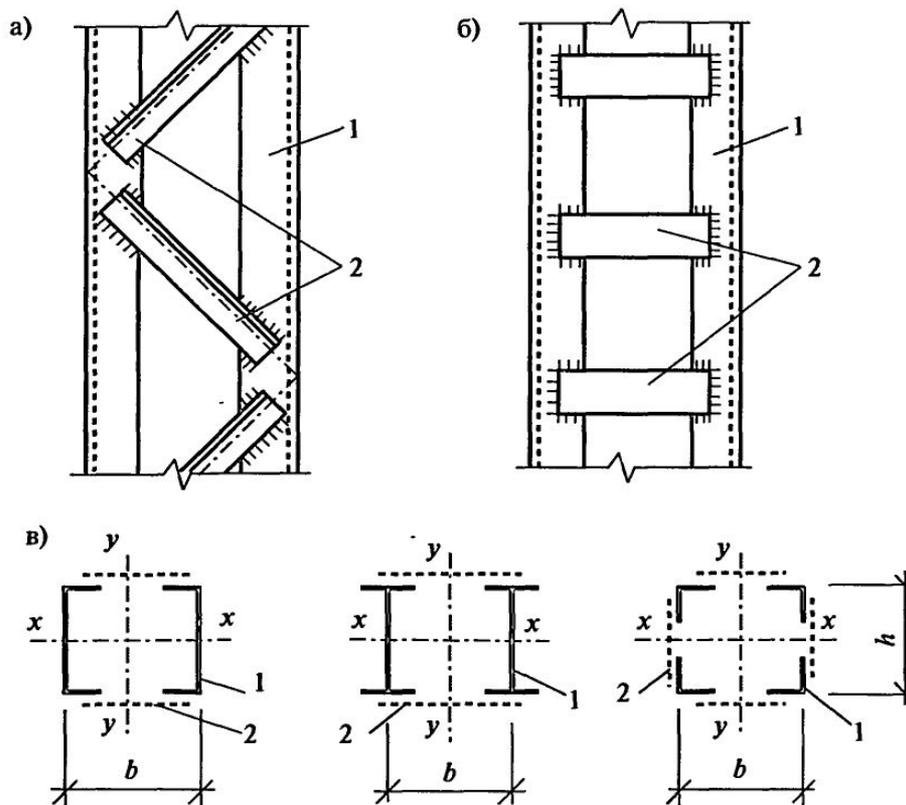
Сечения сплошных колонн: а) прокатный двутавр; б) сварной двутавр; в) труба; г) сечение из двух швеллеров; д) сечение из двух уголков

Колонна металлическая



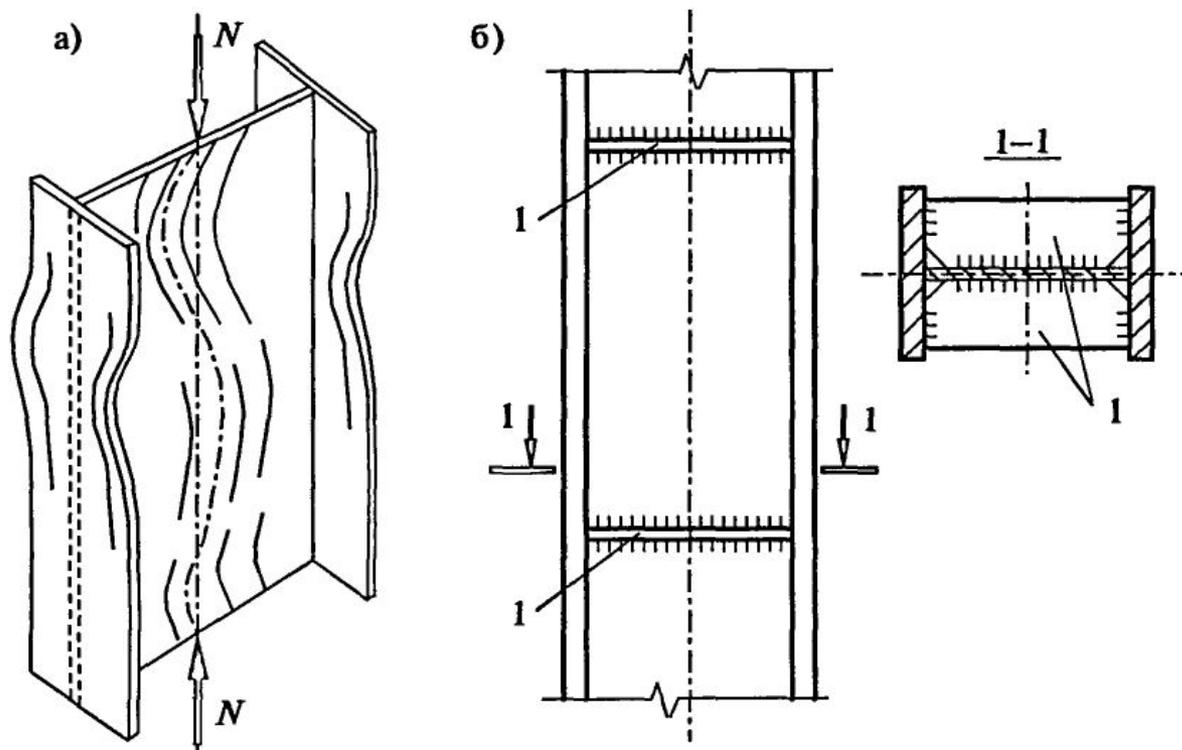
Сквозные центрально-сжатые колонны: а) соединение ветвей на планках; б) соединение ветвей решеткой из уголков; 1 — стержень; 2 — оголовок; 3 — база колонны; 4 — фундамент; 5 — планки; 6 — уголки

Колонна металлическая



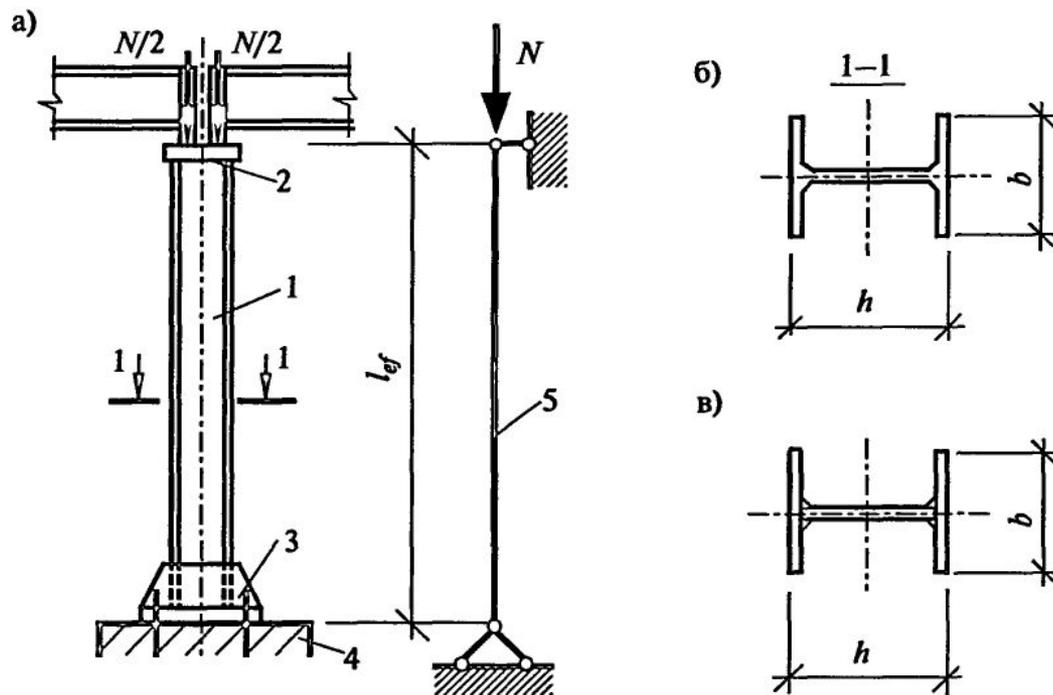
Сквозные колонны: а) решетка из уголков; б) соединение ветвей планками; в) сечения сквозных центрально-сжатых колонн;
1 — ветвь колонны; 2 — соединительная решетка

Колонна металлическая



Потеря местной устойчивости: а) схема потери местной устойчивости сварного двутавра; б) постановка ребер жесткости для обеспечения местной устойчивости; 1 – ребра жесткости

Колонна металлическая



Сплошная центрально-сжатая колонна:

- а) конструкция; б) сечение из прокатной двутавровой балки;
в) двутавровое сечение, сваренное из листов; 1 — стержень колонны;
2 — оголовок колонны; 3 — база колонны; 4 — фундамент; 5 — расчетная схема

Колонна металлическая

Прочность

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c,$$

где σ — нормальное напряжение в сечении колонны;

N — расчетная продольная сила;

A_n — площадь сечения нетто, т.е. площадь сечения за вычетом площади ослаблений, например при наличии отверстий для болтов и др.;

R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести;

γ_c — коэффициент условия работы,

(при расчетах прочности сплошных колонн $\gamma_c = 1,1$).

Колонна металлическая

Устойчивость

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \leq R_y \gamma_c,$$

где φ — коэффициент продольного изгиба;

A — площадь без учета ослаблений (брутто).

Колонна металлическая

φ — коэффициент продольного изгиба

Определяется от условной гибкости:

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}$$

R_y — расчетное сопротивление стали по пределу текучести

E - модуль упругости стали; $E=2,06 \cdot 10^5$ МПа

Колонна металлическая

φ — коэффициент продольного изгиба

Определяется от формы сечения п. 7.1.3:

при $\bar{\lambda} \geq 0,6$
$$\varphi = 0,5(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48\bar{\lambda}^2}) / \bar{\lambda}^2.$$

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2,$$

α и β - коэффициенты, определяемые по таблице 7

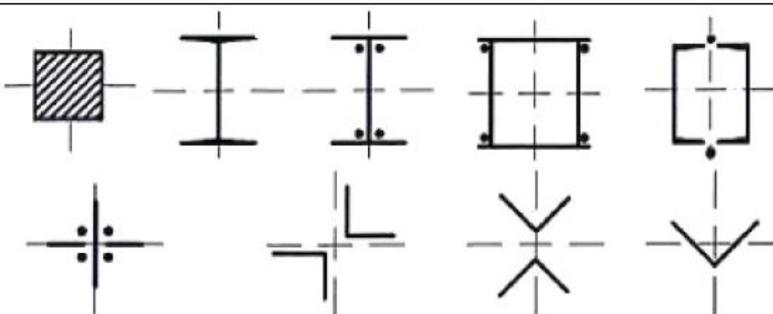
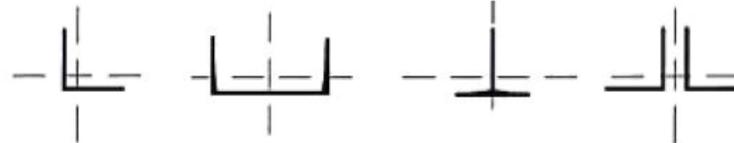
в зависимости от типов сечений.

При значениях $\bar{\lambda} < 0,6$ для типов сечений a и b

следует принимать $\varphi = 1$.

Колонна металлическая

Таблица 7

обозначение	Тип сечения форма	Значение коэффициента	
		<i>a</i>	<i>b</i>
<i>a</i>		0,03	0,06
<i>b</i>		0,04	0,09
<i>c</i>		0,04	0,14

Колонна металлическая

Проверка гибкости выполняется по формуле

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \leq \lambda_{пред},$$

где l_{ef} — расчетная длина колонны;

i — радиус инерции сечения.

$$l_{ef} = \mu l,$$

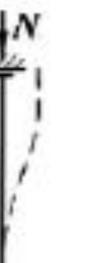
где μ — коэффициент расчетной длины ;

l — геометрическая длина колонны.

Колонна металлическая

СП 16.13330.2017 Стальные конструкции.
 Актуализированная редакция СНиП
 II-23-81* (с Поправкой)

Таблица 30

Схема закрепления колонны (стойки) и вид нагрузки								
μ	1,0	0,7	0,5	2,0	1,0	2,0	0,725	1,12

Колонна металлическая

Независимо от выполненного расчета необходимо, чтобы гибкость колонны не превышала предельной $\lambda_{пред}$.

Таблица 32

Элементы конструкций	Предельная гибкость сжатых элементов $\lambda_{пред}$
1 Пояса, опорные раскосы и стойки, передающие опорные реакции:	
а) плоских ферм, структурных конструкций и пространственных конструкций из труб или парных уголков высотой до 50 м	180-60 α
б) пространственных конструкций из одиночных уголков, а также пространственных конструкций из труб и парных уголков высотой св. 50 м	120
2 Элементы, кроме указанных в позициях 1 и 7:	
а) плоских ферм, сварных пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков, пространственных и структурных конструкций из труб и парных уголков	210-60 α
б) пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков с болтовыми соединениями	220-40 α
3 Верхние пояса ферм, не закрепленные в процессе монтажа (предельную гибкость после завершения монтажа следует принимать по позиции 1)	220
4 Основные колонны	180-60 α
5 Второстепенные колонны (стойки фахверка, фонарей и т.п.), элементы решетки колонн, элементы вертикальных связей между колоннами (ниже балок крановых путей)	210-60 α
6 Элементы связей, кроме указанных в позиции 5, а также стержни, служащие для уменьшения расчетной длины сжатых стержней, и другие ненагруженные элементы, кроме указанных в позиции 7	200
7 Сжатые и ненагруженные элементы пространственных конструкций таврового и крестового сечений, подверженные воздействию ветровых нагрузок, при проверке гибкости в вертикальной плоскости	150
<p>Обозначение, принятое в таблице 32:</p> $\alpha = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c}$ <p>- коэффициент, принимаемый не менее 0,5 (в соответствующих случаях вместо φ следует принимать φ_y).</p>	

Колонна деревянная

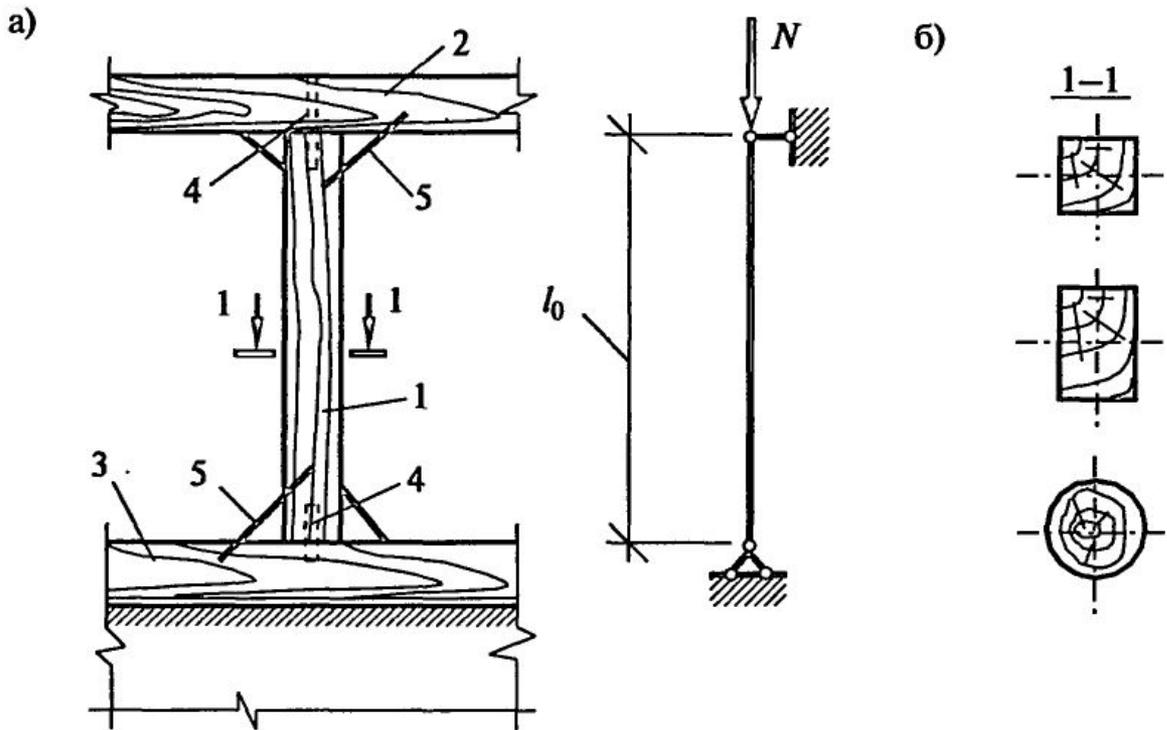
СП 64.13330.2017

Деревянные конструкции.

Актуализированная редакция

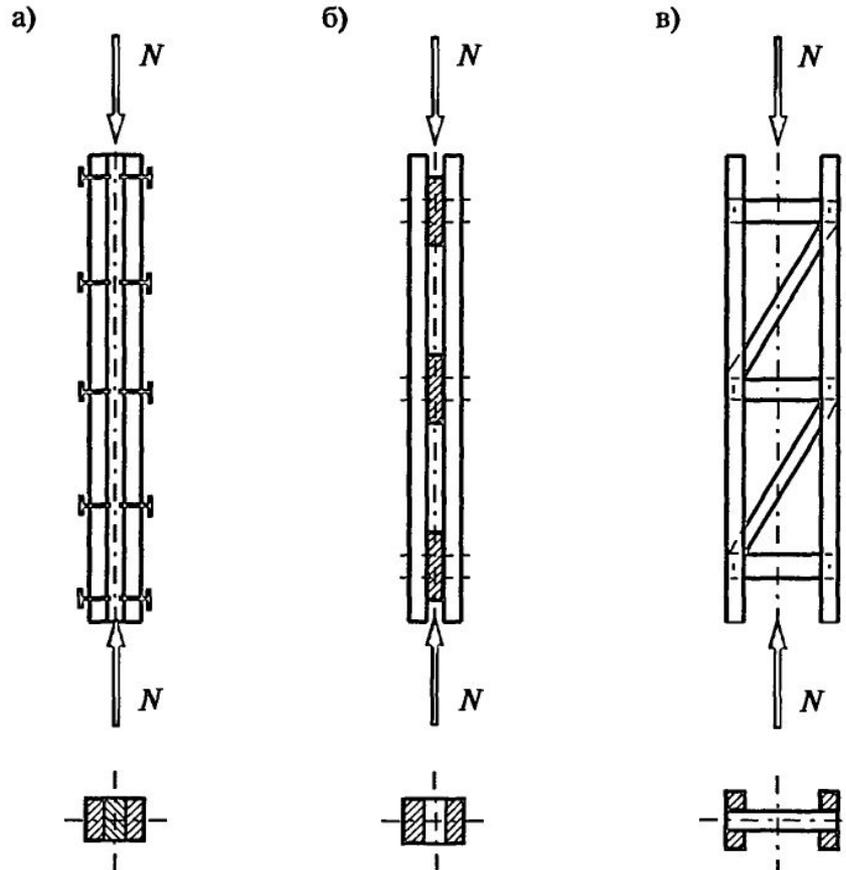
СНиП II-25-80 (с Изменением N
1)

Колонна деревянная



*Деревянная стойка в ригельно-стойечной системе:
а) конструкция стойки и ее расчетная схема; б) сечения сплошных стоек;
1 — стойка; 2 — прогон; 3 — лежень; 4 — штырь; 5 — скобы*

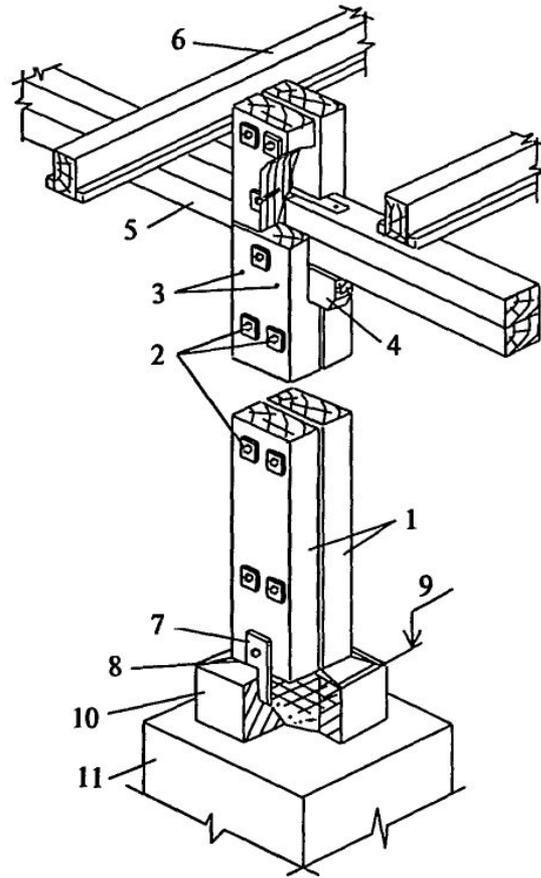
Колонна деревянная



Стержни составного сечения:

- а) стержень — пакет из досок; б) стержень с короткими прокладками;
в) стержень со сквозной решеткой*

Колонна деревянная



Составная стойка на болтах:

*1 – ветви стойки; 2 – болты; 3 – гвозди; 4 – подбалка; 5 – прогон;
6 – балка; 7 – анкер из полосовой стали; 8 – толь; 9 – уровень пола;
10 – бетонный башмак; 11 – фундамент*

Колонна деревянная

Несущая способность

исчерпывается:

- от потери общей устойчивости
- от потери прочности

Потеря прочности: стойки часто имеют ослабления (отверстия и врезки)

Колонна деревянная

Несущая способность

исчерпывается:

- от потери общей устойчивости
- от потери прочности

Потеря прочности: стойки часто имеют ослабления (отверстия и врезки)

Колонна деревянная

Базовая формула расчета на
устойчивость

$$N \leq \varphi F_{\text{расч}} R_{сэ}$$

где N — расчетная продольная сила;

φ — коэффициент продольного изгиба, принимается в зависимости от гибкости и определяется по формулам:

а) при гибкости $\lambda \geq 70$

$$\varphi = 3000/\lambda^2;$$

б) при гибкости $\lambda < 70$

$$\varphi = 1 - 0,8(\lambda/100)^2,$$

Колонна деревянная

где λ — гибкость стойки, определяется по формуле

$$\lambda = l_0/r,$$

где l_0 — расчетная длина, $l_0 = \mu l$;

$r(i)$ — радиус инерции сечения;

Колонна деревянная

$F_{\text{расч}}$ — расчетная площадь, определяется в зависимости от вида ослаблений

- о если ослабления отсутствуют, принимают $F_{\text{расч}} = F$;
- о если ослабления выходят на кромки элемента $F_{\text{расч}} = F_{\text{нт}}$;
- о если ослабления не выходят на кромки элемента:

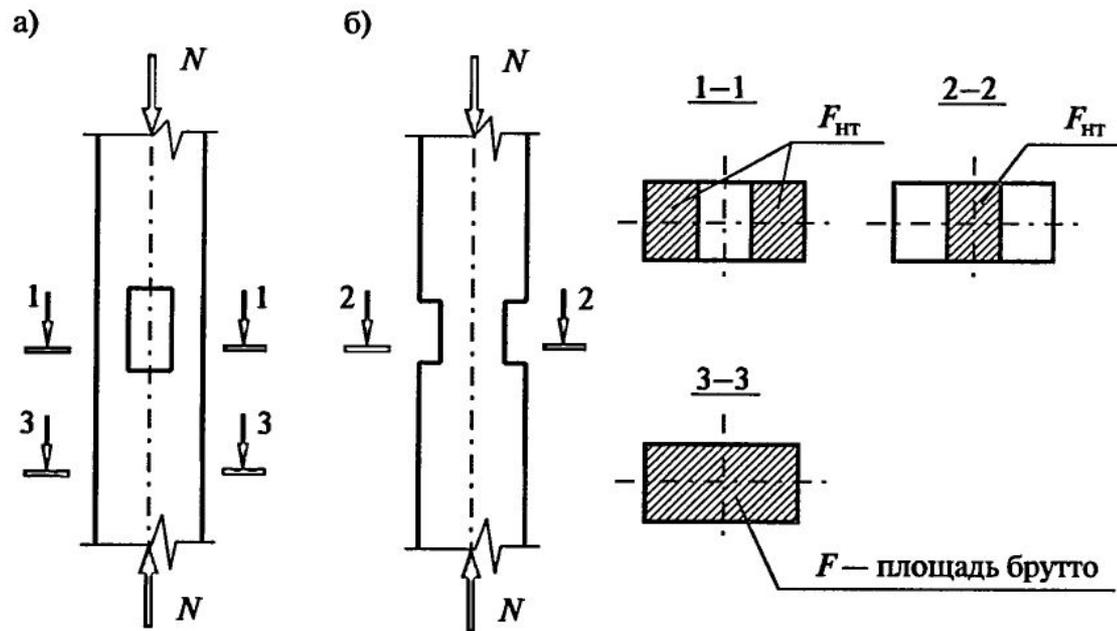
площадь ослабления превышает 25% от площади брутто —
 $F_{\text{расч}} = \frac{4}{3}F_{\text{нт}}$;

площадь ослабления не превышает 25% от площади брутто —
 $F_{\text{расч}} = F_{\text{бр}}$;

R_c — расчетное сопротивление древесины на сжатие;

Колонна деревянная

Гибкость сжатых элементов λ ограничивается предельной гибкостью (для стоек $\lambda_{\text{пред}} = 120$).



Центрально-сжатые деревянные элементы:
а) ослабление не выходит на кромку;
б) ослабления симметрично выходят на кромки

Колонна деревянная

Базовая формула расчета на прочность:

$$\sigma = \frac{N}{F_{\text{нт}}} \leq R_c,$$

где $F_{\text{нт}}$ — площадь поперечного сечения нетто, принимается за вычетом ослаблений

Колонна железобетонная

СП 63.13330.2012

Бетонные и железобетонные
конструкции. Основные
положения. Актуализированная
редакция СНиП 52-01-2003 (с
Изменениями N 1, 2, 3)

Колонна железобетонная

2 разнородных материала с разной прочностью:

- Бетон
- Арматура (стальные стержни) – 1-3% от площади поперечного сечения

Прочность стали при сжатии в 10-15 раз выше прочности бетона при сжатии

Колонна железобетонная

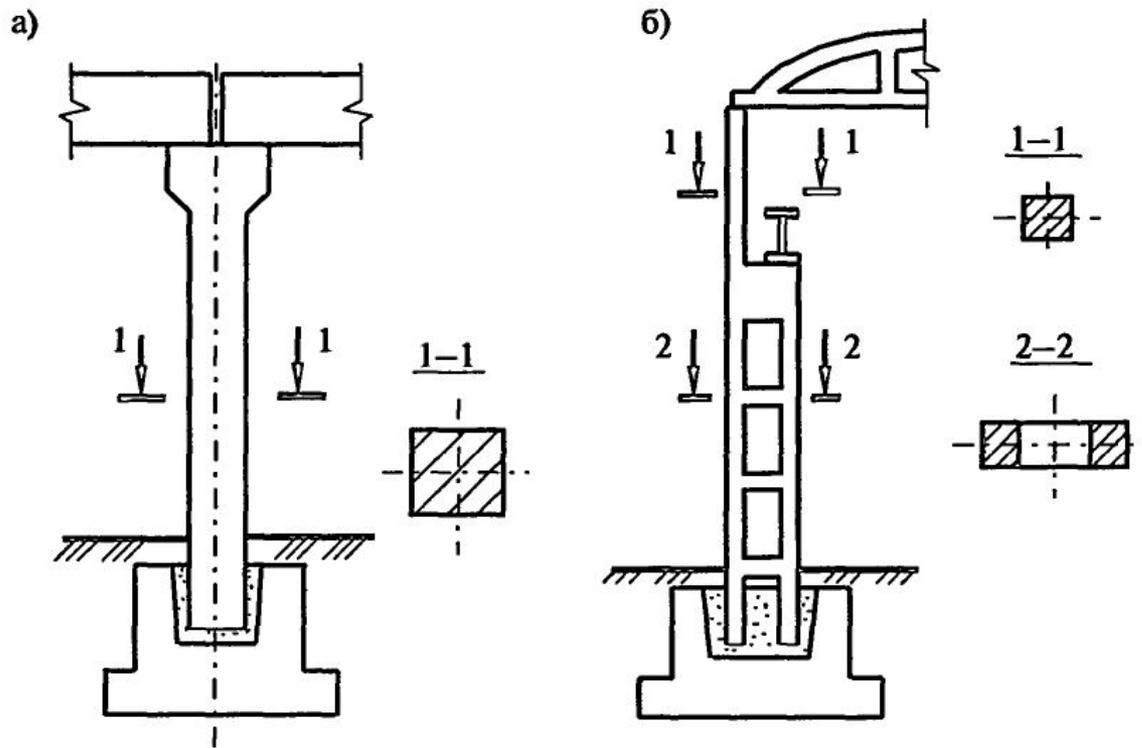
Цель

Обеспечить совместную работу материалов: бетона и арматуры

Сечения:

- Сплошное по высоте
- Решетчатое, переменного сечения по высоте

Колонна железобетонная

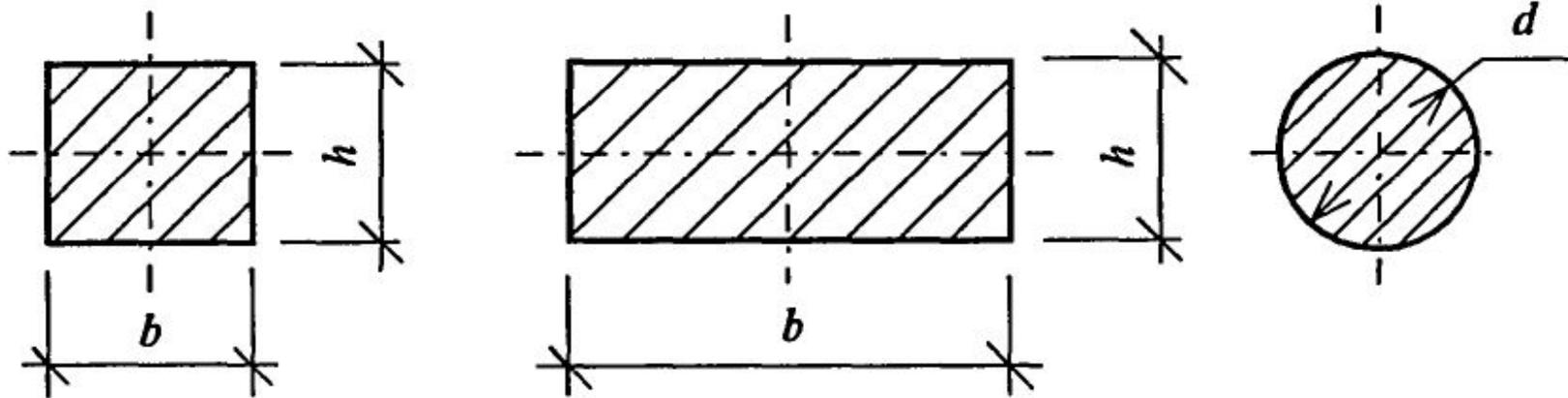


Железобетонные колонны:

а) сплошная, постоянного сечения по высоте;

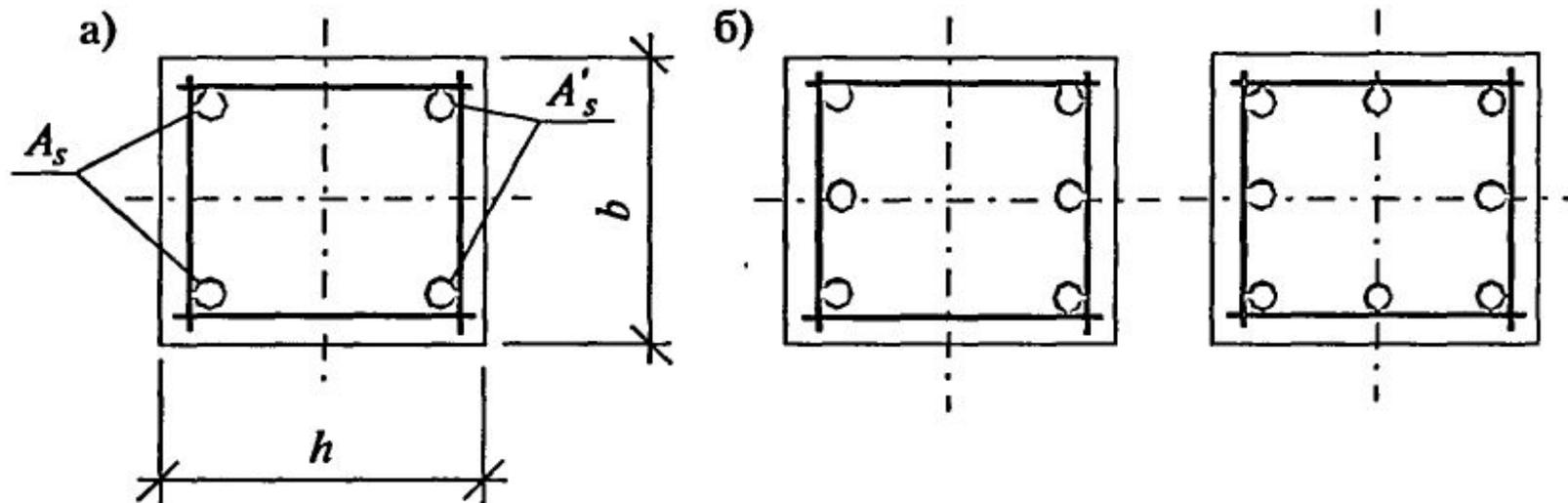
б) решетчатая, переменного сечения по высоте

Колонна железобетонная



Виды сечений железобетонных колонн

Колонна железобетонная



Варианты расположения рабочей арматуры:

а) по углам сечения колонны; б) с применением промежуточных стержней;

A_s — площадь продольной арматуры, расположенной на одной стороне;

A'_s — площадь продольной арматуры другой стороны

Колонна железобетонная

Несущая способность исчерпывается:

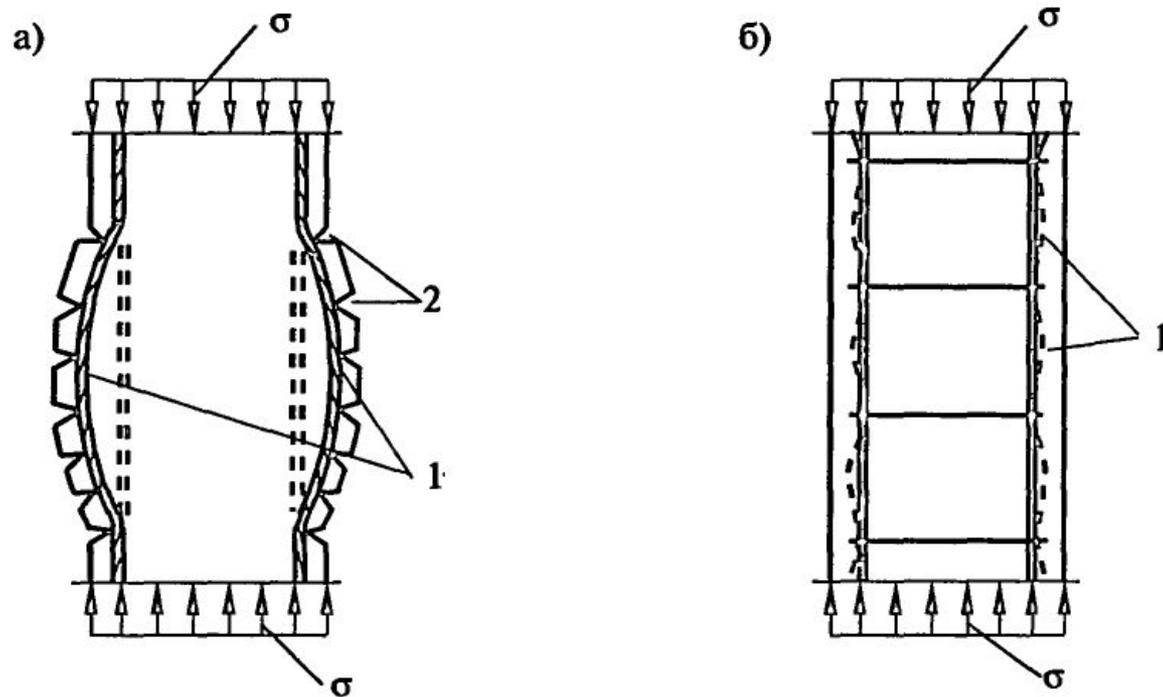
- от потери общей устойчивости
- от потери прочности
- от потери местной устойчивости

Колонна железобетонная

Потеря общей устойчивости:

до определенного значения нагрузки бетон и арматура работают совместно, потом идет потеря устойчивости арматурных стержней (раньше чем весь элемент), выпучиваются и разрушают защитный слой бетона

Колонна железобетонная

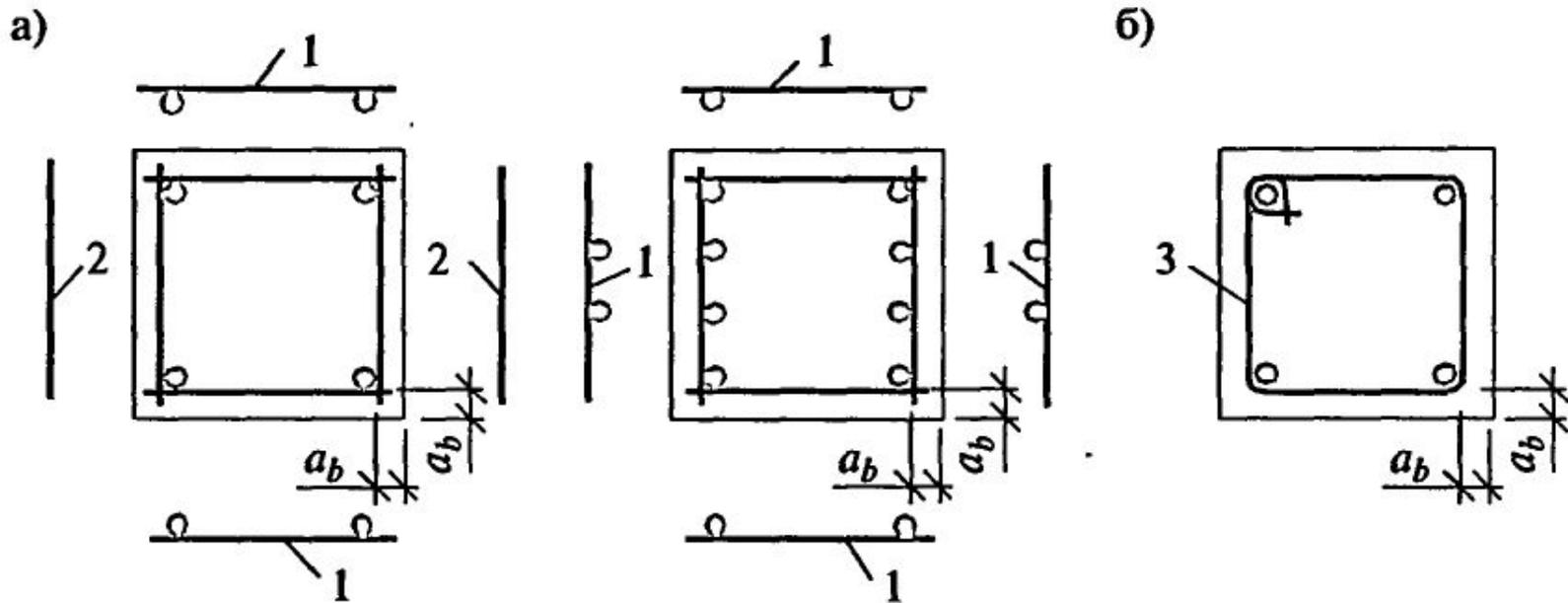


*Потеря устойчивости арматуры в сжатом железобетонном элементе:
а) при отсутствии поперечной арматуры; б) при наличии поперечной
арматуры (хомутов); 1 — выпучивание продольной арматуры;
2 — разрушение бетона*

Колонна железобетонная

Необходимо к продольным стержням приварить или привязать проволокой поперечные стержни (уменьшить расчетную длину рабочих продольных стержней)

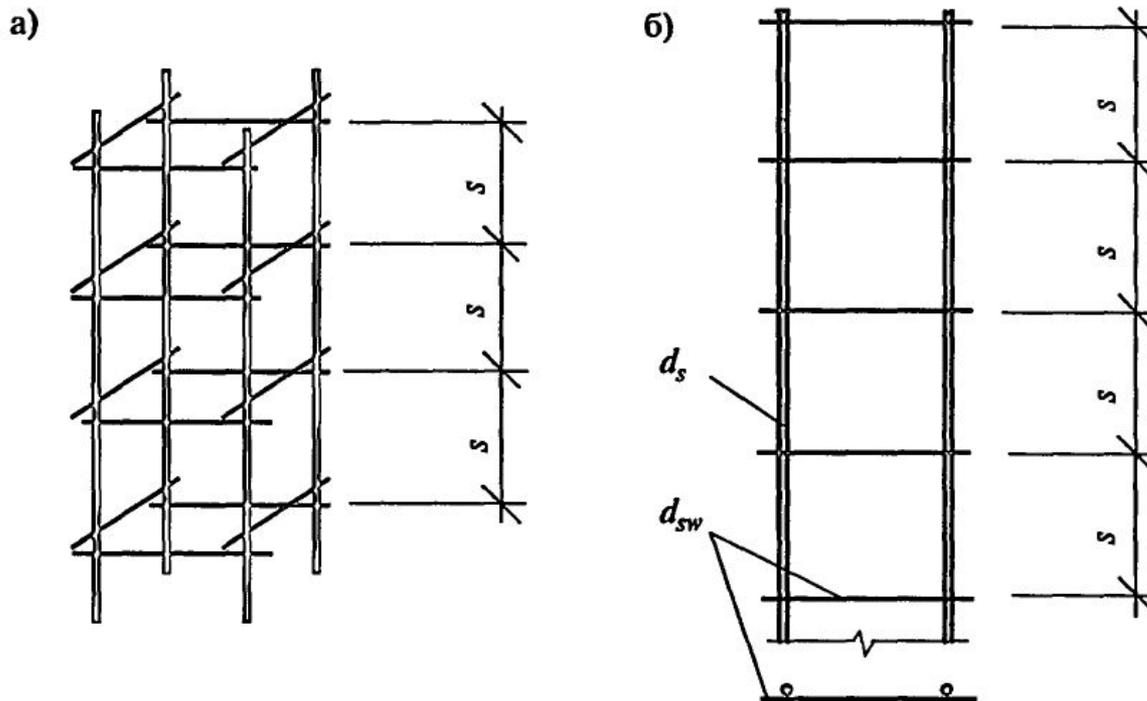
Колонна железобетонная



Армирование колонн:

- а) сварными каркасами; б) вязаными каркасами; 1 — каркасы;
2 — соединительные стержни; 3 — хомуты;
 a_b — защитный слой бетона продольной арматуры*

Колонна железобетонная



Постановка поперечных стержней в каркасах:
а) объемный каркас; б) плоский каркас; d_s — диаметр продольных стержней
арматуры; d_{sw} — диаметр поперечных стержней;
 s — шаг поперечных стержней

Колонна железобетонная

Цель:

бетон и продольная арматура
разрушаются одновременно

Колонна железобетонная

Цели расчета:

- подбор арматуры при достаточном сечении колонны для обеспечения общей устойчивости
- постановка поперечных стрежней на расстояниях, исключающих потерю устойчивости продольной арматуры раньше, чем произойдет потеря общей устойчивости колонны

Колонна железобетонная

Основная расчетная формула

$$N \leq \varphi [R_{sc}(A_s + A'_s) + R_b \gamma_{b2} b h].$$

Колонна железобетонная

Основная расчетная формула

$$N \leq N_{\text{стали}} + N_{\text{бетона}} \quad [1].$$

где $N_{\text{стали}} = \varphi R_s (A_s + A'_s);$
 $N_{\text{бетона}} = \varphi R_b \gamma_{b2} b h.$

Колонна железобетонная

R_{sc} — расчетное сопротивление сжатой арматуры ;

R_b — расчетное сопротивление бетона сжатию (призматическая прочность);

γ_{b2} — коэффициент условий работы бетона (для тяжелого бетона и при учете постоянных, длительных и кратковременных нагрузок $\gamma_{b2} = 0,9$).

b и h — размеры поперечного сечения колонны, см;

A_s и A'_s — площади сечения арматуры, соответственно по одной стороне сечения и по другой стороне;

Колонна железобетонная

φ — коэффициент продольного изгиба колонны:

$$\varphi = \varphi_b + 2(\varphi_{sb} - \varphi_b) \alpha_s \leq \varphi_{sb},$$

где φ_b и φ_{sb} определяются в зависимости от отношения расчетной длины колонны l_0 к меньшей стороне сечения колонны h и от отношения нагрузок — соответственно длительной части нагрузки ко всей нагрузке N_l/N .

При расчете колонн гражданских зданий расчетную длину можно принимать равной высоте этажа $l_0 = H_{эт}$ (в общем случае $l_0 = \mu l$);

Колонна железобетонная

$$\alpha_s = \frac{R_{sc}}{R_b \gamma_{b2}} \cdot \mu,$$

где μ — коэффициент армирования:

$$\mu = \frac{A_s + A'_s}{bh}.$$

Колонна железобетонная

Назначают диаметр поперечных стержней d_{sw} по условию свариваемости, которое устанавливает соотношение диаметров продольных и поперечных стержней арматуры при сварке. Это соотношение учитывает, что к продольному стержню арматуры большего диаметра d_s можно приварить поперечный стержень меньшего диаметра d_{sw} , который должен быть не менее $1/4 d_s$:

$$d_{sw} \geq 0,25d_s,$$

где d_s — наименьший диаметр продольных сжатых стержней (в вязаных каркасах диаметр хомутов принимают не менее $0,25 d_s$ и не менее 5 мм).

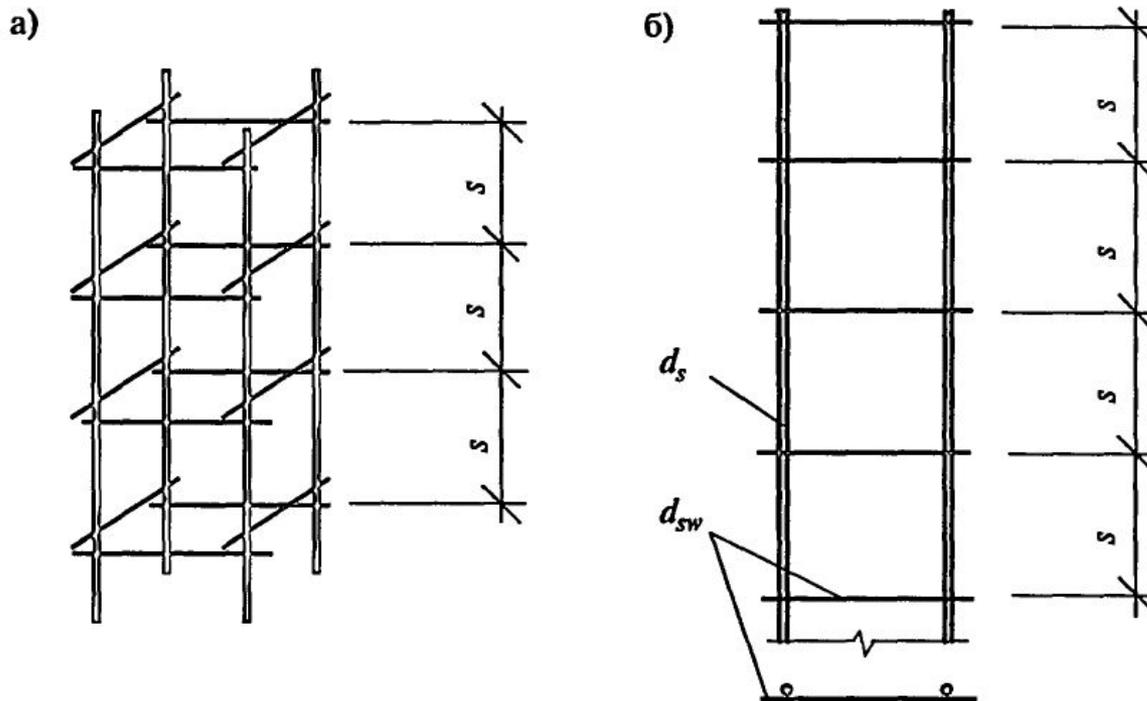
Колонна железобетонная

Назначают шаг поперечных стержней (хомутов в вязаных каркасах) s :

$s \leq 20d_s$ в сварных каркасах, но не более 500 мм;

$s \leq 15d_s$ в вязаных каркасах, но не более 500 мм.

Колонна железобетонная



Постановка поперечных стержней в каркасах:
а) объемный каркас; б) плоский каркас; d_s — диаметр продольных стержней
арматуры; d_{sw} — диаметр поперечных стержней;
 s — шаг поперечных стержней

Колонна кирпичная

СП 15.13330.2012

Каменные и армокаменные
конструкции.

Актуализированная
редакция СНиП II-22-81* (с
Изменениями N 1, 2)

Колонна кирпичная

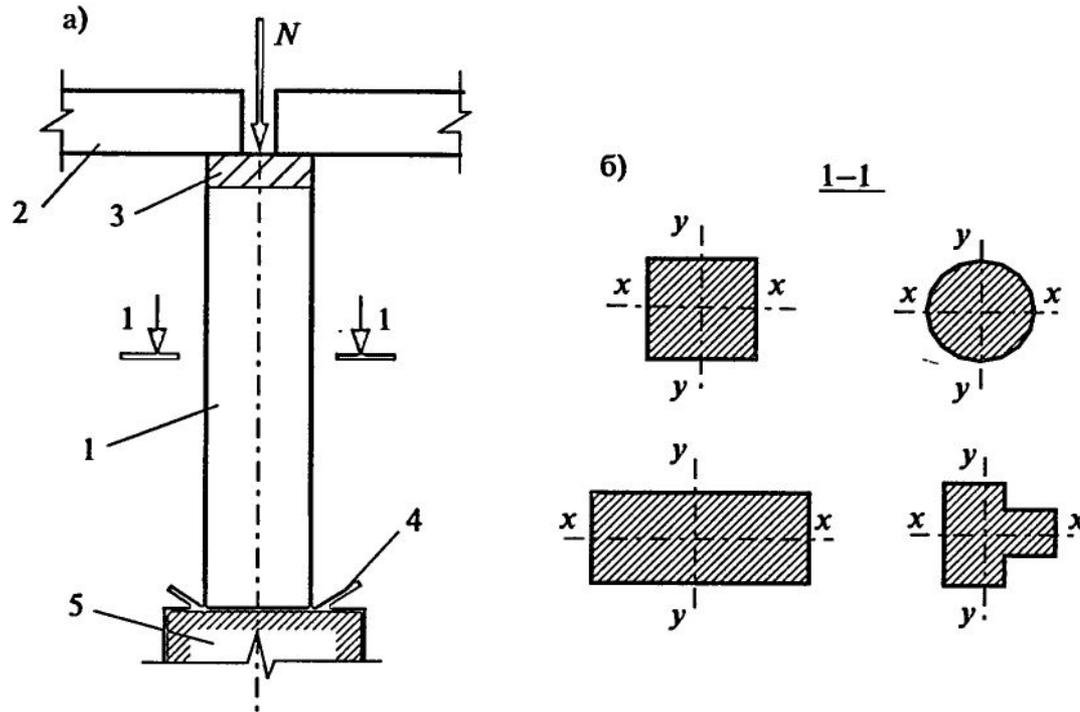
Сечения:

- Квадратное
- Прямоугольное
- Круглое
- Т-образное

Расчетные случаи:

- Неармированная кирпичная кладка
- Армированная кирпичная кладка

Колонна кирпичная



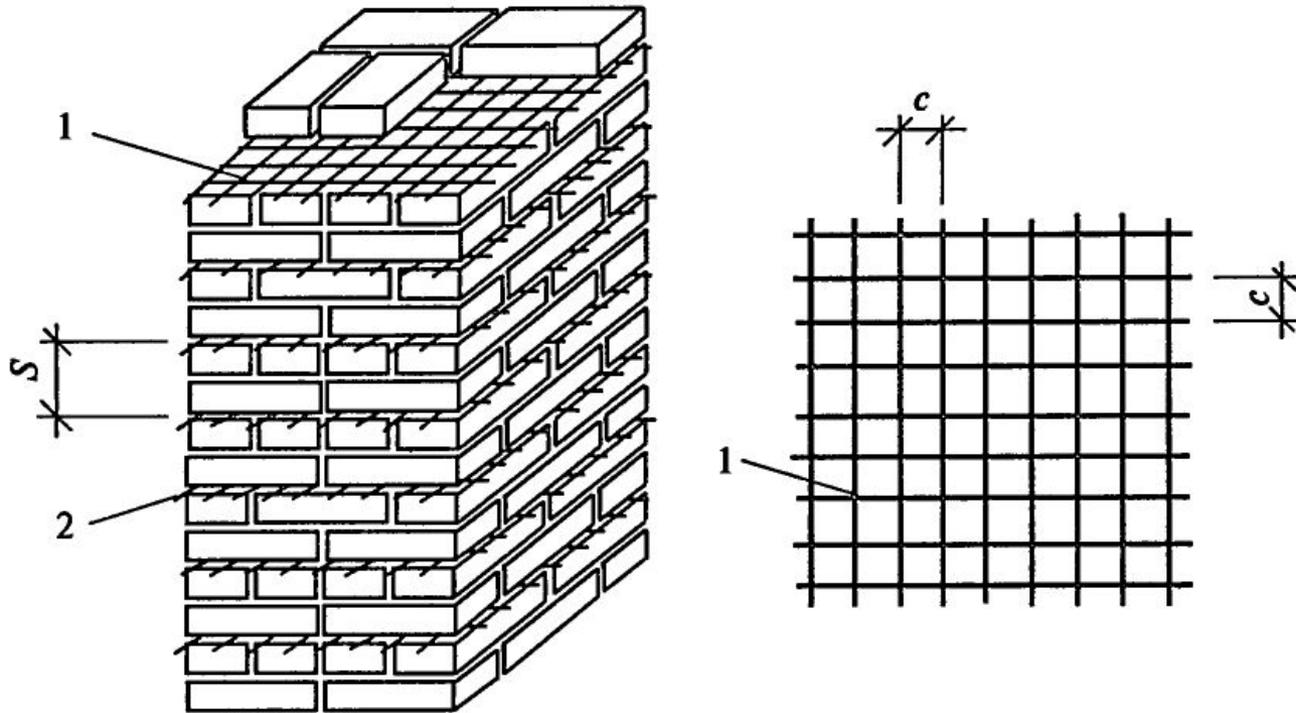
- а) кирпичная колонна;
б) сечения кирпичных колонн;
1 — колонна (столб); 2 — балка;
3 — железобетонная подушка;
4 — гидроизоляция; 5 — фундамент

Колонна кирпичная

По способу армирования

- С поперечным армированием (горизонтальные сетки диаметр арматуры 3-5 мм в каждом ряду кладки или через несколько рядов) – увеличение несущей способности кладки в 1,8 – 2 раза
- С продольным армированием (диаметр арматуры не менее 12 мм, проходят стержни в вертикальных швах на всю высоту столба) – способ почти не применяется

Колонна кирпичная



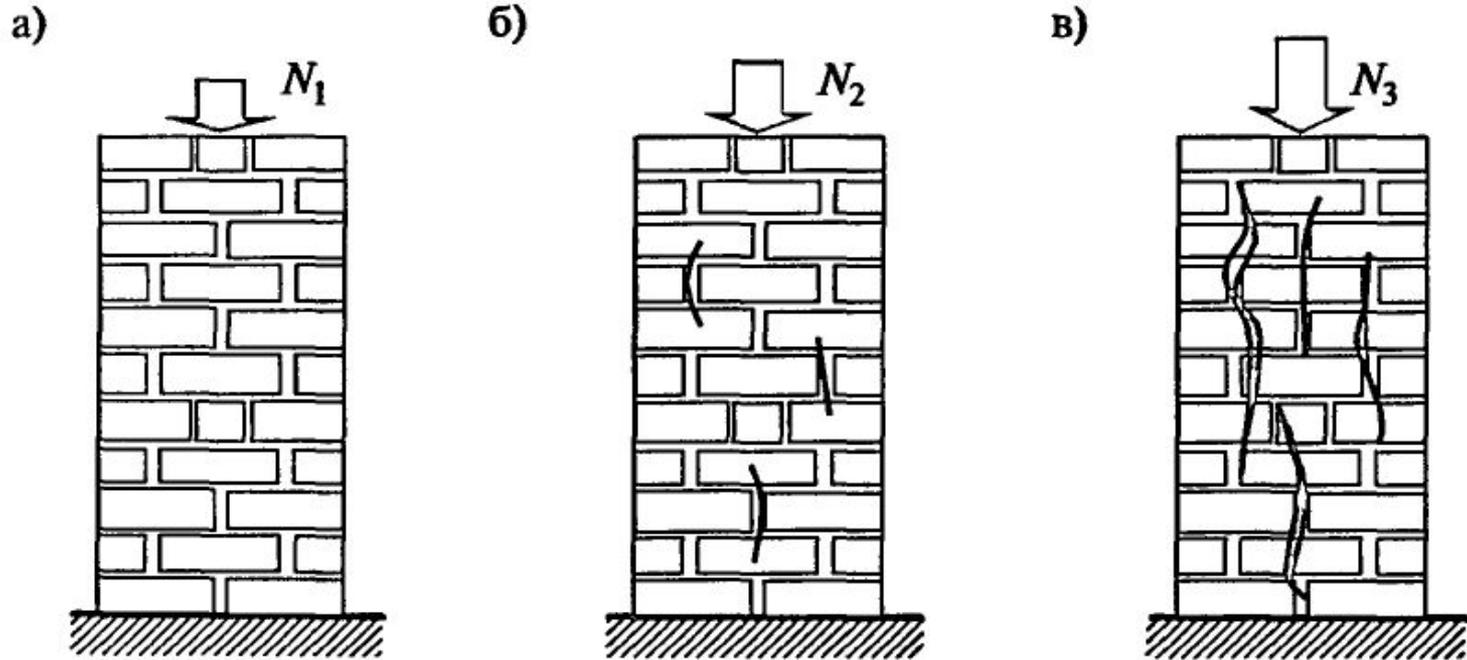
*Поперечное (сетчатое) армирование каменных конструкций:
1 — арматурная сетка; 2 — выпуски арматурной сетки для контроля ее укладки; c — размер ячейки арматурной сетки; S — шаг арматурных сеток*

Колонна кирпичная

Особенность работы под нагрузкой

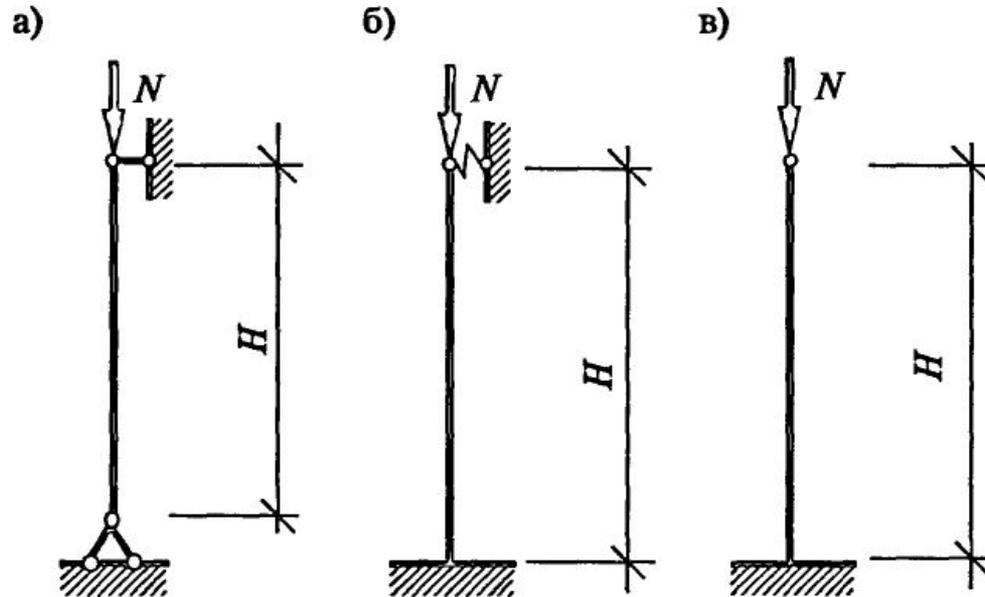
- Кладка работает упруго-пластично, пластические деформации развиваются долго
- Основная причина разрушения: вертикальные трещины (из-за растягивающих усилий в растворе – большая пластичность раствора, чем кирпича) на фоне потере общей устойчивости
- Вертикальные трещина по швам, а потом по кирпичу – разделение на «малые» столбы, которые разрушаются быстрее из-за их большей гибкости

Колонна кирпичная



*Схема разрушения кирпичного столба:
а) нормальная работа столба, трещин нет;
б) появление начальных трещин; в) разрушение*

Колонна кирпичная



Расчетные схемы элементов:

- а) шарнирно опертых на неподвижные опоры;*
- б) защемленных внизу и имеющих верхнюю упругую опору;*
- в) свободно стоящих*

Колонна кирпичная

Неармированная кладка

$$N \leq m_g \varphi R A$$

Армированная кладка

$$N \leq m_g \varphi R_{sk} A,$$