

Каменные и армокаменные конструкции

Материалы

Для сооружения каменных конструкций применяются различные виды природных и искусственных камней.

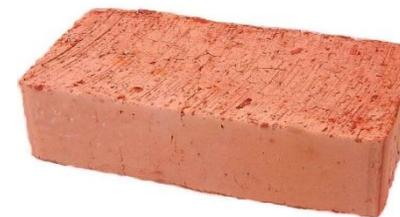
Армокаменные конструкции содержат в себе еще и стальную арматуру.

К природным камням тяжелых пород относят известняк, песчаник, гранит.

К легким природным камням относят известняк-ракушечник, туф.

К искусственным камням относят:

- Кирпич различного вида;
- Камни керамические;
- Камни из тяжелого и легкого бетона.



Каменные и армокаменные конструкции

Материалы

Основной характеристикой каменных материалов является их прочность, определяемая марками.

Марка камня устанавливается по величине временного сопротивления сжатию в $\left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}\right)$, а для кирпича также и по изгибу.

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{A}; \quad R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h}$$

P – разрушающая нагрузка;

A – площадь поперечного сечения образца;

l – расстояние между опорами (200 мм);

b – ширина кирпича;

h – высота кирпича;



Каменные и армокаменные конструкции

Материалы

Растворы для каменной кладки могут быть:

- цементными;
- известковыми;
- глиняными;
- гипсовыми;
- смешанными.

Прочность раствора также характеризуется его маркой.

Свежеуложенный раствор (или оттаявший раствор замороженной кладки) имеет нулевую прочность.

Выбор марки камней и растворов производится в зависимости от степени долговечности здания и условий эксплуатации конструкций.

Для армирования каменных конструкций применяют сталь А-240, А-300 и обыкновенную холоднотянутую гладкую проволоку класса В-I.



Каменные и армокаменные конструкции

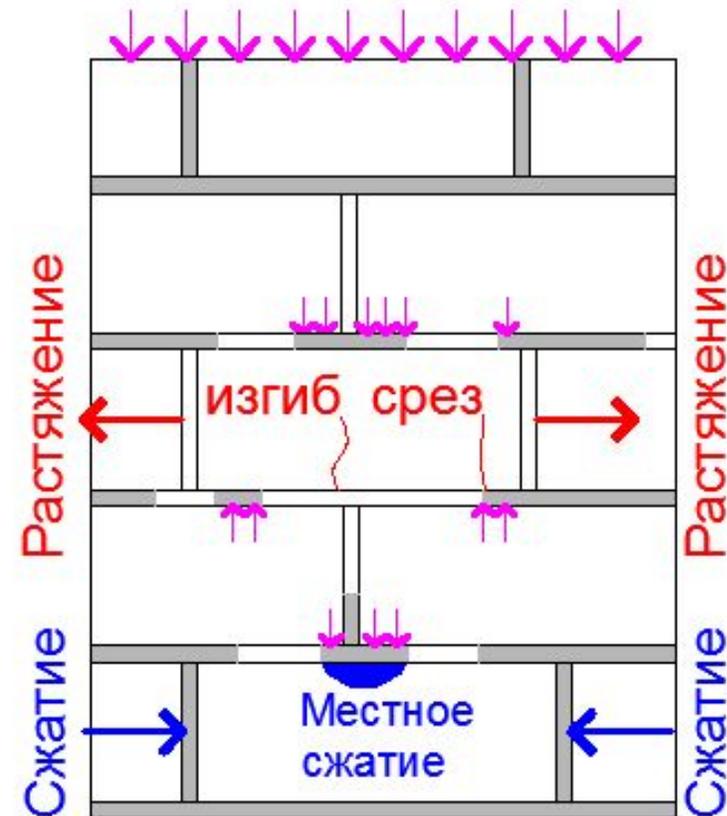
Прочностные характеристики каменной кладки.

Камень и раствор в кладке находятся в условиях сложного напряженного состояния даже при равномерном распределении нагрузки по всему сечению сжатого элемента.

Они одновременно подвержены внецентренному и местному сжатию, изгибу, срезу, растяжению.

Это объясняется тем, что плотность и жесткость раствора по длине и ширине шва неоднородна вследствие различных факторов:

- неравномерность водоотдачи и усадки;
- неровное расстилание раствора каменщиком;
- наличие вертикальных швов и пустот.



Основной причиной разрушения сжатого камня является изгиб и растяжение. На прочность кладки влияют размеры и форма камней, способ перевязки швов, сцепление раствора с камнем и т.д.

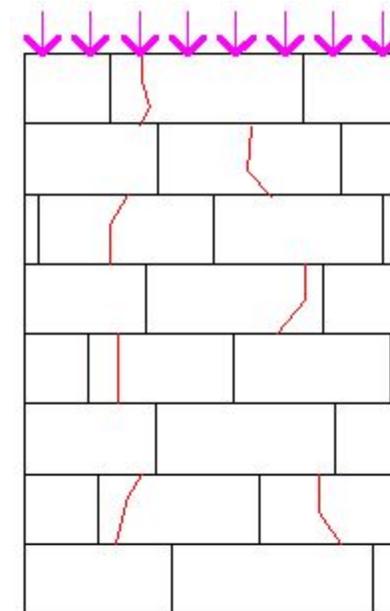
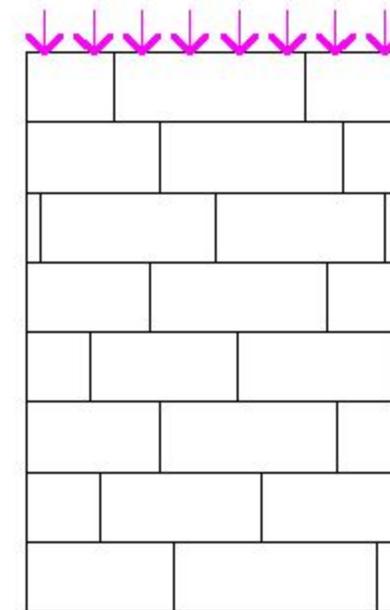
Каменные и армокаменные конструкции

Стадии работы каменной кладки на сжатие.

В работе кирпичной кладки на сжатие различают четыре стадии.

Первая стадия соответствует нормальной эксплуатации кладки, когда усилия, возникающие в кладке под нагрузкой, не вызывают видимых повреждений.

Переход кладки во вторую стадию работы характеризуется появлением небольших трещин в отдельных кирпичах. В этой стадии кладка еще несет нагрузку, и дальнейшего развития трещин при неизменной нагрузке не наблюдается.

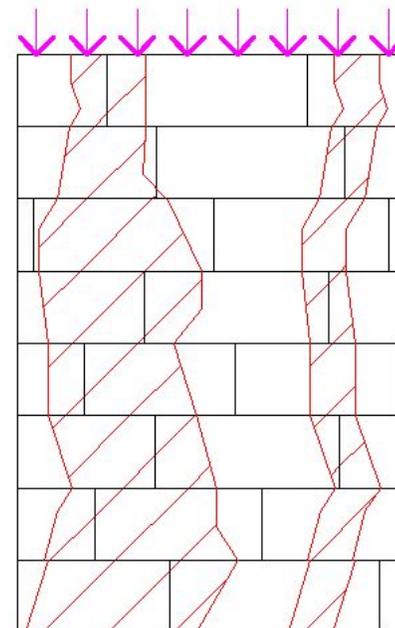
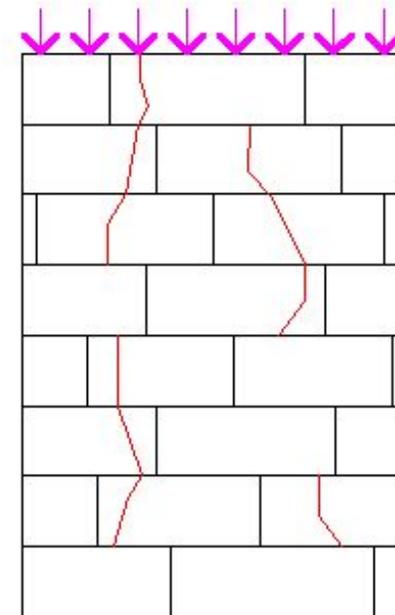


Каменные и армокаменные конструкции

При увеличении нагрузки происходит возникновение и развитие новых трещин, которые соединяются между собой, пересекая значительную часть кладки в вертикальном направлении. Это третья стадия работы.

При длительном действии этой нагрузки, даже без ее увеличения, вследствие развития пластических деформаций, будет происходить дальнейшее развитие трещин, расслаивающих кладку на тонкие гибкие столбики. Третья стадия переходит в четвертую – стадию разрушения от потери устойчивости расчлененной трещинами кладки.

Т.к. разрушение сжатой кладки происходит вследствие потери устойчивости образовавшихся после ее растрескивания гибких столбиков, то прочность кладки даже при очень прочном растворе всегда меньше прочности кирпича на сжатие.



Каменные и армокаменные конструкции

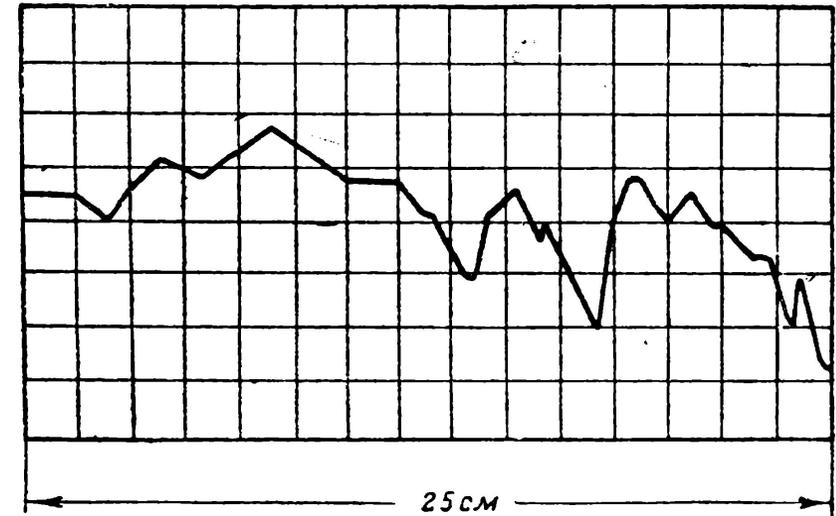
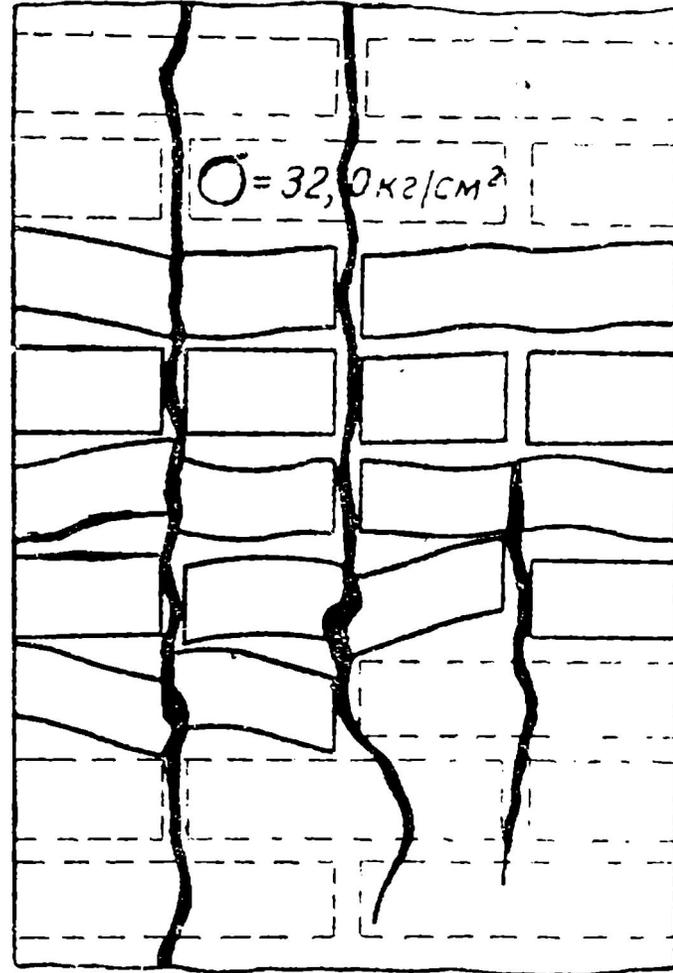
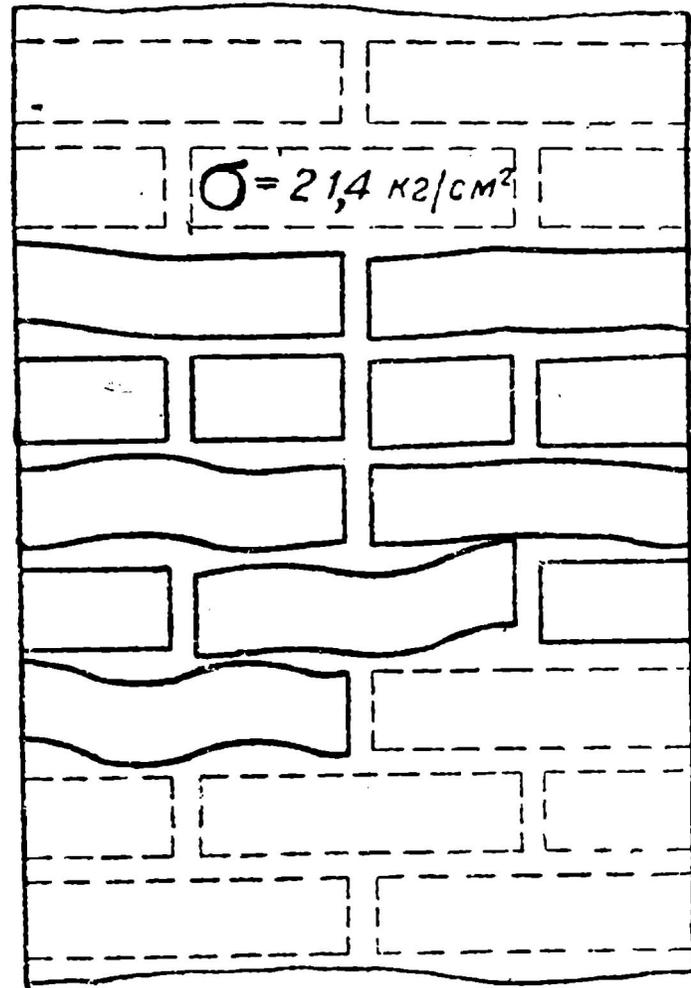


Рис. 12. Определение плотности шва кладки с помощью рентгеновских лучей.

Рис. 11. Деформации изгиба отдельных кирпичей в кладке при сжатии. (На рисунке масштаб деформаций в 200 раз больше масштаба размеров кирпича)

Каменные и армокаменные конструкции

Кроме марки кирпича R_1 , на величину прочности кладки оказывает влияние марка раствора R_2 и вид кладки. Величина фактической прочности кладки R_ϕ может быть получена по эмпирической формуле вида:

$$R_\phi = A \cdot R_1 \cdot \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2 \cdot R_1}}\right) \cdot \eta$$

a, b, η – зависят от вида кладки (они меньше 1);

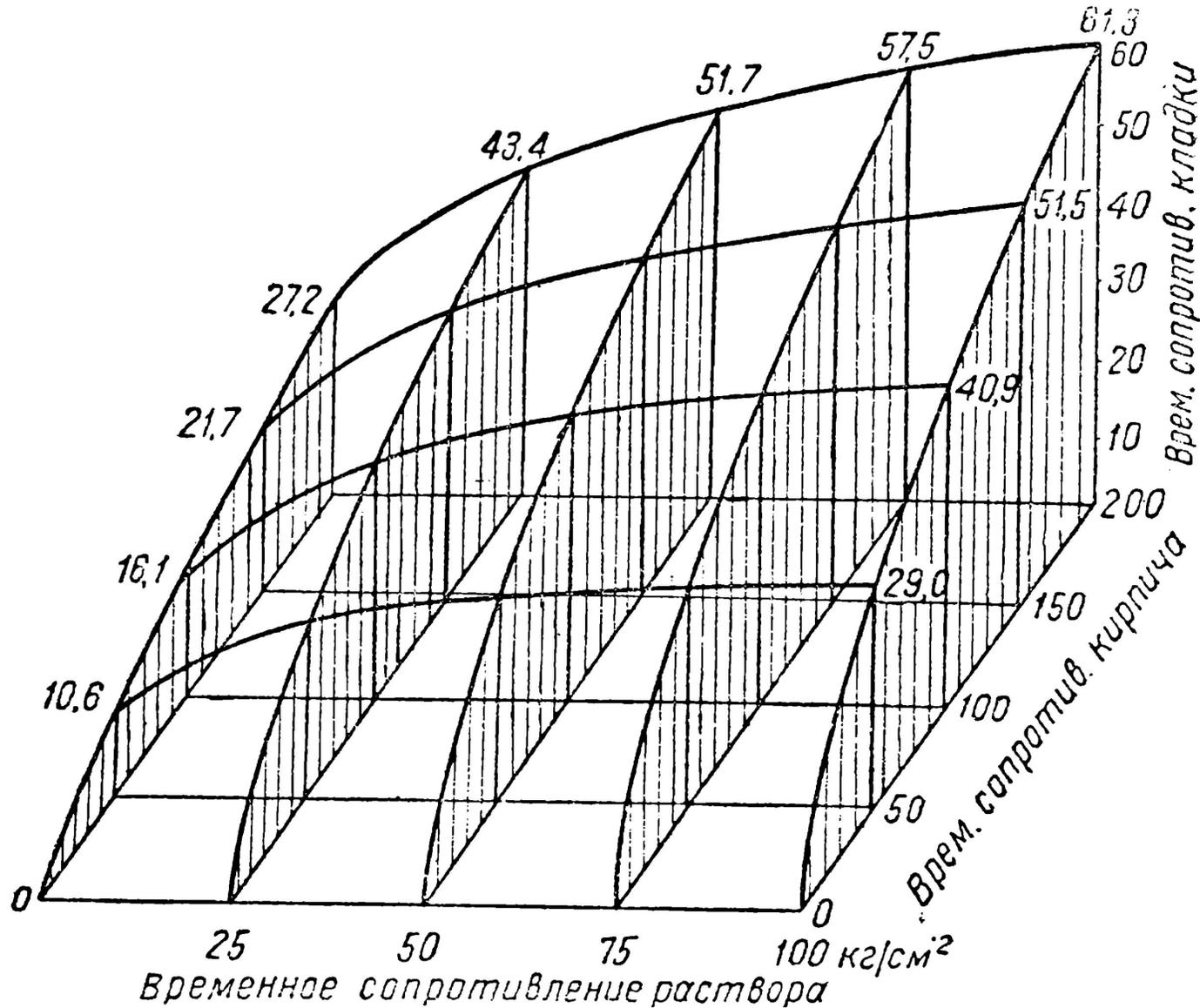
A – конструктивный коэффициент (меньше 1).

Кроме того прочность кладки зависит и от толщины растворных швов. Повышение толщины шва улучшает заполнение раствором неровностей камня, что положительно сказывается на прочности кладки.

Однако повышения толщины шва приводит к увеличению растягивающих усилий, возникающих под влиянием поперечных деформаций раствора, который значительно больше поперечных деформаций камня. С учетом этого толщину вертикальных швов принимают не более 10 мм, горизонтальных – не более 12 мм.

Каменные и армокаменные конструкции

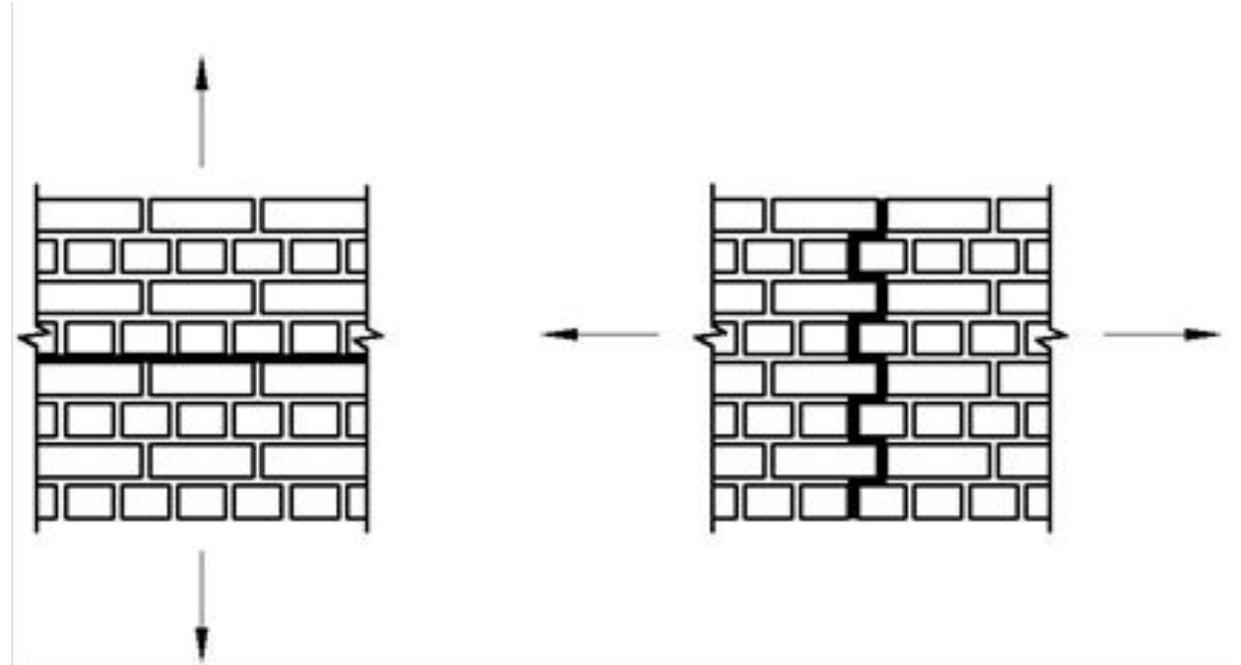
Зависимость прочности кирпичной кладки от прочности кирпича и раствора



Каменные и армокаменные конструкции

Работа кладки на растяжение.

Разрушение растянутой кладки может произойти по неперевязанному (а) и перевязанному сечению (б) сечению. При неперевязанном сечении кладка разрушается в основном по плоскости соприкосновения камня и раствора в горизонтальных швах.



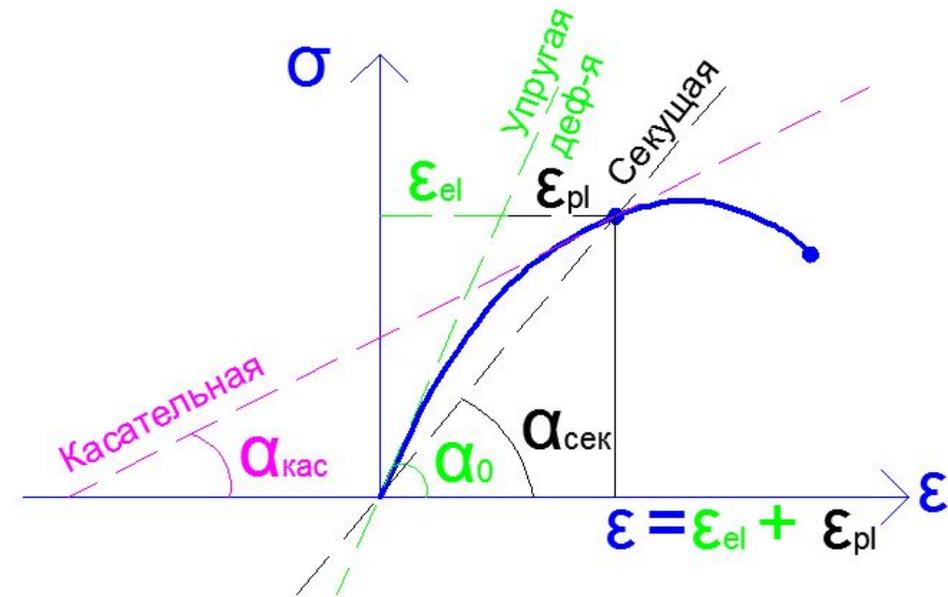
При растяжении по перевязанному сечению кладка разрушается либо по раствору, либо по камням и раствору (если предел прочности раствора при растяжении окажется меньше сцепления между камнем и раствором, то кладка разрушится по раствору).

Центральное растяжение кладки по перевязанному сечению встречаются в круглых резервуарах, силосах и других сооружениях а по неперевязанному сечению – во внецентренно сжатых стенах и столбах.

Каменные и армокаменные конструкции

Деформативность каменной кладки

Каменная кладка является упругопластическим материалом. При действии нагрузки в ней проявляются как упругие, так и неупругие деформации. Неупругие деформации проявляются при длительном действии нагрузки.



При относительно небольших напряжениях (до $0,2R_u$) кладка работает упруго. Её деформативность характеризуется модулем упругости. $E_0 = \alpha_0 \cdot R_u$,

α – упругая характеристика кладки, зависящая от вида камня, кладки и марки материалов.

При более высоких напряжениях модуль деформации E , характеризующий упругопластические свойства кладки, составляет: $E = \tan \alpha_{кас} = E_0 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{1.1 \cdot R_u}\right)$;

Для практических расчетов принимают значение среднего (секущего) модуля

деформаций: $E = \tan \alpha_{кас} = \frac{\sigma}{\epsilon}$

Каменные и армокаменные конструкции

Расчет центрально сжатых элементов

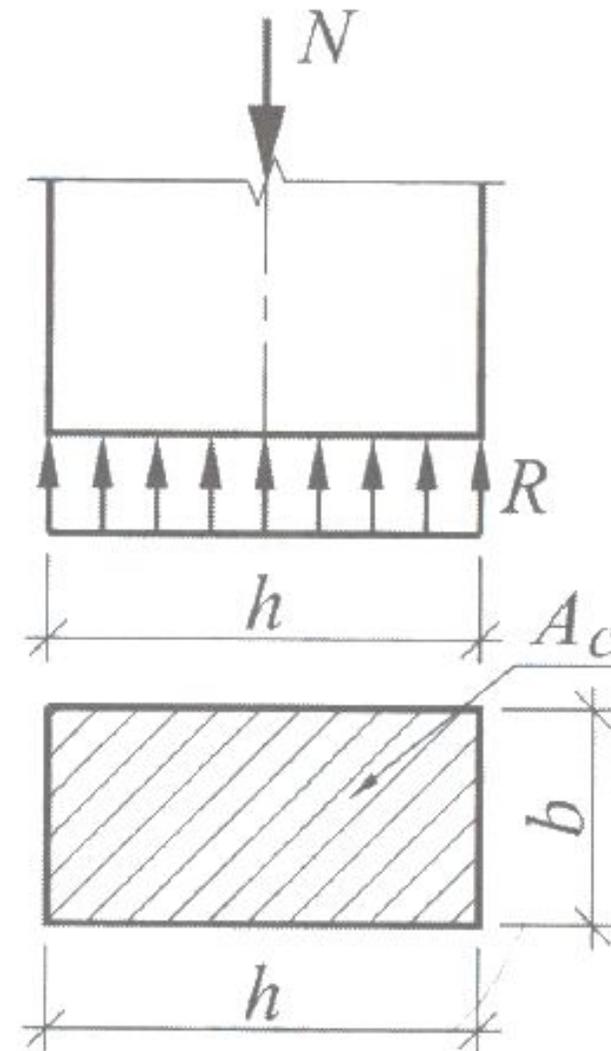
При расчете центрально сжатых конструкций принимается, что напряжения по сечению кладки распределяются равномерно. Эюра сжимающих напряжений принимается прямоугольной с ординатой, равной расчетному сопротивлению кладки при сжатии R .

Несущая способность сечения будет обеспечена при выполнении условия: $N \leq m_g \cdot \varphi \cdot R \cdot A_c$;

N – расчетная продольная сила;

φ – коэффициент продольного изгиба, изменяется в пределах 0.04...1, определяется по таблице Норм в зависимости от гибкости λ и упругой характеристики α ;

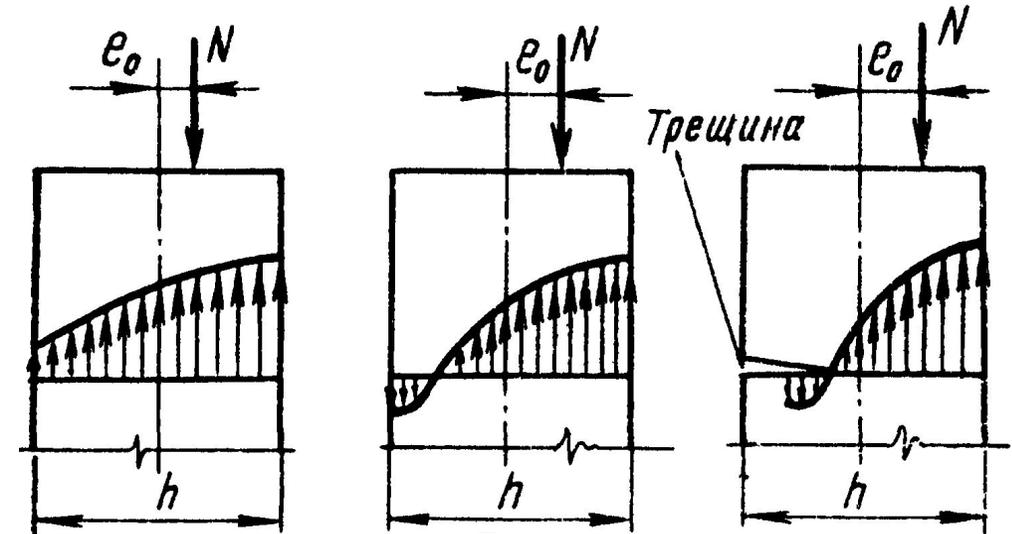
m_g – коэффициент, учитывающий влияние прогиба сжатых элементов, и проявления деформаций ползучести на снижение несущей способности.



Каменные и армокаменные конструкции

Расчет внецентренно сжатых элементов.

Характер НДС конструкции при внецентренном сжатии в основном зависит от величины эксцентриситета e_0 приложения продольной силы. При больших эксцентриситетах наряду со сжимающими напряжениями в части сечения развиваются растягивающие напряжения, которые могут привести к образованию трещин в горизонтальных швах кладки.



Ввиду сложности напряженного состояния внецентренно сжатых элементов при расчете прочности исходят из следующих допущений:

- Эпюра напряжений в сжатой части сечения принимается прямоугольной;
- Растянутая зона, если она имеется, из работы исключается;
- Неравномерность распределения напряжений по сечению элемента учитывается коэффициентом ω .

Каменные и армокаменные конструкции

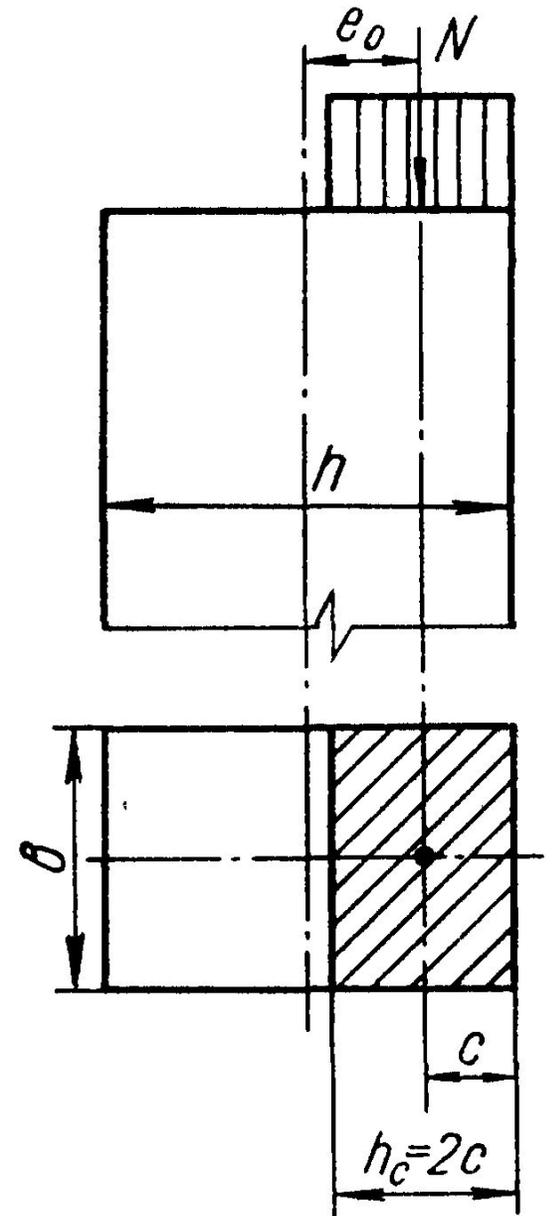
$$N \leq m_g \cdot \varphi_l \cdot R \cdot A_c \cdot \omega$$

φ_l – коэффициент продольного изгиба элемента;

A_c – площадь сжатой части сечения при прямоугольной эпюре напряжений;

ω – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений по сечению.

Элементы, работающие на внецентренное сжатие, должны быть дополнительно проверены на центральное сжатие в плоскости, перпендикулярной к плоскости действия изгибающего момента в случае, если ширина их поперечного сечения (b) меньше высоты сечения (h).



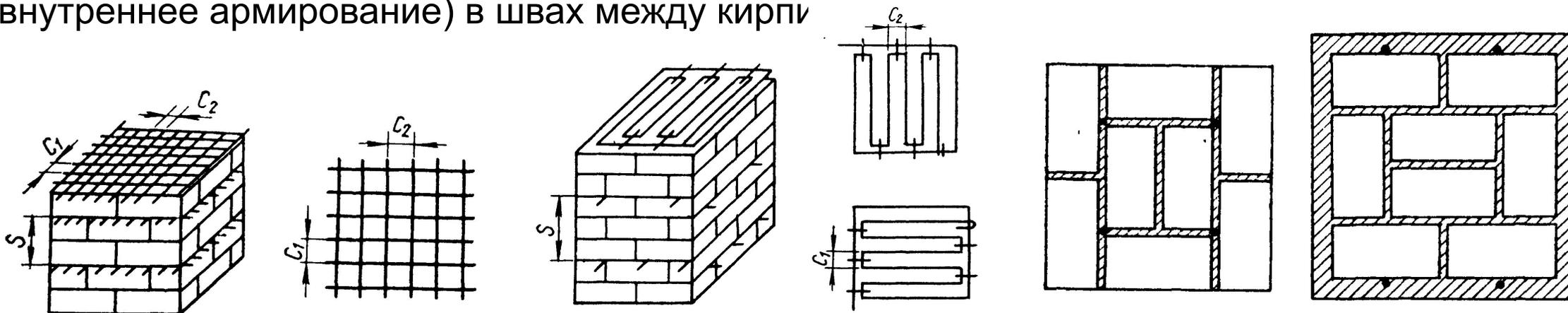
Армокаменные конструкции

Несущая способность каменной кладки может быть повышена введением в рабочее сечение более прочных материалов для совместной работы их с кладкой.

Наиболее распространенным способом усиления кладки является ее армирование, которое бывает двух видов:

сетчатое (поперечное) из стальных сеток, укладываемых в горизонтальные швы (сетки бывают прямоугольными и типа "зигзаг");

продольное – из продольных арматурных стержней с хомутами, устанавливаемых снаружи кладки (продольное внешнее армирование) или внутри (продольное внутреннее армирование) в швах между кирпичи



Армокаменные конструкции

Поперечное армирование применяют, как правило, для повышения несущей способности кладки на сжатие.

Продольное армирование устраивают для увеличения несущей способности кладки на растяжение при изгибе и внецентренном сжатии.

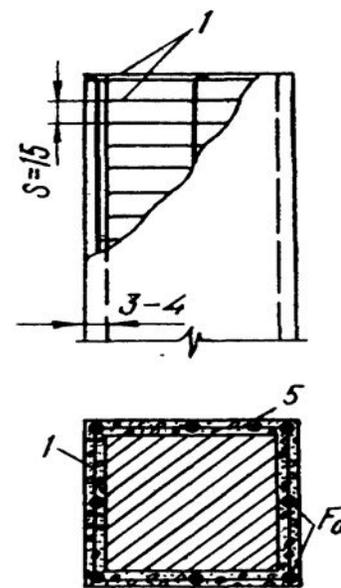
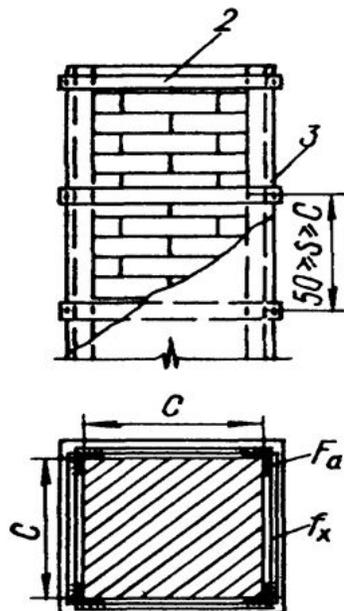
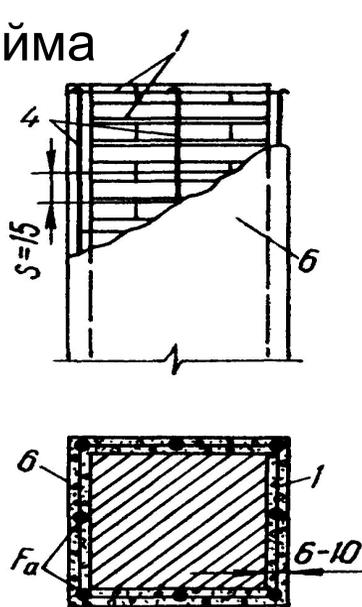
Кроме армирования, кладка может быть усилена железобетоном в виде так называемых комплексных конструкций, и стальными или железобетонными обоймами.

Железобетонная

Стальная обойма

Армированная штукатурка

обойма



Армокаменные конструкции

Элементы с поперечным (сетчатым) армированием.

Поперечное (сетчатое) армирование с расположением арматуры в горизонтальных швах кладки препятствует развитию в ней поперечных деформаций, воспринимает растягивающее усилие и тем самым разгружает соответствующие компоненты кладки, повышая ее прочность в 2-2.5 раза.

Сетчатое армирование не допускается применять для стен помещений с влажным или мокрым режимами.

Применяется только при отношениях $\lambda_h = \frac{l_0}{h} \leq 15$, а также при эксцентриситетах, не выходящих за пределы ядра сечения. При больших значениях гибкости и эксцентриситетов сетчатое армирование прочности кладки не повышает.



Армокаменные конструкции

Элементы с поперечным (сетчатым) армированием.

Сетки типа "зигзаг" укладываются в 2х смежных рядах кладки так, чтобы направление стержней в них было взаимно перпендикулярным. Такая пара по несущей способности считается равноценной одной прямоугольной.

Минимальное значение сетчатого армирования принимается 0.1%. Максимальный процент армирования не рекомендуется принимать более 1%.

Сетки типа "зигзаг" более эффективны по сравнению с прямоугольными, особенно в кладке ранних возрастов и в свежесвыложенной кладке.

Это имеет практическое значение при необходимости повышения прочности зимней кладки в момент оттаивания.



Армокаменные конструкции

Расчет центрально сжатых элементов.

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

R_{sk} – расчетное сопротивление при центральном сжатии армированной кладки;

При определении R_{sk} требуется определение процента армирования по объему: $\mu = \frac{V_s \cdot 100}{V_{\text{кладки}}}$

Предельное значение процента армирования кладки сетчатой арматурой при центральном сжатии не должно превышать значения, полученного по формуле: $\mu_{max} = 50 \cdot \frac{R}{R_s} \geq 0.1\%$.

Расчет внецентренно сжатых элементов.

Расчет внецентренно сжатых элементов при малых эксцентриситетах, не выходящих за пределы ядра сечения, производится по формуле: $N \leq m_g \cdot \varphi_l \cdot R_{skb} \cdot A_c \cdot \omega$

R_{skb} – расчетное сопротивление армированной кладки при внецентренном сжатии.

Предельное значение процента сетчатого армирования при внецентренном сжатии не должно

превышать значения, определенного по формуле: $\mu = \frac{50 \cdot R}{(1 - \frac{2 \cdot e_0}{\gamma}) \cdot R_s} \geq 0.1\%$

Конструктивные схемы каменных зданий

Продольные и поперечные стены каменных зданий вместе с перекрытиями и покрытиями образуют пространственную систему, работающую на восприятие всех нагрузок, действующих на здание.

Пространственная жесткость каменных зданий зависит от жесткости всех элементов, составляющих эти здания:

- стен;
- столбов;
- перекрытий;
- покрытий.

Жесткость элементов, образующих здание, зависит от:

- размеров поперечных сечений;
- пролетов и высот;
- условий сопряжения отдельных элементов между собой.

Конструктивные схемы каменных зданий

Прочность и устойчивость стен и столбов проверяется расчетом.

Отношение высоты стены или столба к толщине независимо от результатов расчета не должно превышать величин, вычисляемых по п. 9.17 – 9.20 СП 15.13330.2012 "Каменные и армокаменные конструкции".

Это отношение характеризуется коэффициентом

$$\beta = H/h$$

где H – высота этажа,

h – толщина стены или меньшая сторона прямоугольного сечения столба).

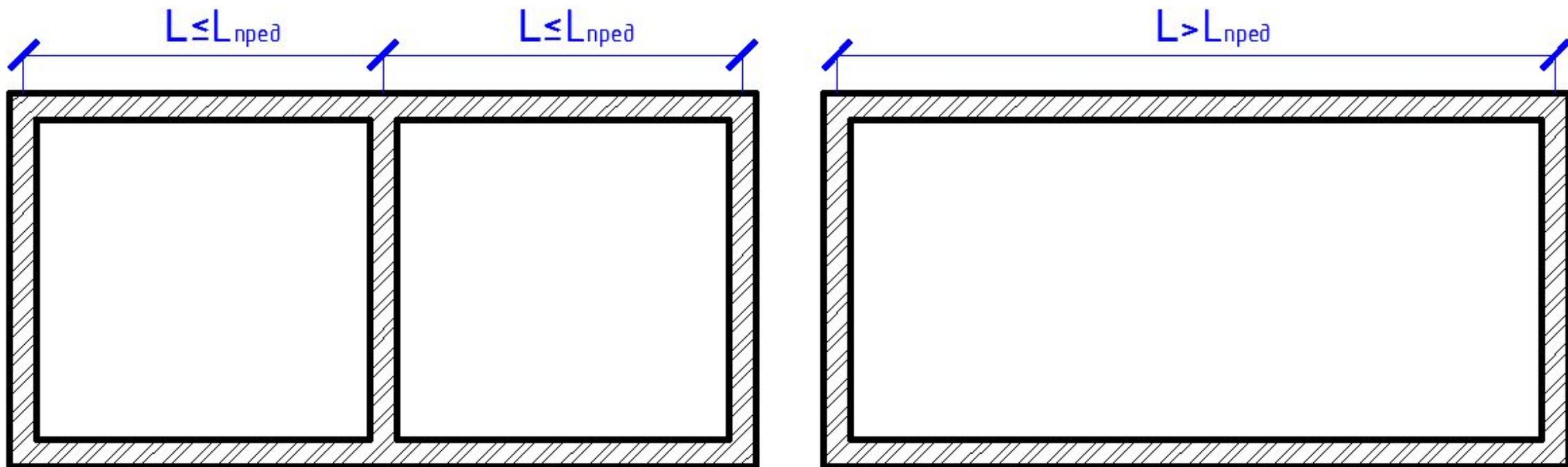
Коэффициент β не должен превышать величин, приведенных в таблице 29 (для кладки из каменных материалов правильной формы) СП и зависит от группы кладки (устанавливается в зависимости от вида кладки и марки раствора, конструктивного назначения стены(несущая, ненесущая), способа ее опирания, наличия и величин проемов и т.д.)

Конструктивные схемы каменных зданий

По степени пространственной жесткости здания с несущими стенами подразделяются

на две конструктивные схемы:

- здания с жесткой пространственной конструктивной схемой;
- здания с упругой пространственной конструктивной схемой.



Отнесение здания к одной из конструктивных схем зависит от расстояния между поперечными устойчивыми конструкциями, жесткости покрытия и перекрытий и группы кладки стен

Конструктивные схемы каменных зданий

К зданиям с жесткой конструктивной схемой относят многоэтажные промышленные и гражданские здания с часто расположенными поперечными стенами.

В этих зданиях ветровые и другие горизонтальные нагрузки, воспринимаемые продольными стенами, передаются от них на перекрытия, а от них на поперечные стены, обладающие большой жесткостью в поперечном направлении. А усилия от поперечных стен передаются через фундаменты на основание.

Чтобы обеспечить такую последовательную передачу горизонтальных усилий, необходима высокая жесткость междуэтажных перекрытий и поперечных стен.

К зданиям с упругой конструктивной схемой относятся в основном одноэтажные промышленные здания, у которых при отсутствии жестких горизонтальных связей, поперечные устойчивые конструкции располагаются на расстояниях превышающих $L_{пред}$.

В этих зданиях устойчивость обеспечивается поперечной устойчивостью самих продольных стен и столбов за счет их собственного веса и заделки в основание, а также за счет жесткости покрытия.

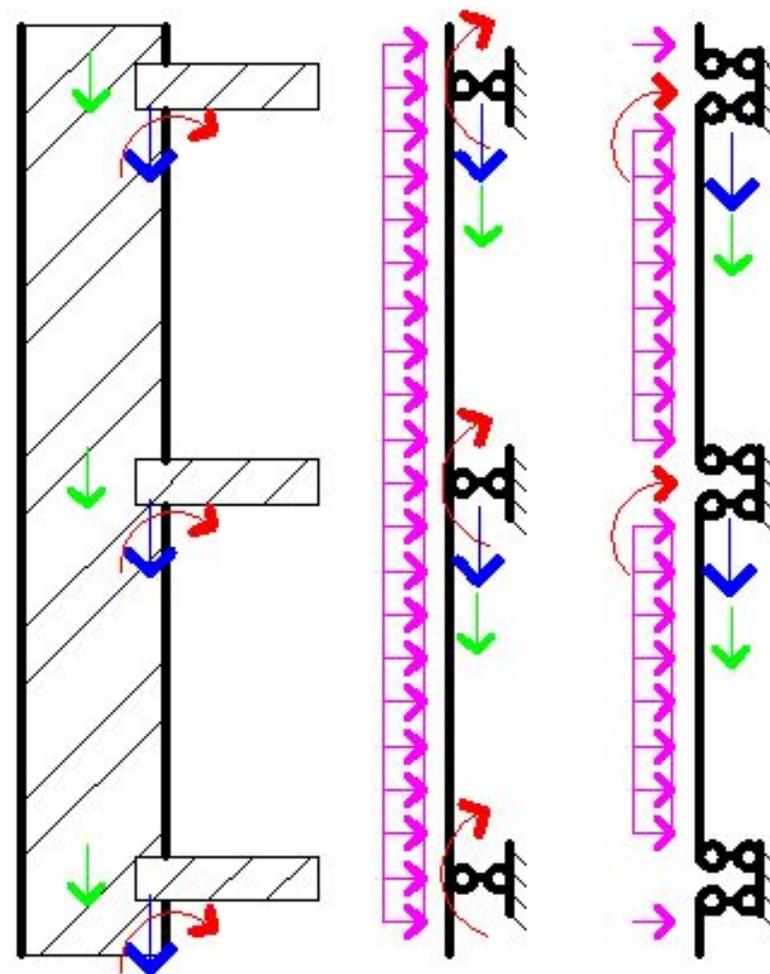
Расчет несущих стен каменных зданий

Расчет продольных стен в зданиях с жесткой конструктивной схемой

В многоэтажных зданиях с жесткой конструктивной схемой стены и столбы рассматриваются как вертикальные неразрезные многопролетные балки, опертые на неподвижные опоры – перекрытия.

С целью упрощения расчета допускается рассматривать стену или столб расчлененными по высоте на однопролетные балки с расположением опорных шарниров в уровне низа плит или балок перекрытия.

Нагрузка, действующая на стену или столб каждого этажа, состоит из нагрузки от вышележащих этажей и нагрузки от перекрытия, опирающегося на стену или столб рассматриваемого этажа.



Расчет несущих стен каменных зданий

Расчет поперечных стен в зданиях с жесткой конструктивной схемой

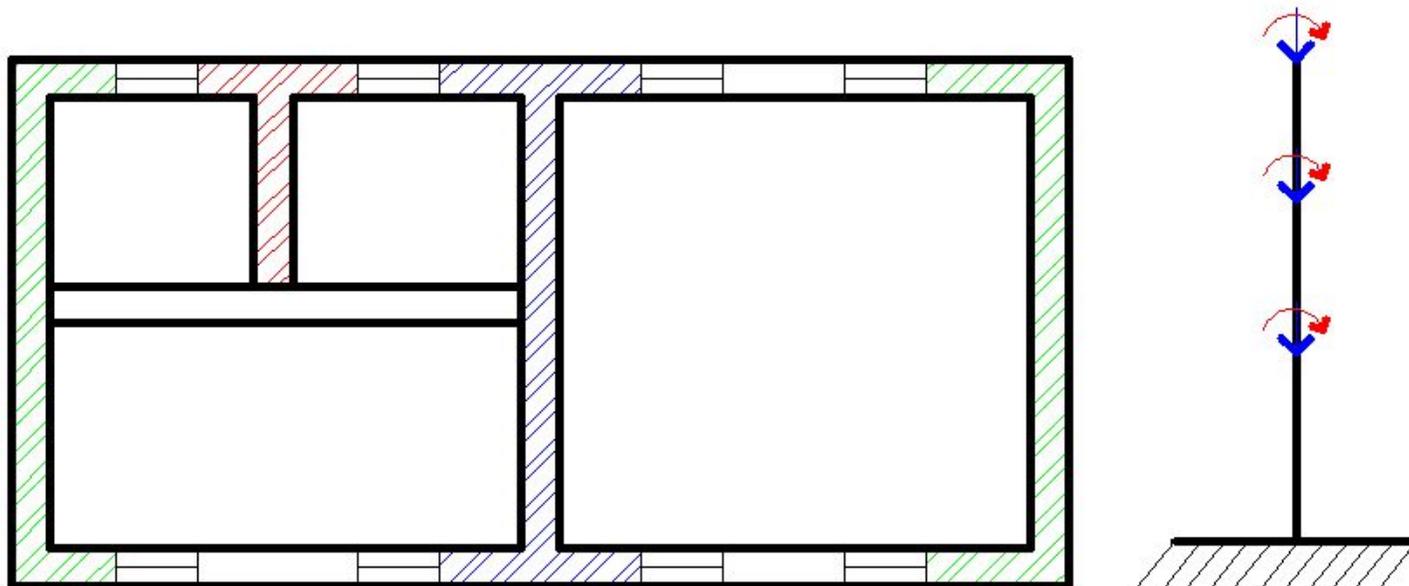
Здания с жесткой конструктивной схемой воспринимают полную ветровую нагрузку своими поперечными стенами и участками продольных стен. Эти поперечные стены рассчитываются как консоли, заделанные в фундамент.

Поперечные сечения таких консолей могут иметь форму двутавра, тавра, швеллера.

На рассчитываемую консоль действуют следующие виды нагрузок:

- вертикальная (от собственного веса, перекрытия, покрытия);
- горизонтальная (от ветра);

Таким образом, консоль следует рассчитывать как сжатый-изогнутый элемент, на который действует продольная сжимающая сила N и изгибающий момент M .



Расчет несущих стен каменных зданий

Расчет несущих стен в зданиях с гибкой конструктивной схемой

Элементы здания с упругой конструктивной схемой рассматривают как конструкции рамной системы, выделяя один ряд поперечных конструкций.

Стойками рам являются каменные стены и столбы, жестко заделанные в фундаменты в уровне пола, а ригелями – покрытия и перекрытия, принимаемые абсолютно жесткими в своей плоскости и шарнирно связанными со стойками.

Каждая поперечная рама, состоящая из вертикальных и горизонтальных элементов, расположенных на одной оси, рассчитывается независимо от других рам.

