

ИСА | 08.03.01 | ПГС | 6-й семестр

Железобетонные и каменные конструкции

Практическое занятие №13



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; PekinDA@mgsu.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.

Практическое занятие №13 – краткий обзор:

- Общие сведения
- Расчетные характеристики материалов
- Стадии НДС каменной кладки при сжатии
- Расчет конструкций по первой группе предельных состояний:
 - Центральное сжатые каменные элементы
 - Внецентренно сжатые каменные элементы
 - Изгибаемые каменные элементы
 - Расчет элементов, растяжение, срез и местное сжатие
- Армокаменные конструкции
 - Расчет армокаменных элементов с сетчатым армированием
 - Пример расчета каменного столба

История развития каменных материалов

Полное отсутствие или ограниченное количество подходящей для строительства древесины на отдельных территориях (Месопотамия, Египет, Персия, Китай, Греция, Рим, ...) способствовало развитию каменных материалов и конструкций:

- Глинобитное строительство с использованием смеси глины и соломы
- Сырцовый кирпич – смесь речного ила, гальки и рубленой соломы, набивали в деревянные формы и сушили несколько дней
- Природные камни – известняк вместо сырцового кирпича впервые для строительства применили в Древнем Египте в III тыс. до н. э.
- Кладка на известковом и пуццолановом (измельченная порода вулканического происхождения) растворах в IV-III веках до н. э.
- Римский бетон – смесь раствора гашеной извести, песка и щебня изобретен во II веке до н. э. для возведения монолитных конструкций

История развития каменной кладки

- В древнем Греции и Риме формование сырцового кирпича выполнялось осенью или весной для обеспечения более равномерного высыхания в течение двух и более лет, также в те времена уже начали использовать обожженный кирпич для строительства зданий и сооружений
- Растворы приготавливались из одной части известкового теста и трех частей горного песка
- Для облицовки зданий использовали известняк, туф, керамические плиты, штукатурку (приготовленную из извести с речным песком в пропорции 1:2)
- К XV веку технология производства глиняного кирпича была отлажена: заготовка глины до 1 ноября, замес до 1 февраля, «формирование» к 1 марта, перемешивание до состояния клейкой массы, формование в деревянной опалубке, сушка и последующий обжиг

Классификация каменных материалов

По происхождению:

- Природные
- Искусственные

По материалу:

- Природные камни тяжелых пород (гранит, песчаник, известняк)
- Природные камни легких пород (известняк-ракушечник, туф)
- Искусственные камни (кирпич глиняный, силикатный, пустотелый, бетонные и керамические камни)

По морозостойкости в зависимости от **марки** (количество циклов):

- **F:** 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 300



Классификация каменных материалов

По геометрическим размерам:

- Кирпич высотой 65, 88 и 103 мм
- Мелкоштучные камни высотой до 200 мм
- Крупные камни высотой до 500 мм
- Крупные блоки высотой более 500 мм
- Крупные стеновые панели

По прочности в зависимости от **марки** (временное сопротивление сжатию в кгс/см²):

- Высокой прочности: М250, ..., М1000
- Средней прочности: М100, ..., М200
- Низкой прочности: М7, ..., М75
- **М:** 7, 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000

Искусственные камни

Изготавливаются на заводах и полигонах из различного сырья:

- Путем обжига при высокой температуре (до 1000 °С):
 - Глиняный кирпич (глина, вода)
 - Керамические блоки (глина, вода, опилки)
- На основе вяжущих с твердением на воздухе или с термообработкой
 - Силикатный кирпич (известь, вода, кварцевый песок)
 - Газобетонные блоки (цемент, вода, известь, гипс, песок, алюм. пудра)
 - Пенобетонные блоки (цемент, вода, песок, пенообразующие добавки)
 - Шлакоблоки (цемент, вода и различные наполнители: шлак, песок, ...)
 - Керамзитобетонные блоки (цемент, вода, песок, керамзит)
 - Бетонные камни и блоки (цемент, вода, песок, щебень)

Классификация растворов для кладки

По виду вяжущего:

- Цементные
- Известковые
- Гипсовые
- Глиняные
- Смешанные (цементно-известковые, цементно-глиняные)

По объемной массе в сухом состоянии:

- Тяжелые (с объемной массой 1500 кг/м^3 и более)
- Легкие (с объемной массой менее 1500 кг/м^3)

По прочности в зависимости от **марки** (временное сопротивление сжатию в кгс/см^2):

- **М:** 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200

Свойства кладки:

- Зависят от свойств материалов, из которых она выполнена, и наличия армирования
- Разное сопротивление сжатию и растяжению камня и раствора
- Кладка – упруго-пластический материал, при уровне напряжений сжатия 20% от предела прочности начинают развиваться неупругие деформации, кроме того учитывается ползучесть
- Отличия в механических характеристиках камня и раствора при одноосном сжатии может приводить к внутренним напряжениям разных знаков (в поперечном направлении камень растянут, а раствор сжат, поскольку в большинстве растворов менее жесткий и обладает большим коэффициентом Пуассона) и сложному напряженному состоянию

Механические характеристики:

- Модуль упругости неармированной кладки E_0 при кратковременной нагрузке вычисляется по формуле:

$$E_0 = \alpha \cdot R_u,$$

где α – упругая характеристика кладки, принимаемая по табл. 16 СП 15.13330 в зависимости от вида кладки и марки раствора, от 200 до 1500

R_u – временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию кладки

- Модуль деформаций неармированной кладки при кратковременной нагрузке принимается равным от $E = 0,5E_0$ до $E = 0,8E_0$
- Коэффициент Пуассона в зависимости от материала кладки может изменяться в диапазоне от 0,1 до 0,3
- Модуль сдвига принимается равным $G = 0,4E_0$
- Коэффициент линейного расширения от 5×10^{-6} до $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ в зависимости от материала кладки

Преимущества и недостатки кладки:

Преимущества:

- Долговечность
- Высокая прочность на сжатие
- Негорючий материал
- Большое распространение природных камней и сырья для изготовления искусственных
- Низкие затраты при транспортировке материалов к месту строительства

Недостатки:

- Маленькая прочность на растяжение
- Большой собственный вес для камней средней прочности и выше
- Большие трудозатраты при возведении
- Наличие мокрых процессов, затрудняющих строительство при отрицательных температурах

Примеры каменных конструкций:

- Индивидуальный жилой дом



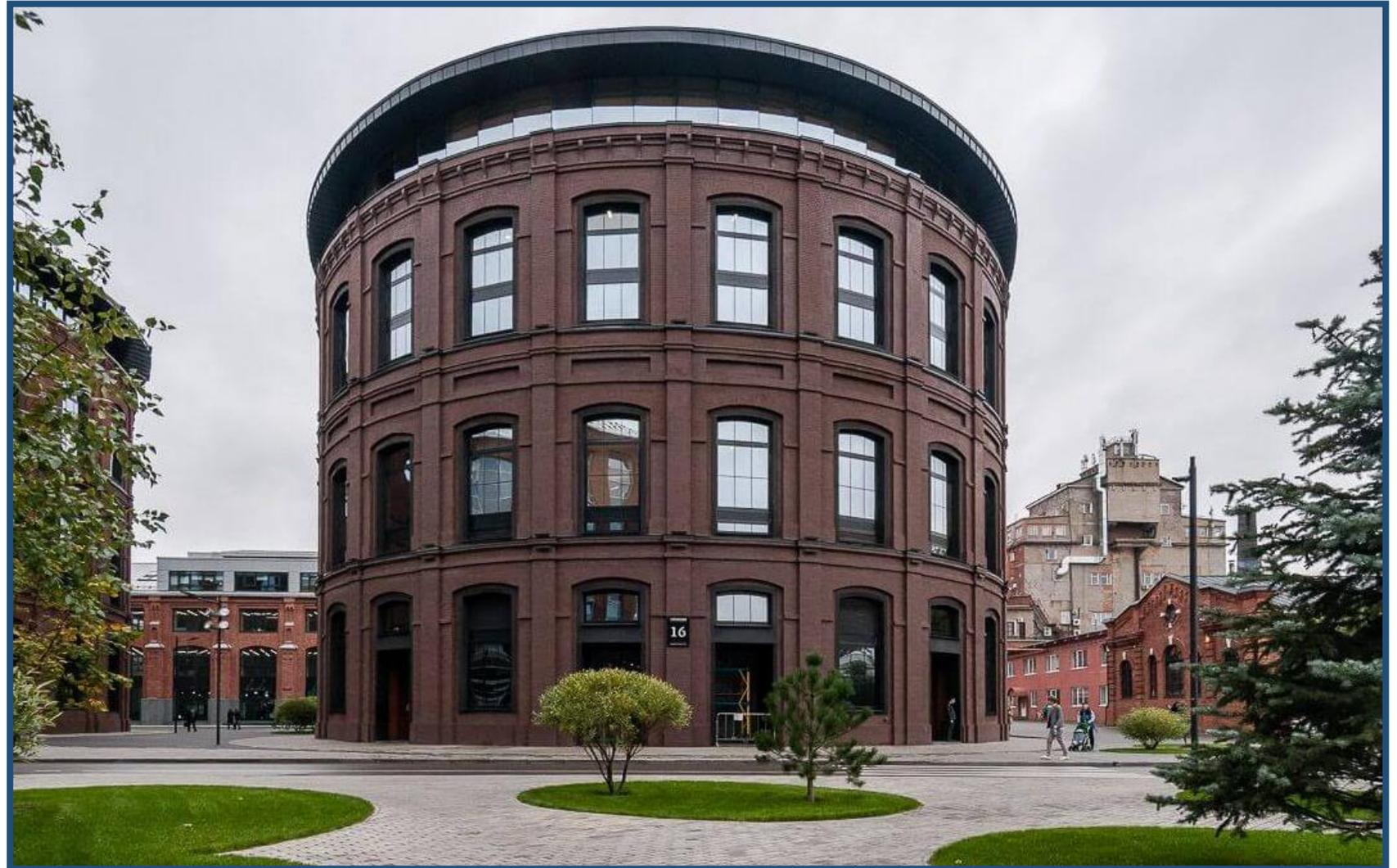
Примеры каменных конструкций:

- Индивидуальный жилой дом



Примеры каменных конструкций:

- Общественное здание



Каменные и армокаменные конструкции

Представляют собой комбинацию различного вида **камней**, строительных **растворов** и стальной **арматуры**, а также утеплителя при необходимости (в ограждающих конструкциях)

Эксплуатационные свойства каменных конструкций зависят от вида и физико-механических свойств примененных материалов

Материалы для каменных и армокаменных конструкций отличаются повышенными долговечностью, сопротивлением силовым и температурным воздействиям

Долговечность каменных материалов в значительной степени определяется их **морозостойкостью** и обозначается маркой **F**, означающей количество циклов замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии без разрушения (расслоение, растрескивание, выкрашивание)

Классификация каменных стен:

- **Несущие**, воспринимающие кроме нагрузок от собственного веса и ветра также нагрузки от покрытий, перекрытий, кранов и т. п.
- **Самонесущие**, воспринимающие нагрузку только от собственного веса стен всех вышележащих этажей зданий и ветровую нагрузку
- **Ненесущие** (в том числе навесные), воспринимающие нагрузку только от собственного веса и ветра в пределах одного этажа при высоте этажа не более 6 м, при большей высоте этажа эти стены относятся к самонесущим
- **Перегородки** – внутренние стены, воспринимающие нагрузки только от собственного веса и ветра (при открытых оконных проемах) в пределах одного этажа при высоте его не более 6 м; при большей высоте этажа стены этого типа условно относятся к самонесущим

Раствор и арматура для каменной кладки

Раствор это правильно подобранная смесь **вяжущего**, мелкого **заполнителя** и **воды** и при необходимости специальных **добавок**. Растворы предназначены для связывания между собой отдельных камней и обеспечения равномерной передачи усилий с одних камней на другие, а также уменьшения продуваемости и влагопроницаемости кладки

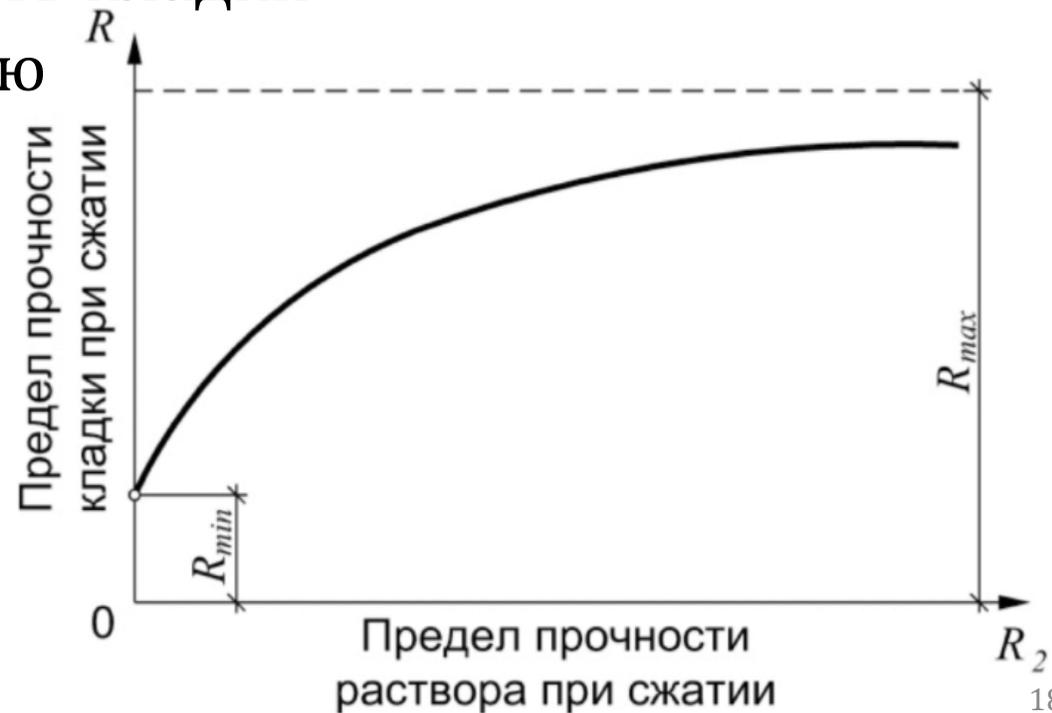
Для армирования каменной кладки применяется горячекатаная стержневая арматура классов А240, А400, А500 и холоднодеформированная классов В500, В_р500, а также листовая, полосовая и фасонная сталь

Прочность каменной кладки

Зависит от прочности **камня** и прочности **раствора**, но с повышением прочности раствора повышение прочности кладки **затухает**, см. график

Кроме того, она зависит и от толщины растворных швов. С одной стороны, повышение толщины шва **улучшает** заполнение раствором неровностей камня и **повышает** прочность кладки

С другой стороны, приводит к увеличению **растягивающих** усилий, возникающих в связи с поперечными деформациями раствора значительно превышающими деформации в камне (за счет меньшего модуля упругости раствора), и ограничениям толщины вертикальных и горизонтальных **швов** – 10 и 12 мм



Факторы, влияющие на прочность кладки

Прочность кладки зависит не только от прочности камня и раствора, но и от **размеров** и **формы** камней, **качества** выполненной кладки, способа **перевязки**, **сцепления** раствора с камнем

Уменьшение размеров поперечного сечения приводит к некоторому **увеличению предела** прочности кладки

Элементы **круглой** и **квадратной** формы поперечного сечения более прочны, чем **тавровые** и другие сложные формы

Осевое сжатие кладки

Прочность кладки при сжатии всегда меньше, чем прочность камня из которого она изготовлена, поэтому предельная прочность кладки на сжатие R_u рассматривается как осредненная величина, учитывающая прочность камня, вида раствора и кладки и называется **средним пределом прочности кладки**

Исходной характеристикой при определении расчетных сопротивлений кладки является ее средний, наиболее вероятный (ожидаемый) предел прочности R_u при заданных физико-механических свойствах камня и раствора и при качестве кладки, достигаемой в массовом строительстве. Ожидаемые пределы R_u устанавливаются по средним значениям на основе результатов статистической обработки испытаний большого количества

Расчетное сопротивление кладки

Осевому **сжатию** R , используемое при проектировании, характеризует **минимальную** несущую способность **конструкции** и определяется **отношением** среднего (ожидаемого) предела прочности кладки R_u и коэффициента **безопасности** k :

$$R = \frac{R_u}{k}$$

Значения расчетных сопротивлений кладки **сжатию** в зависимости от **вида** и **марки** камня для различных **силовых** воздействий приводится в таблицах 6.1-6.10 СП 15.13330.2020

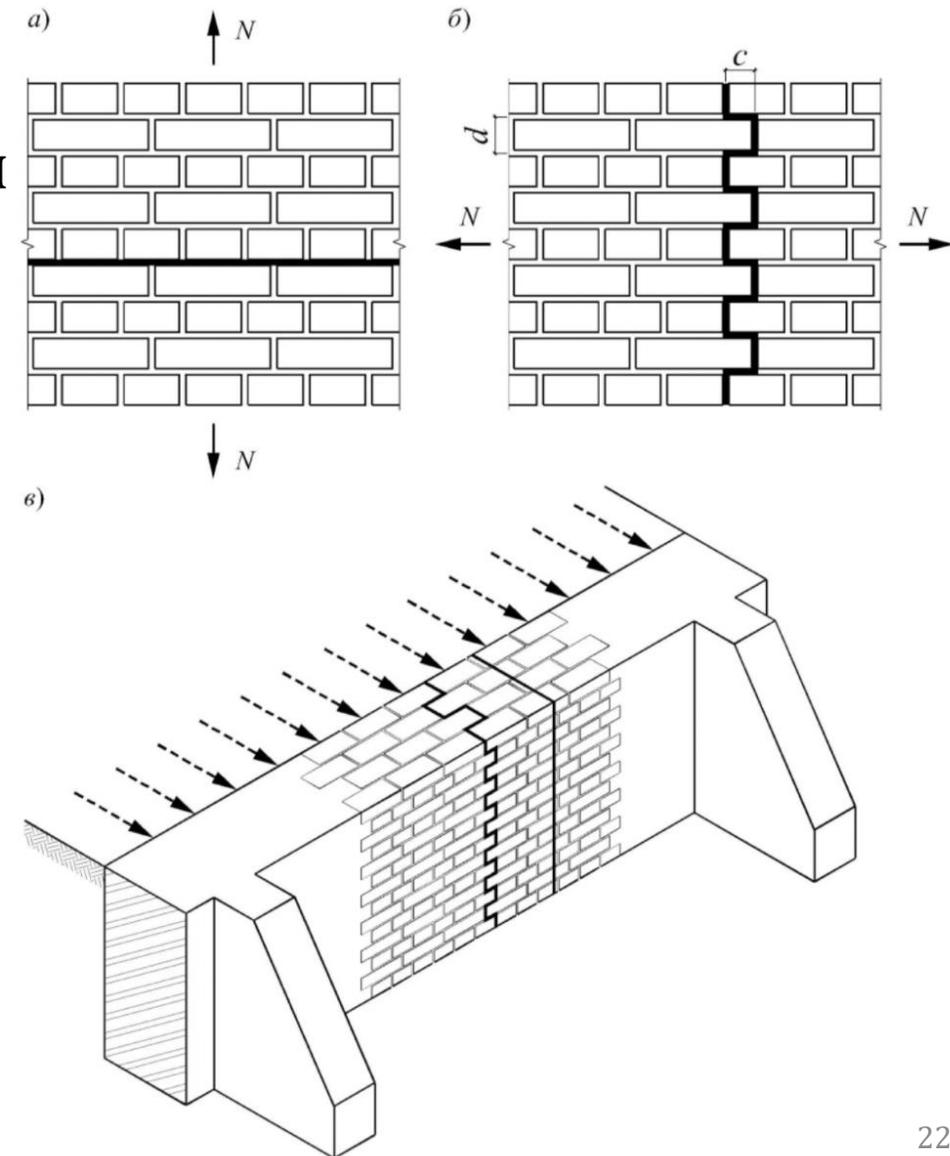
Осевое растяжение

Разрушение кладки может происходить по перевязанному и неперевязанному сечениям

По **неперевязанному** сечению разрушение происходит на контакте камня и раствора в горизонтальных швах – рис. **а**). Может реализовываться в стенах, столбах

По **перевязанному** сечению разрушение может происходить по кирпичу и раствору в горизонтальных и вертикальных швах – **б**). Реализуется в резервуарах, силосах и т. п.

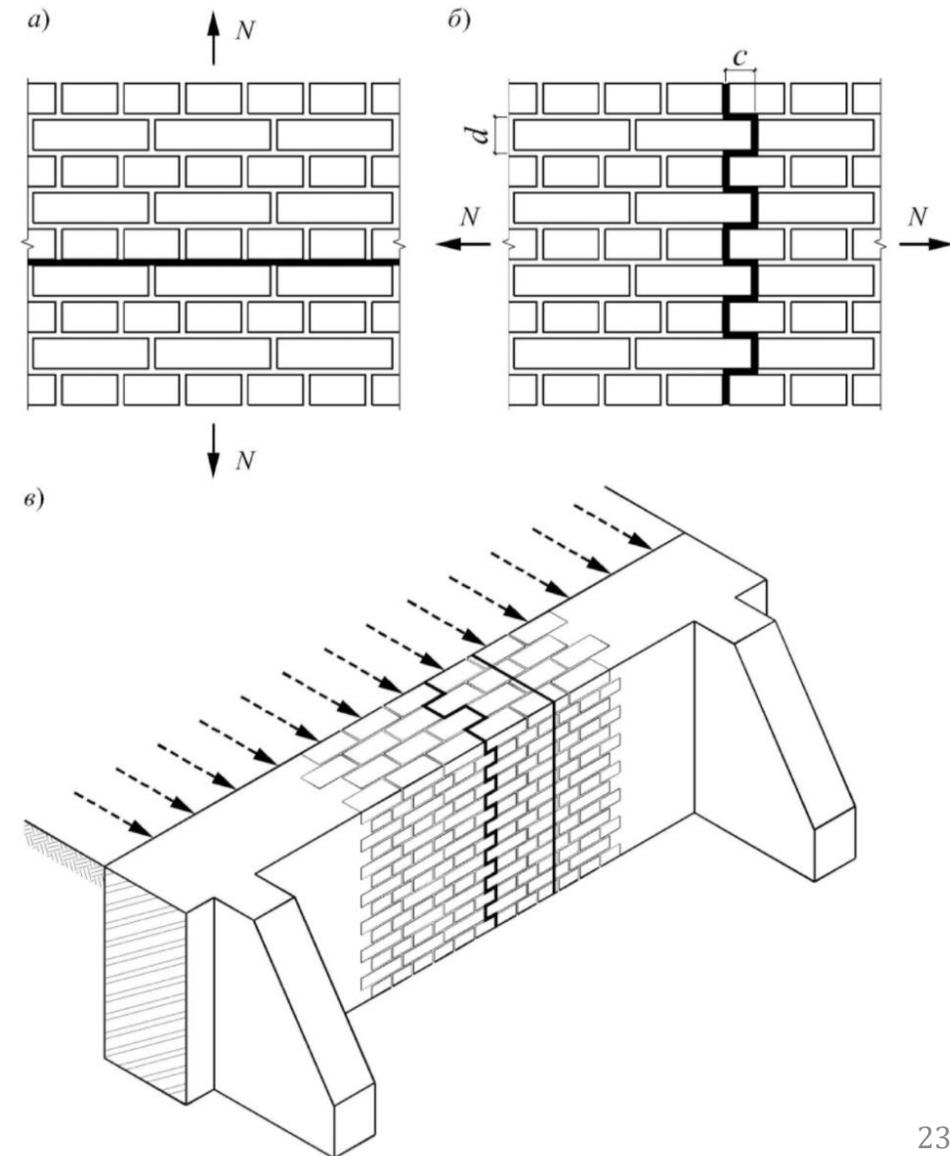
Разрушение кладки при изгибе по **перевязанному** сечению – рис. **в**)



Осевое растяжение, изгиб и срез

В некоторых конструкциях кладка подвергается срезу, который может происходить по **перевязанному** или **неперевязанному** сечениям

Значения расчетных сопротивлений кладки **осевому** растяжению R_t , растяжению при **изгибе** R_{tb} , **срезу** R_{sq} и **главным** растягивающим напряжениям R_{tw} в зависимости от **вида** и **марки** камня для различных **силовых** воздействий приводятся в таблицах 6.11-6.13 СП 15.13330.2020



Деформативность каменной кладки

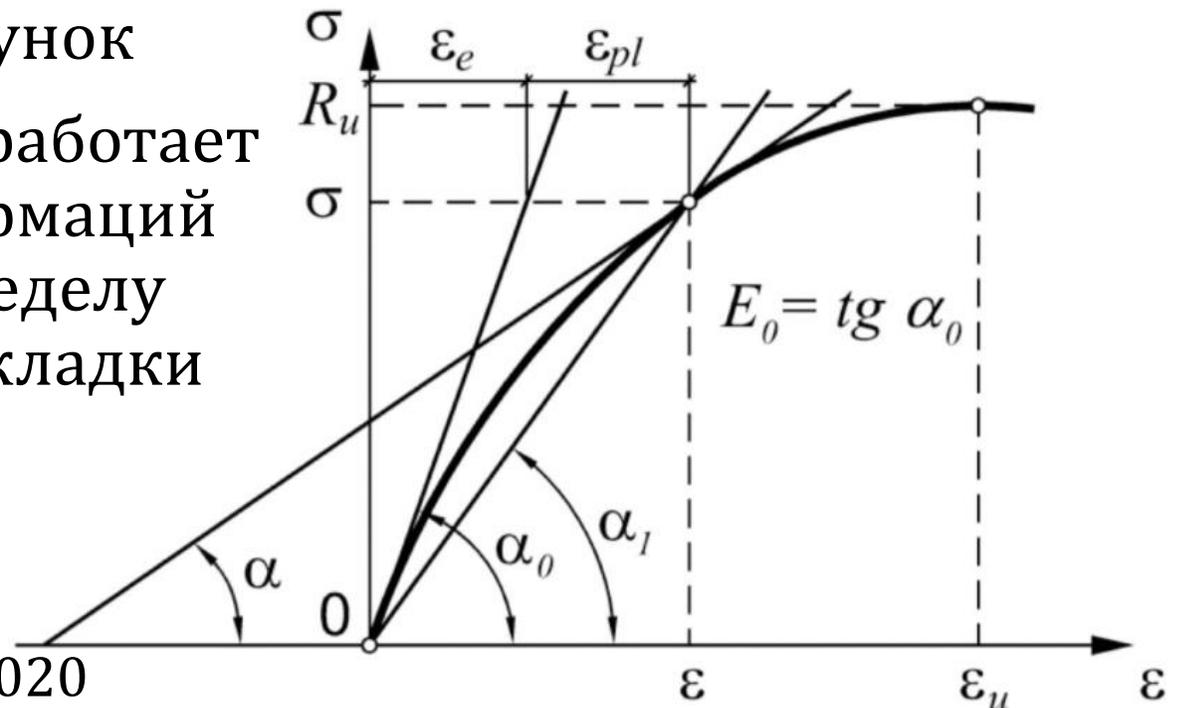
Каменная кладка является упругопластическим материалом, в котором при действии нагрузки появляются как **упругие**, так и **неупругие** деформации, появляющиеся при **длительном** действии нагрузки

Зависимость между напряжениями и деформациями носит **криволинейный** характер, см. рисунок

При напряжениях до $0,2R_u$ кладка работает упруго с начальным модулем деформаций E_0 , который пропорционален ее пределу прочности и для неармированной кладки определяется по формуле:

$$E_0 = \alpha \cdot R_u$$

где α – упругая характеристика кладки, определяемая по табл. 6.16 СП 15.13330.2020



Зависимость σ - ε для каменной кладки

При выполнении **нелинейных** расчетов и действии **кратковременной** нагрузки определяется по формуле:

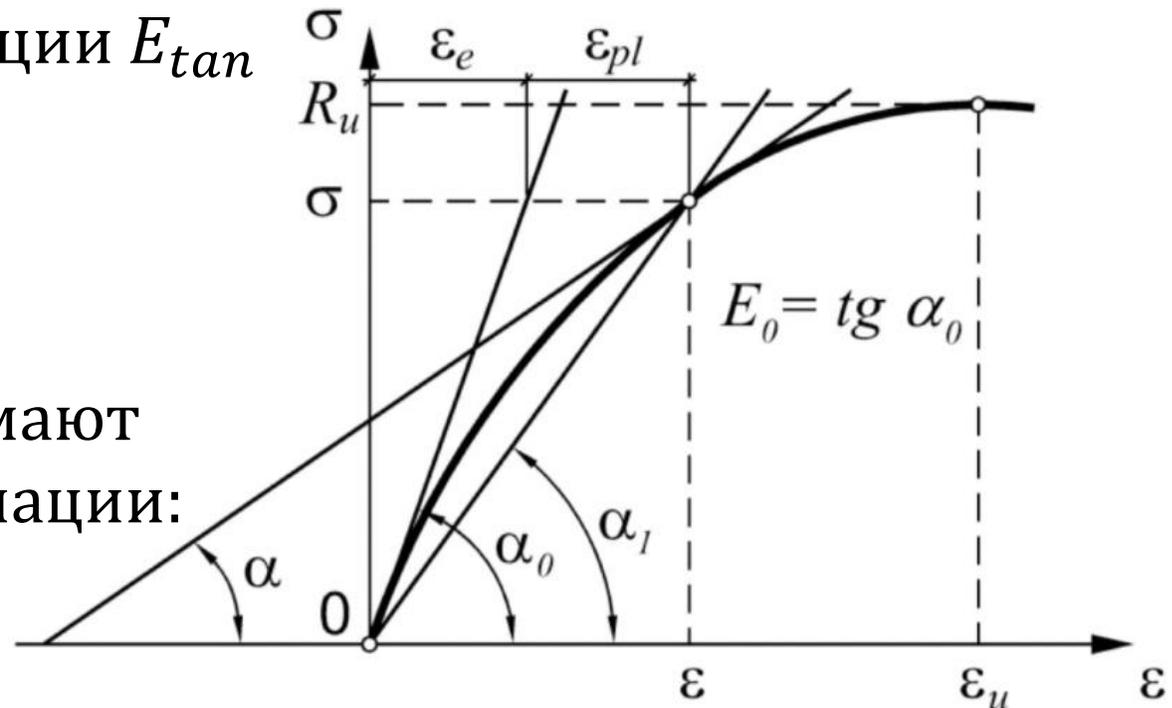
$$\varepsilon = -\frac{1,1}{\alpha} \cdot \ln \left(1 - \frac{\sigma}{1,1R_u} \right)$$

Тангенциальный модуль деформации E_{tan} на основе этой зависимости:

$$E_{tan} = E_0 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{1,1R_u} \right)$$

Для практических расчетов принимают средний (**секущий**) модуль деформации:

$$E = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$



Стадии НДС каменной кладки при сжатии:

- I – до образования трещин: $N < N_{crc}$
- II – образование трещин: $N = N_{crc}$
- III – после образования трещин до разрушения: $N_{crc} < N < N_u$
- IV – начало разрушения: $N = N_u$

где N – сжимающее усилие от действующих нагрузок

N_{crc} – усилие в сечении при образовании трещин

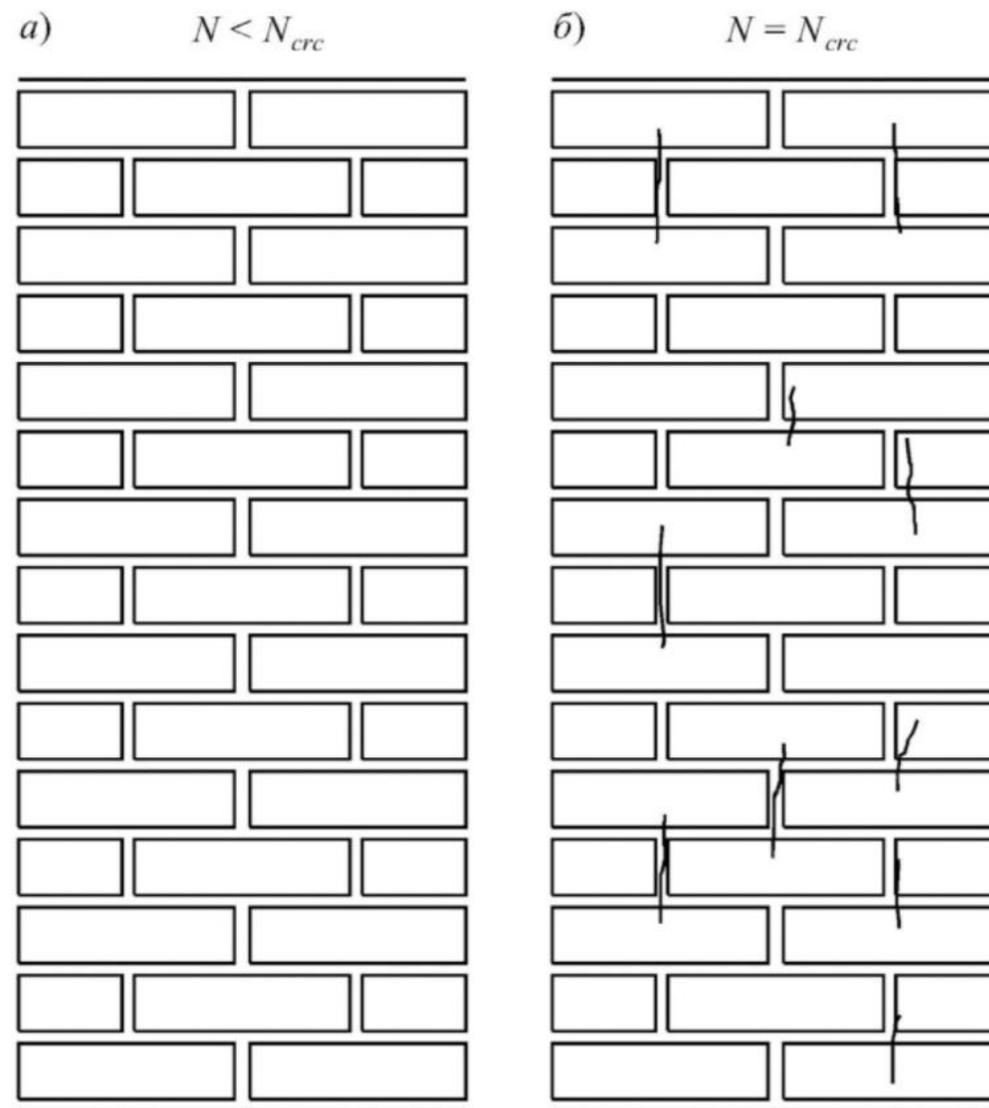
N_u – несущая способность сечения

Кладка находится в условиях **сложного** напряженного состояния, в том числе в связи с неоднородностью раствора, наличии пустот, разной толщины швов и других факторов, поэтому ее **качество** и соблюдение рациональной **толщины** швов 10-12 мм имеют решающее значение в обеспечении прочности кладки

Стадии НДС каменной кладки при сжатии:

На I стадии НДС действующие усилия не вызывают в кладке видимых повреждений – рис. а)

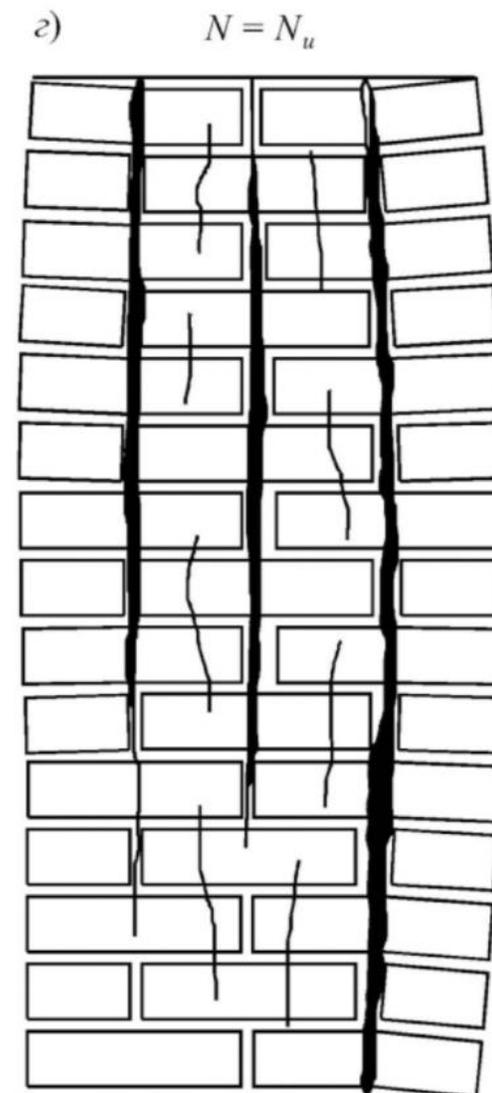
Переход на II стадию НДС при напряжениях 60-80% от предельных характеризуется образованием в кладке отдельных вертикальных трещин с незначительной шириной раскрытия и распространяющихся на один-три ряда кладки – рис. б)



Стадии НДС каменной кладки при сжатии:

При дальнейшем увеличении нагрузки до 90% от предельной возникает **III** стадия НДС. Отдельные вертикальные трещины развиваются по высоте и соединяются между собой, расчленяя элемент на отдельные столбики – рис. **в)**

При длительном действии такого уровня напряжений в кладке за счет ползучести происходит дальнейшее развитие трещин, разделение элемента на отдельные призмы и разрушение – рис. **г)**



Расчет кладки по предельным состояниям (ПС)

I группы для предотвращения:

- Потери несущей способности
- Потери устойчивости формы конструкции и ее положения

II группы для недопущения:

- Чрезмерных деформаций конструкций
- Образование и недопустимое раскрытие трещин в кладке

Расчет каменных и армокаменных конструкций по ПС выполняется для этапа строительства здания или сооружения и для этапа эксплуатации (для учета набора прочности раствора)

Центрально сжатые каменные элементы

Несущая способность сечения обеспечена при выполнении условия:

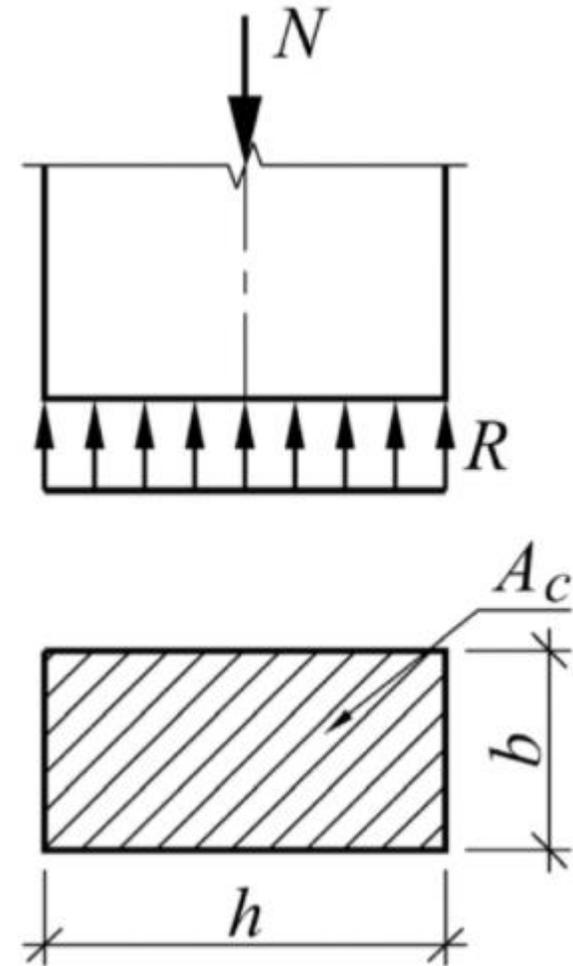
$$N \leq m_g \cdot \varphi \cdot R \cdot A$$

где N – расчетная продольная сила

$\varphi \leq 1$ – коэффициент продольного изгиба, определяемый согласно п. 7.2 СП 15.13330.2020 в зависимости от гибкости λ и упругой характеристики кладки α

$m_g \leq 1$ – коэффициент, учитывающий влияние прогиба сжатых элементов и проявления деформаций ползучести

$A = b \cdot h$ – площадь прямоугольного поперечного сечения элемента



Внецентренное сжатие кладки

Является наиболее распространенным видом НДС каменных конструкций, характерным для стен, простенков, столбов и т. д.

Характер НДС зависит от величины эксцентриситета e_0 приложения продольной силы. При больших его значениях в кладке могут образовываться трещины в горизонтальных швах, в связи с чем, максимальные значения ограничены:

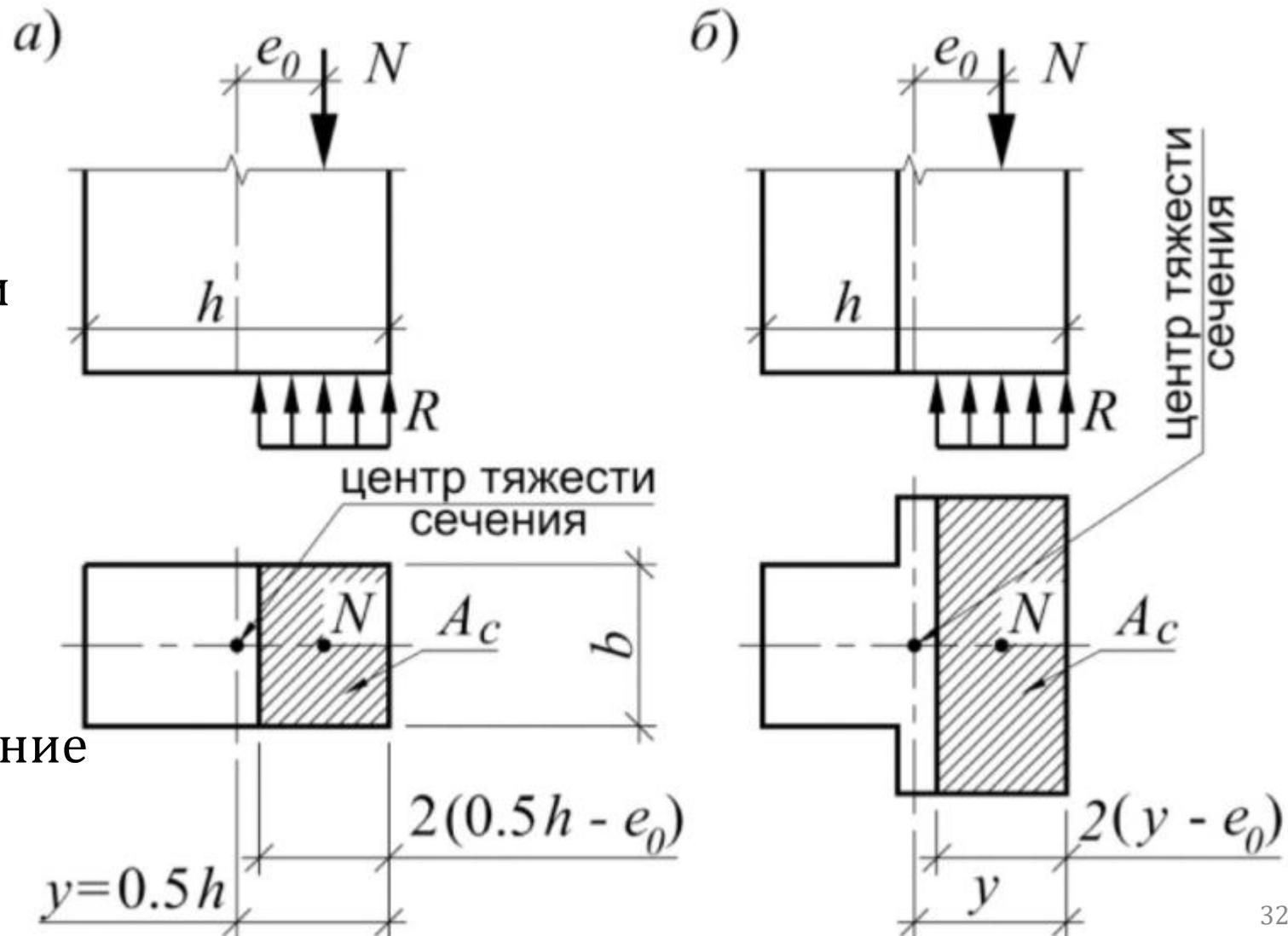
- $e_0 \leq 0,8y$ и $e_0 \leq 0,85y$ – при $h \leq 25$ см для основного и особого сочетания нагрузок соответственно
- $e_0 \leq 0,9y$ и $e_0 \leq 0,95y$ – при $h > 25$ см для основного и особого сочетания нагрузок соответственно

где y – расстояние до нейтральной оси (до центра тяжести сечения)

Внецентренно сжатые каменные элементы

Схемы для расчета на внецентренное сжатие каменных элементов **прямоугольного** – рис. а) и **таврового** – рис. б) сечений и принимаемые допущения:

- Прямоугольная эпюра нормальных напряжений
- Работа растянутой зоны не учитывается
- Неравномерное распределение напряжений учитывается коэффициентом ω



Внецентренно сжатые каменные элементы

Несущая способность сечения обеспечена при выполнении условия:

$$N \leq m_g \cdot \varphi_1 \cdot R \cdot A_c \cdot \omega$$

где N – расчетная продольная сила

$\varphi_1 = (\varphi + \varphi_c)/2 \leq 1$ – коэффициент продольного изгиба, равный среднему арифметическому коэффициентов продольного изгиба для **всего сечения** φ и **сжатой** его части φ_c

$m_g \leq 1$ – коэффициент, учитывающий влияние прогиба сжатых элементов и проявления деформаций ползучести

$A_c = A \left(1 - \frac{2e_0}{h}\right)$ – площадь сжатой части сечения

ω – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение напряжений по сечению



Изгибаемые каменные элементы

Несущая способность кладки при изгибе определяется по формуле:

$$M \leq R_{tb} \cdot W$$

где M – расчетный изгибающий момент

R_{tb} – расчетное сопротивление кладки растяжению при изгибе по перевязанному сечению (табл. 6.11-6.13 СП 15.13330.2020)

W – момент сопротивления сечения кладки при упругой ее работе

Несущая способность кладки по поперечной силе при изгибе определяется по формуле:

$$Q \leq R_{tw} \cdot b \cdot z$$

где Q – расчетная поперечная сила; b – ширина сечения

R_{tw} – расчетное сопротивление кладки главным растягивающим напряжениям при изгибе (табл. 6.11-6.13 СП 15.13330.2020)

z – плечо внутренней пары сил (для прямоугольного сечения $2h/3$)

Расчет каменных элементов

На центральное **растяжение** выполняется по формуле:

$$N \leq R_t \cdot A_n$$

где N – расчетная осевая продольная сила при растяжении

R_t – расчетное сопротивление кладки растяжению по перевязанному сечению (табл. 6.11-6.13 СП 15.13330.2020)

A_n – расчетная площадь сечения камня за вычетом пустот

На **срез** по горизонтальным швам выполняется по формуле:

$$Q \leq (R_{sq} + 0,8n \cdot \mu \cdot \sigma_0)A$$

где Q – расчетная поперечная сила; A – площадь; μ – коэффициент трения

R_{sq} – расчетное сопротивление кладки срезу (табл. 6.11, 6.12 СП 15.13330.2020)

$n = 1$ (или $0,5$) – коэффициент для кладки из сплошного (или пустотелого) камня

σ_0 – среднее напряжение сжатия при наименьшей расчетной нагрузке с $\gamma_f = 0,9$

Расчет на местное сжатие

Необходимо выполнять в местах опирания на кладку различных конструкций (балка, стойка)

Несущая способность обеспечена при условии:

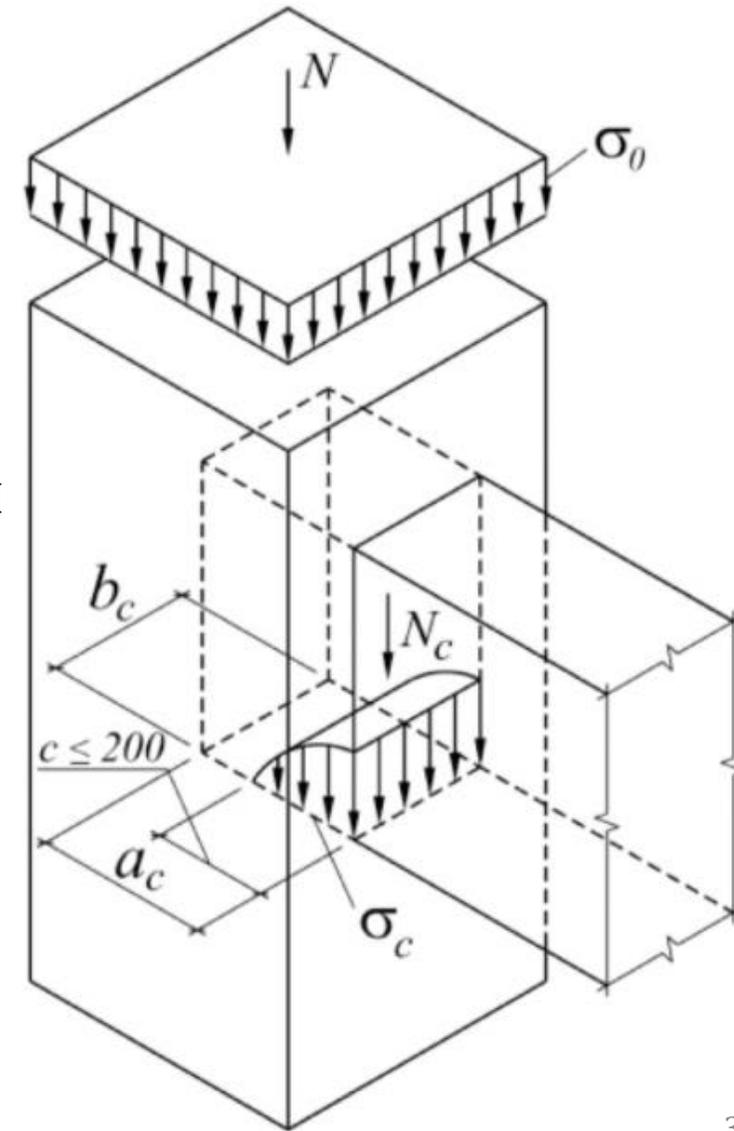
$$N_c \leq \psi \cdot d \cdot R_c \cdot A_c$$

где N_c – продольная сила от местной нагрузки

ψ – коэффициент полноты эпюры давления: 1 и 0,5 при равномерной и неравномерной эпюре давления

$d = 1,5 - 0,5\psi$ – для кирпичной и виброкирпичной кладки, а также кладки из сплошных камней или блоков, изготовленных из тяжелого и легкого бетонов

$d = 1$ – для кладки из пустотелых бетонных или сплошных камней и блоков из крупнопористого и ячеистого бетонов; крупноформатных керамических камней



Местное сжатие (смятие кладки)

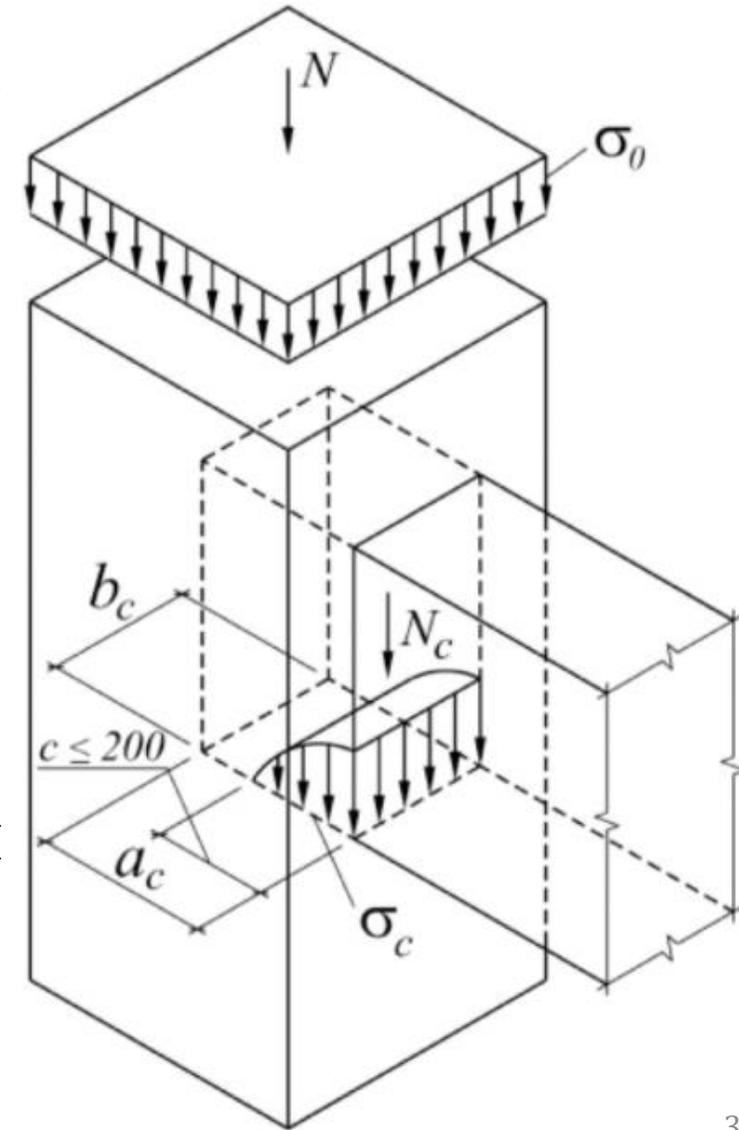
$R_c = \xi \cdot R$ – расчетное сопротивление кладки на смятие

$A_c = a_c \cdot b_c$ – площадь смятия

$\xi = \sqrt[3]{A/A_c} \leq \xi_1$ – коэффициент, учитывающий увеличение прочности кладки от 1 до 2

A – расчетная площадь сечения каменной кладки

При больших местных нагрузках, превышающих 80% несущей способности на смятие предусматриваются не менее 3 арматурных сеток с шагом не более 100 мм или железобетонные подушки толщиной не менее 22 см (в том числе при $N_c > 100$ кН)



Армирование каменных конструкций

Выполняется с целью повышения их несущей способности. Наиболее распространенными способами армирования являются:

- Поперечное (сетчатое) армирование – рис. **а)** и **б)**
- Продольное армирование

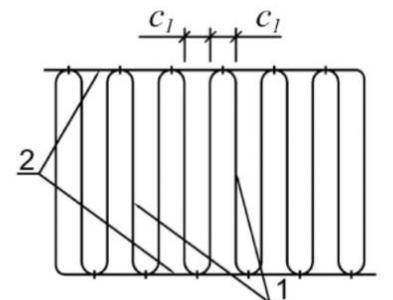
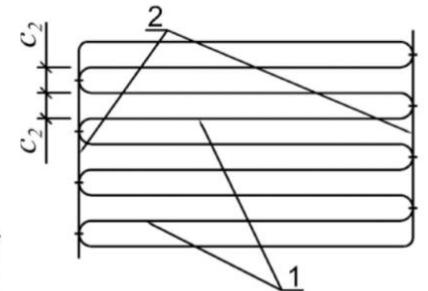
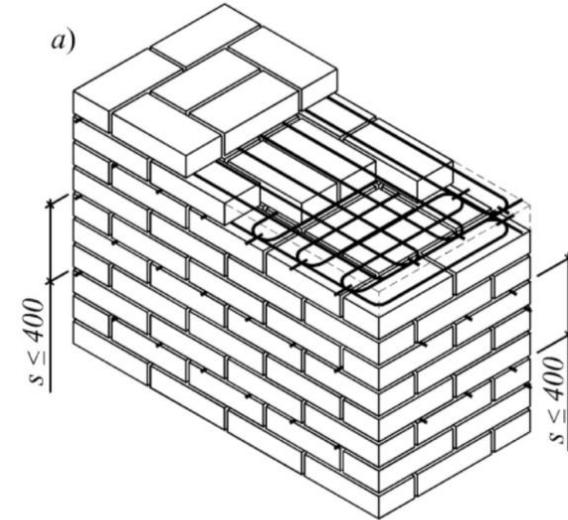
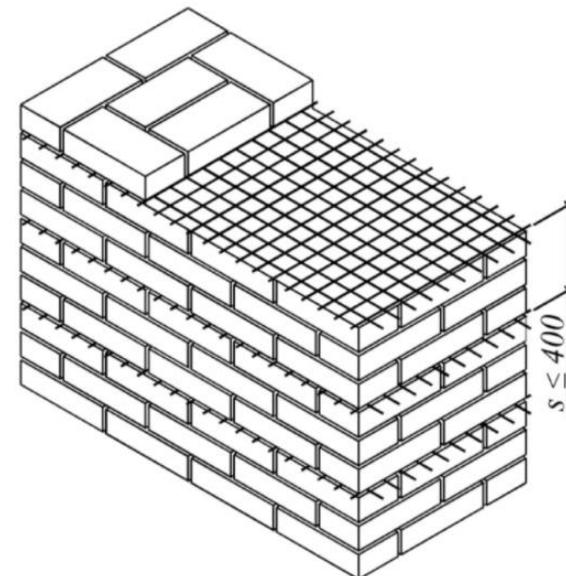
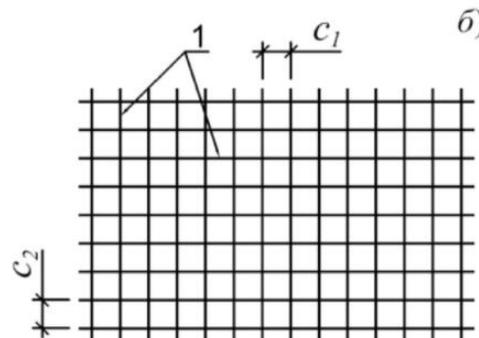
Обозначения к рисункам:

а) – сетками «зигзаг»

б) – прямоугольными сетками

1 – рабочие стержни

2 – монтажные стержни



Сетчатое армирование каменных конструкций

Выполняется путем укладки сеток в горизонтальные швы кладки и за счет их меньшей деформативности по сравнению с раствором препятствует поперечным деформациям кладки, создавая «эффект обоймы»

Эффективно для центрально сжатых столбов или при малых значениях эксцентриситетов

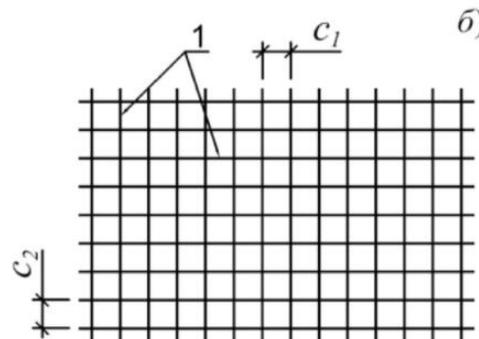
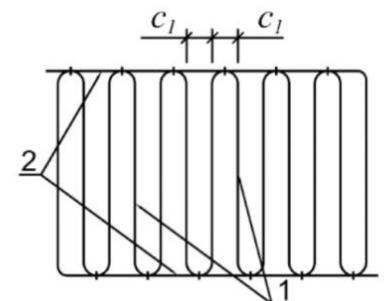
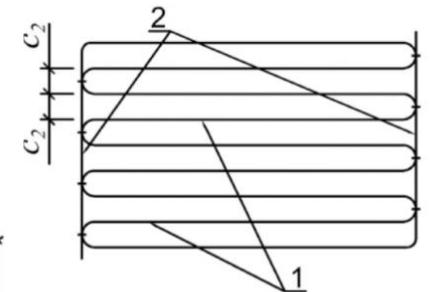
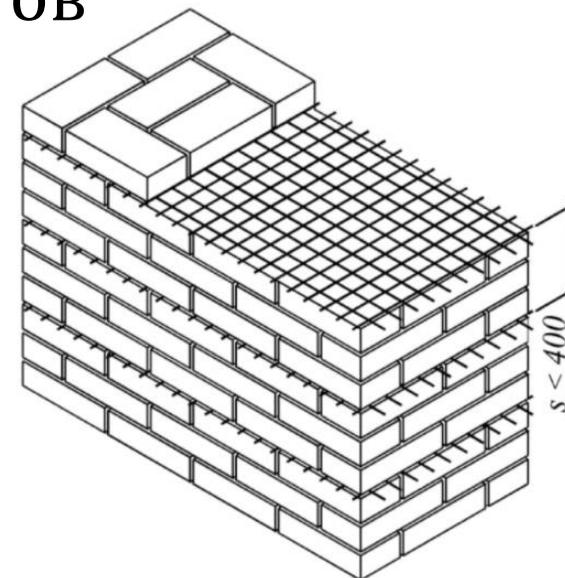
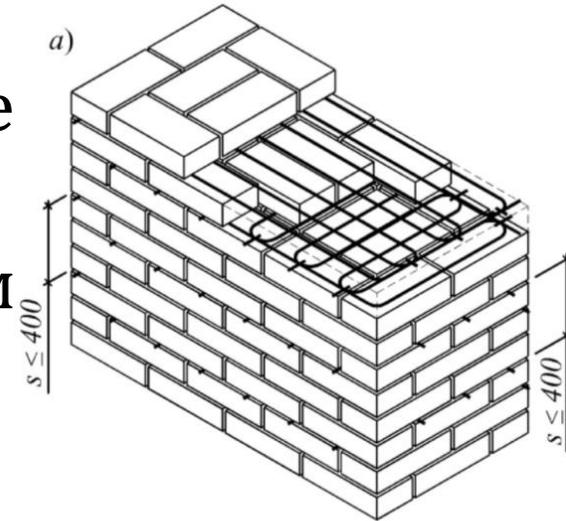
Армирование кладки:

б) – прямоугольными сетками

а) – сетками «зигзаг»

1 – рабочие стержни

2 – монтажные стержни



Продольное армирование каменных конструкций

Выполняется путем установки продольной и поперечной арматуры в вертикальные швы кладки для повышения сопротивляемости растягивающим усилиям, общей устойчивости и обеспечения монолитности кладки

Обозначения к рисункам:

а) – внутреннее расположение арматуры

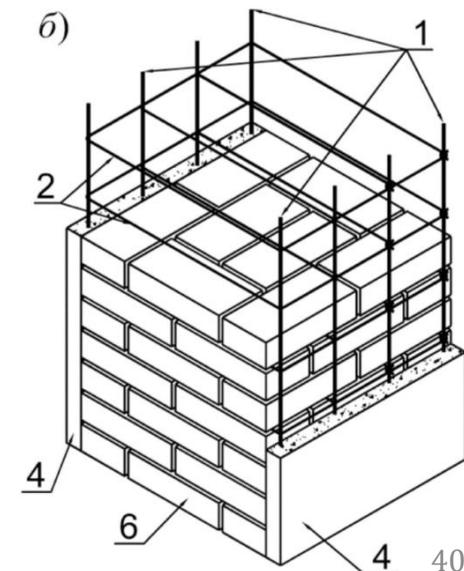
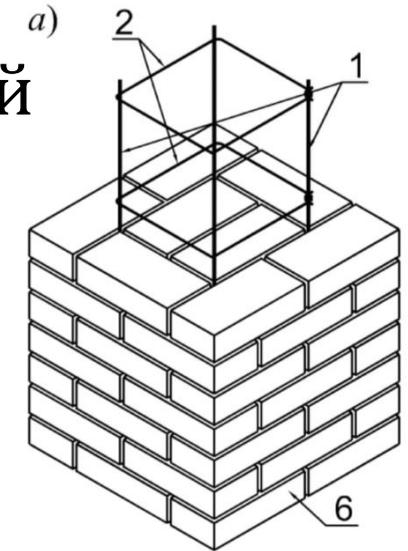
б) – наружное расположение арматуры

1 – продольные рабочие стержни

2 – поперечные стержни (хомуты)

4 – штукатурка из цементно-песчаного раствора

6 – кирпичная кладка



Продольное армирование каменных конструкций

Применяется для сильно загруженных столбов и простенков большой гибкости ($\lambda_h > 15$ или $\lambda_i > 53$), а также при внецентренном сжатии с большими эксцентриситетами – вне ядра сечения ($e_0 > 0,17h$)

Обозначения к рисункам:

в) – одиночное армирование с размещением арматуры в штрабе

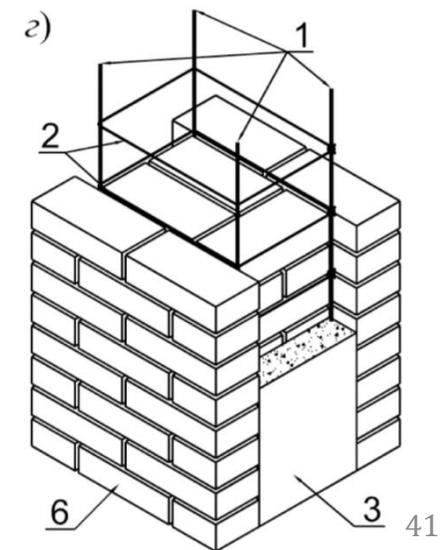
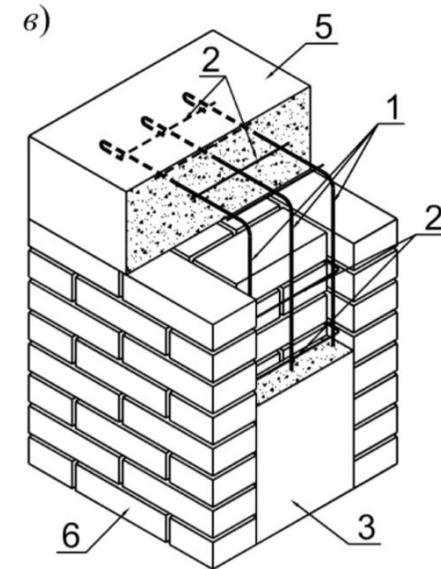
г) – двойное армирование с размещением арматуры в штрабе

1 – продольные рабочие стержни

2 – поперечные стержни (хомуты)

3 – цементно-песчаный раствор или мелкозернистый бетон

6 – кирпичная кладка



Каменные конструкции

С железобетонными элементами имеют повышенную несущую способность на сжатие, изгиб и растяжение, и позволяют заметно уменьшить размеры поперечных сечений

Обозначения к рисункам:

а) – с расположением ЖБЭ внутри кладки

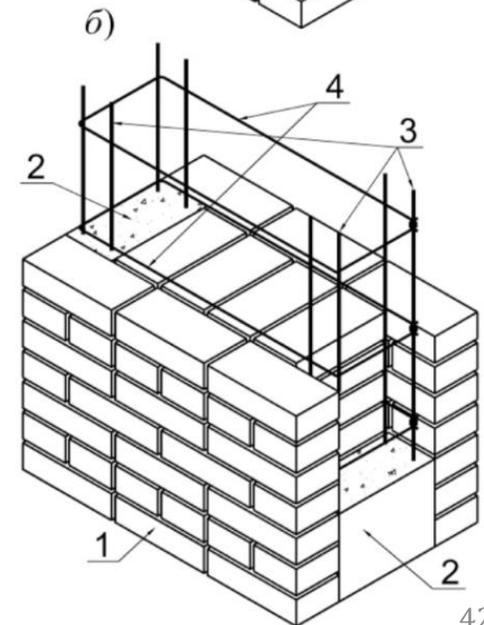
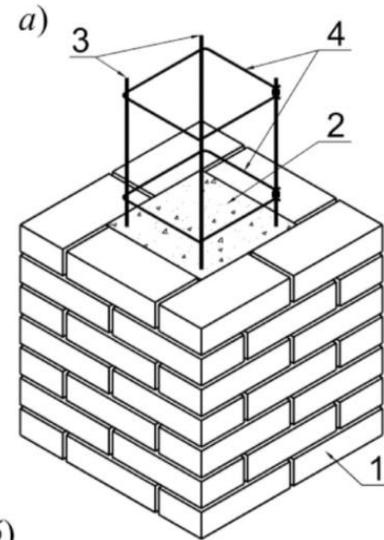
б) – с расположением ЖБЭ снаружи кладки в штрабе

1 – кирпичная кладка

2 – бетон

3 – продольные рабочие стержни

4 – поперечные стержни (хомуты)



Расчет каменных элементов (п. 7.31 СП 15)

С сетчатым армированием при внецентренном сжатии и малых эксцентриситетах (в пределах ядра сечения) выполняется для прямоугольных сечений по формуле:

$$N \leq m_g \varphi_1 R_{skb} A \left(1 - \frac{2e_0}{h} \right) \omega$$

где N и N_l – продольные силы (внутри ядра сечения) от действия непродолжительных и продолжительных (длительных) нагрузок

$m_g = 1 - \eta \frac{N_l}{N} \left(1 + \frac{1,2e_{0l}}{h} \right)$ – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузок

где η – коэффициент, принимаемый по табл. 21 СП 15.13330

$e_{0l} = M_l / N_l$ – эксцентриситет силы от действия продолжительных нагрузок

h – высота сечения

$A = bh$ – площадь прямоугольного поперечного сечения элемента

Определение коэффициента φ_1 (п. 7.7 СП 15) и e_0

$e_0 = M/N$ – эксцентриситет силы N от действия непродолжительных нагрузок

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2}$$

где φ – коэффициент продольного изгиба для всего сечения в плоскости действия изгибающего момента, определяемый по расчетной высоте элемента l_0 согласно п. 7.2, 7.3 и табл. 19 СП 15.13330

φ_c – коэффициент продольного изгиба для сжатой части сечения, определяемый по фактической высоте элемента H по табл. 19 СП 15.13330 в плоскости действия изгибающего момента при отношении:

$$\lambda_{hc} = \frac{H}{h_c} \quad \text{или гибкости} \quad - \quad \lambda_{ic} = \frac{H}{i_c}$$

где h_c и i_c – высота и радиус инерции сжатой части поперечного сечения в плоскости действия изгибающего момента

$h_c = h - 2e_0$ – высота для прямоугольного сечения

Определение коэффициента φ (п. 7.2 СП 15)

φ – коэффициент продольного изгиба в плоскости действия изгибающего момента для элементов постоянного по длине сечения следует принимать по табл. 19 СП 15.13330 в зависимости от гибкости элемента:

$$\lambda_i = \frac{l_0}{i} \quad \text{или для прямоугольного сечения} - \lambda_h = \frac{l_0}{h}$$

где h и i – высота и радиус инерции поперечного сечения в плоскости действия изгибающего момента

$l_0 = \mu H$ – расчетная длина элемента

и упругой характеристики кладки α , принимаемой по табл. 16 СП 15.13330, а для кладки с сетчатым армированием по формуле:

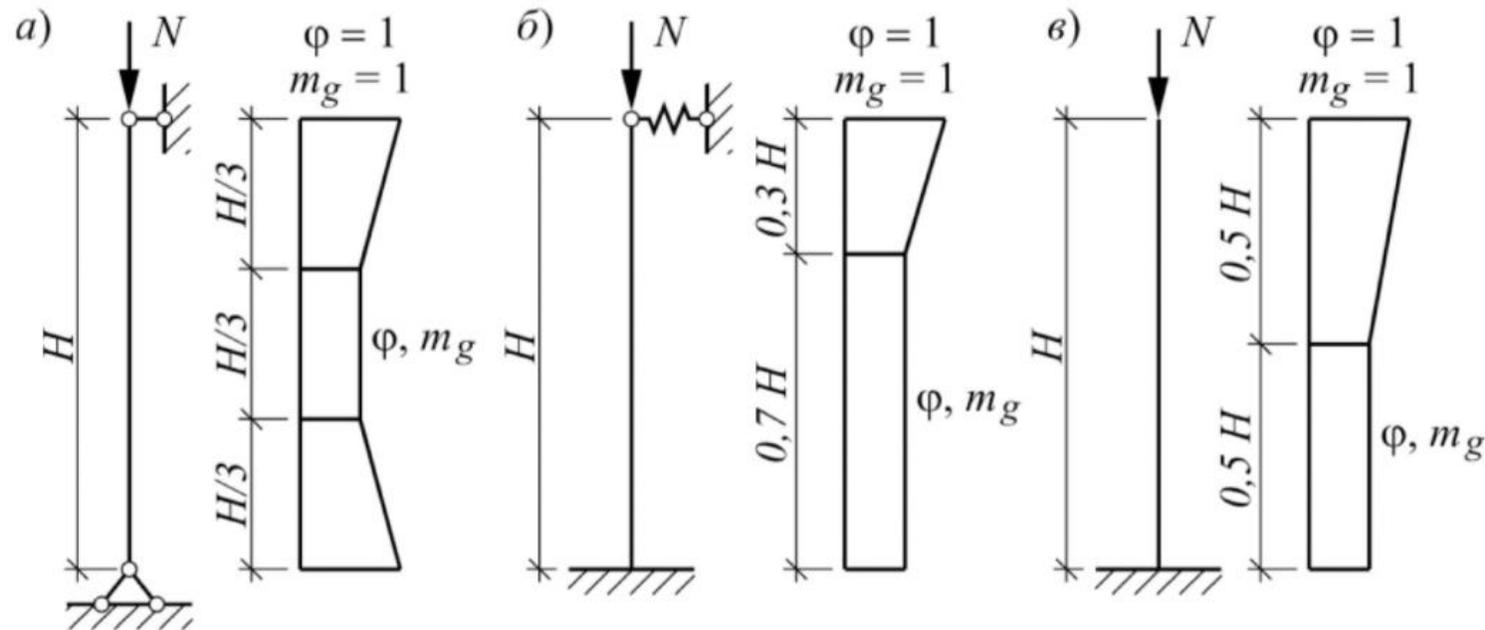
$$\alpha_{sk} = \alpha \frac{R_u}{R_{sku}}$$

где R_u и R_{sku} – временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию неармированной и армированной кладки соответственно

Коэффициенты расчетных длин μ (п. 7.3 СП 15):

- а) $\mu = 1 \rightarrow l_0 = \mu H = H$ – при неподвижных шарнирных опорах
- б) $\mu = 1,5$ (или 1,25) – при упругой верхней опоре и жестком защемлении в нижней опоре для однопролетных (или многопролетных) зданий
- в) $\mu = 2 \rightarrow l_0 = \mu H = 2H$ – для свободно стоящих конструкций
- г) $\mu \geq 0,8$ – для конструкций с частично защемленными опорными сечениями

Допускается коэффициенты φ и m_g увеличивать до 1 по линейному закону в сечениях вблизи шарнирных опор



Средние пределы прочности R_u и R_{sku} (п. 6.21 СП 15)

$R_u = kR$ – средний предел прочности неармированной кладки на сжатие
где R – расчетное сопротивление сжатию кладки, принимаемое по табл. 2-10 СП 15.13330, с учетом коэффициентов в примечаниях, а также п. 6.10-6.15
 $k = 2$ – для кладки из кирпича и камней всех видов, из крупных блоков и др.
 $k = 2,2$ – для кладки из крупных и мелких блоков из ячеистых бетонов

$R_{sku} = kR + \frac{2R_{sn}\mu}{100}$ – средний предел прочности армированной кладки на сжатие

где R_{sn} – нормативные сопротивления арматуры по СП 63.13330, с учетом коэффициента условий работы 0,6 для арматуры класса В500

$\mu = \frac{A_s}{A_k} \cdot 100$ – процент армирования кладки с арматурой в одном направлении

$\mu = \frac{2A_{st}}{CS} \cdot 100$ – процент армирования кладки для сеток с квадратными ячейками размером C из арматуры сечением A_{st} при расстоянии между сетками по высоте S

Определение коэффициента ω (табл. 20 СП 15)

$\omega = 1 + e_0/h \leq 1,45$ – для прямоугольных сечений и кладки всех видов, кроме указанной ниже

$\omega = 1$ – для любого вида сечений и кладки из:

- керамических кирпича, камней и блоков пустотностью более 25%
- камней и крупных блоков, изготовленных из ячеистых, полистиролбетонов и крупнопористых бетонов
- природных камней (включая бут)

При $e_{0x} > \rho_x$ или $e_{0y} > \rho_y$ и $\lambda_h > 15$ или $\lambda_i > 53$ армирование сетками **не применяется**

где ρ_x и ρ_y – радиусы ядра сечения

При армировании меньше 0,1% сечение рассчитывается как **неармированное**

Сопротивление армированной кладки R_{skb}

$$R_{skb} = R_1 + \frac{p\mu R_s}{100} \left(1 - \frac{2e_0}{y} \right) \leq 2R \quad \text{— при растворе М50 и выше}$$

R_1 – расчетное сопротивление сжатию неармированной кладки в рассматриваемый срок твердения раствора согласно табл. 2-10 СП 15.13330

R_s – расчетное сопротивление арматуры

p – коэффициент, принимаемый при пустотности кирпича (камня) до 20% включительно – 2, при пустотности от 20% до 30% включительно – 1,5, при пустотности выше 30% – 1

μ – процент армирования для сеток с квадратными ячейками размером C из арматуры сечением A_{st} при расстоянии между сетками по высоте S

$$0,1\% \leq \mu = \frac{2A_{st}}{CS} \cdot 100 \leq \frac{50R}{\left(1 - \frac{2e_0}{y} \right) R_s}$$

y – расстояние от центра тяжести сечения элемента в сторону эксцентриситета до сжатого его края ($y = h/2$ – для прямоугольных сечений)

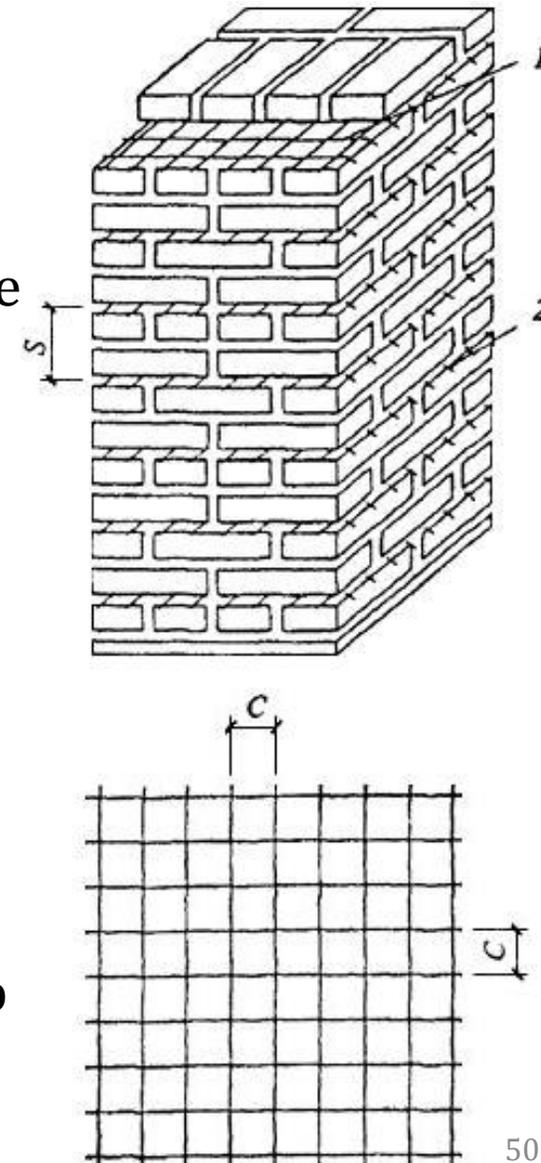
Пример 1. Каменный столб с сетчатым армированием

Дано: колонна из полнотелого кирпича сечением $b \times h - 510 \times 510$ мм высотой $H = 3,0$ м, марка кирпича М200, марка раствора М150, полная нагрузка $N = 550$ кН, в том числе постоянная и длительная нагрузка $N_l = 440$ кН, эксцентриситет $e_{0y} = e_{0ly} = 50$ мм, шарнирные узлы сопряжения - коэффициент расчетной длины $\mu = 1$, радиусы инерции $i_y = i_x = 147$ мм, радиусы ядра сечения $\rho_y = \rho_x = 85$ мм, сетка из стержней $\varnothing 6$ мм А240 с размером ячейки $C = 50 \times 50$ мм и шагом $S = 225$ мм (через три ряда кирпича)

Вычисляем гибкость - $\lambda_{iy} = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{\mu H}{i_y} = \frac{1 \cdot 3000}{147} = \mathbf{20,4} < \mathbf{53}$

и сравниваем $e_{0y} = \mathbf{50}$ мм $< \rho_y = \mathbf{85}$ мм, для определения возможностей учета сетчатого армирования и методики расчета столба согласно п. 7.31 СП 15.13330

Определяем по табл. 2 СП 15.13330 расчетное сопротивление сжатию с учетом $\gamma_c = 0,8$ (для столбов площадью сечения $0,3$ м² и менее):
 $R = 3,0 \cdot 0,8 = 2,4$ МПа - для марок кирпича М200 и раствора М150



Пример 1. Параметры сетчатого армирования

Определяем процент армирования кладки для сеток с квадратными ячейками размером $C = 50$ мм из арматуры сечением A_{st} при расстоянии между сетками по высоте $S = 225$ мм по формуле:

$$0,1 < \mu = \frac{2A_{st}}{CS} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 28,3}{50 \cdot 225} \cdot 100 = 0,5 \leq \mu_{max} = 1,1$$

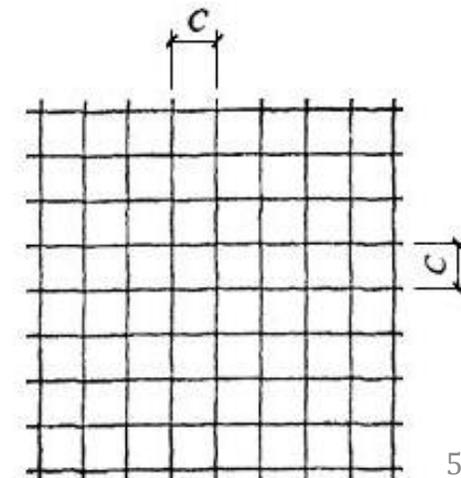
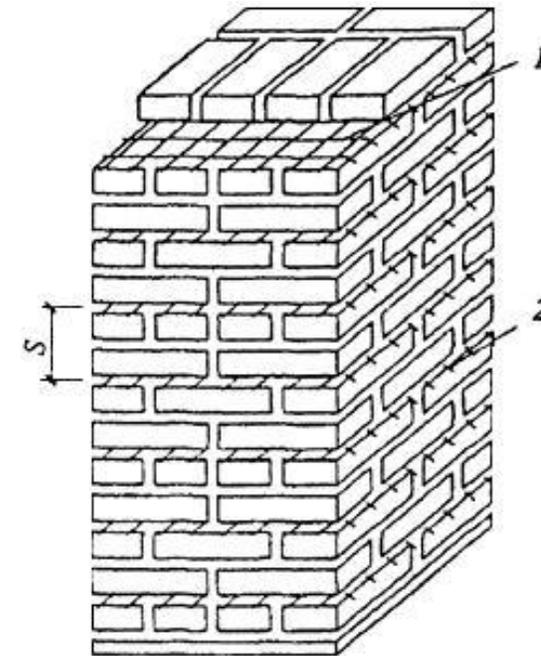
где $A_{st} = 28,3 \text{ мм}^2$ – площадь арматурного стержня сетки $\text{Ø}6$ мм

$$\mu_{max} = \frac{50R}{\left(1 - \frac{2e_{0y}}{y}\right) R_s} = \frac{50 \cdot 2,4}{\left(1 - \frac{2 \cdot 50}{255}\right) \cdot 210} = 1,1$$

где $R_s = 210$ МПа – расчетное сопротивление арматуры класса А240

$y = h/2 = 510/2 = 255$ мм – расстояние от центра тяжести до сжатого края

$e_{0y} = 50$ мм – эксцентриситет продольной силы



Пример 1. Средние пределы прочности R_u и R_{sku}

Определяем средний предел прочности неармированной кладки на сжатие по формуле:

$$R_u = kR = 2 \cdot 2,4 = 4,8 \text{ МПа}$$

где $R = 2,4$ МПа – расчетное сопротивление сжатию кладки

$k = 2$ – для кладки из кирпича и камней всех видов, из крупных блоков и др.

Определяем средний предел прочности армированной кладки на сжатие по формуле:

$$R_{sku} = kR + \frac{2R_{sn}\mu}{100} = 4,8 + \frac{2 \cdot 240 \cdot 0,5}{100} = 7,2 \text{ МПа}$$

где $R_{sn} = 240$ МПа – нормативное сопротивление арматуры класса А240

$\mu = 0,5$ – процент армирования кладки

Пример 1. Коэффициент продольного изгиба φ_1

Определяем упругую характеристику кладки $\alpha = 1000$ (п. 7 табл. 16 СП 15.13330) с учетом сетчатого армирования:

$$\alpha_{sk} = \alpha \frac{R_u}{R_{sku}} = 1000 \cdot \frac{4,8}{7,2} = 666,7$$

где $R_u = 4,8$ МПа и $R_{sku} = 7,2$ МПа – временное сопротивление (средний предел прочности) сжатию неармированной и армированной кладки соответственно

Определяем по табл. 19 СП 15.13330 коэффициент продольного изгиба φ при $\lambda_{iy} = 20,4$ и $\alpha_{sk} = 666,7$ по интерполяции – $\varphi = 0,92$

Коэффициент продольного изгиба φ_c для сжатой части сечения, определяемый по фактической высоте элемента H , при $\lambda_{icy} = H/i_{yc} = 3000/147 = 20,4$ и $\alpha_{sk} = 666,7$ также равен – $\varphi_c = 0,92$, поскольку при $e_{0y} = 50$ мм $<$ $\rho_y = 85$ мм (все сечение сжато)

Определяем коэффициент продольного изгиба φ_1 по формуле:

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = \frac{0,92 + 0,92}{2} = \frac{2 \cdot 0,92}{2} = 0,92$$

Пример 1. Коэффициенты m_g и ω

Определяем коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузок:

$$m_g = 1 - \eta \frac{N_l}{N} \left(1 + \frac{1,2e_{0ly}}{h} \right) = 1 - 0 \cdot \frac{440}{550} \left(1 + \frac{1,2 \cdot 50}{510} \right) = 1$$

где $\eta = 0$ – коэффициент, принимаемый по табл. 21 СП 15.13330, при $\lambda_{iy} = 20,4 \leq 35$

$e_{0ly} = 50$ мм – эксцентриситет силы от действия продолжительных нагрузок

$h = 510$ мм – высота сечения

Определяем коэффициент ω :

$$\omega = 1 + \frac{e_{0y}}{h} = 1 + \frac{50}{510} = 1,1 \leq 1,45$$

$e_{0y} = 50$ мм – эксцентриситет силы от действия непродолжительных нагрузок

Пример 1. Сопротивление армированной кладки R_{skb}

Определяем сопротивление армированной кладки при растворе М50 и выше:

$$R_{skb} = R_1 + \frac{p\mu R_s}{100} \left(1 - \frac{2e_0}{y} \right) = 2,4 + \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 210}{100} \left(1 - \frac{2 \cdot 50}{255} \right) = 3,7 \text{ МПа} \leq 2R = 4,8 \text{ МПа}$$

где $R_1 = R = 2,4$ МПа – расчетное сопротивление сжатию неармированной кладки в рассматриваемый срок твердения раствора

$R_s = 210$ МПа – расчетное сопротивление арматуры класса А240

$y = h/2 = 510/2 = 255$ мм – расстояние от центра тяжести до сжатого края

$e_{0y} = 50$ мм – эксцентриситет продольной силы

$\mu = 0,5$ – процент армирования кладки

$p = 2$ – коэффициент, принимаемый при пустотности кирпича (камня) до 20%

Пример 1. Проверка прочности каменного столба

Проверяем прочность кирпичной колонны с сетчатым армированием при внецентренном сжатии и малых эксцентриситетах (в пределах ядра сечения):

$$N = 550 \text{ кН} \leq m_g \varphi_1 R_{skb} A \left(1 - \frac{2e_{0y}}{h} \right) \omega = 1 \cdot 0,92 \cdot 3,7 \cdot 10^3 \cdot 0,26 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 50}{510} \right) \cdot 1,1 = 782 \text{ кН}$$

где $m_g = 1$ – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузок

$\varphi_1 = 0,92$ – коэффициент продольного изгиба

$R_{skb} = 3,7$ МПа – сопротивление армированной кладки при растворе М50 и выше

$A = bh = 0,51^2 = 0,26$ м² – площадь поперечного сечения элемента

$h = 510$ мм – высота сечения

$e_{0y} = 50$ мм – эксцентриситет продольной силы

$\omega = 1,1$ – коэффициент

По результатам проверки прочность кирпичной колонны на сжатие **обеспечена**

Литература:

- ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические
- ГОСТ 379-2015 Кирпич, камни, блоки и плиты силикатные
- ГОСТ 4001-2013 Камни стеновые из горных пород
- ГОСТ 31189-2015 Смеси сухие строительные
- ГОСТ 28013-98 Растворы строительные
- СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные конструкции
- Кумпяк О. Г., Самсонов В. С., Галяутдинов З. Р., Пахмурин О. Р. Железобетонные и каменные конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 672 с.

ИСА | 08.03.01 | ПГС | 6-й семестр

Железобетонные и каменные конструкции

Практическое занятие №13



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; PekinDA@mgsu.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.