

КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Тема 1. Материалы и изделия каменных конструкций. Конструктивные схемы зданий и стен

Для возведения каменных и армокаменных конструкций применяют искусственные и природные каменные материалы, облицовочные и теплоизоляционные материалы, строительный раствор, бетон и арматуру.

Силикатный и керамический кирпич толщиной 65 мм изготавливают полнотелым, а утолщенный кирпич – пустотелым или полнотелым с пористыми заполнителями толщиной 88мм.

Крупные пустотные керамические блоки и панели изготавливаются методом экструзии, что позволяет получать разнообразную форму изделий. Исходная смесь этих изделий состоит из глины и кварцевого песка.

Кирпич и камни лицевые, применяемые для облицовки наружных стен, изготавливают с гладкой или рельефной поверхностью как естественного цвета, так и окрашенными путем ввода добавок.

Каменная кладка, выполняемая на строительной площадке из мелкоштучного камня и кирпича, не вполне отвечает требованиям индустриального строительства. Поэтому для стен и фундаментов широко применяют крупные стеновые бетонные блоки и панели, изготавливаемые из тяжелого и легкого на пористых заполнителях бетона, силикатного и автоклавного ячеистого бетонов.

По геометрическим размерам (величине кладочных изделий) делятся на: панели и крупные блоки, обыкновенные (мелкие) камни и кирпич. Стандартные размеры кирпича 250 x 120 x 65 мм, утолщенного кирпича 250 x 120 x 88 мм, керамических пустотелых камней 250 x 120 x 138 мм, бетонных камней 390 x 190 x 188 и 390 x 90 x 188 мм. Бетонные блоки изготавливают длиной $l=880, 1180$ и 2380 мм, шириной $b=300, 400, 500$ и 600 мм, высотой $h=290$ и 580 мм. Блоки могут быть сплошными (ФБС), сплошными с вырезами для пропуска коммуникаций (ФБВ) и с пустотами, открытыми вниз (ФБП).

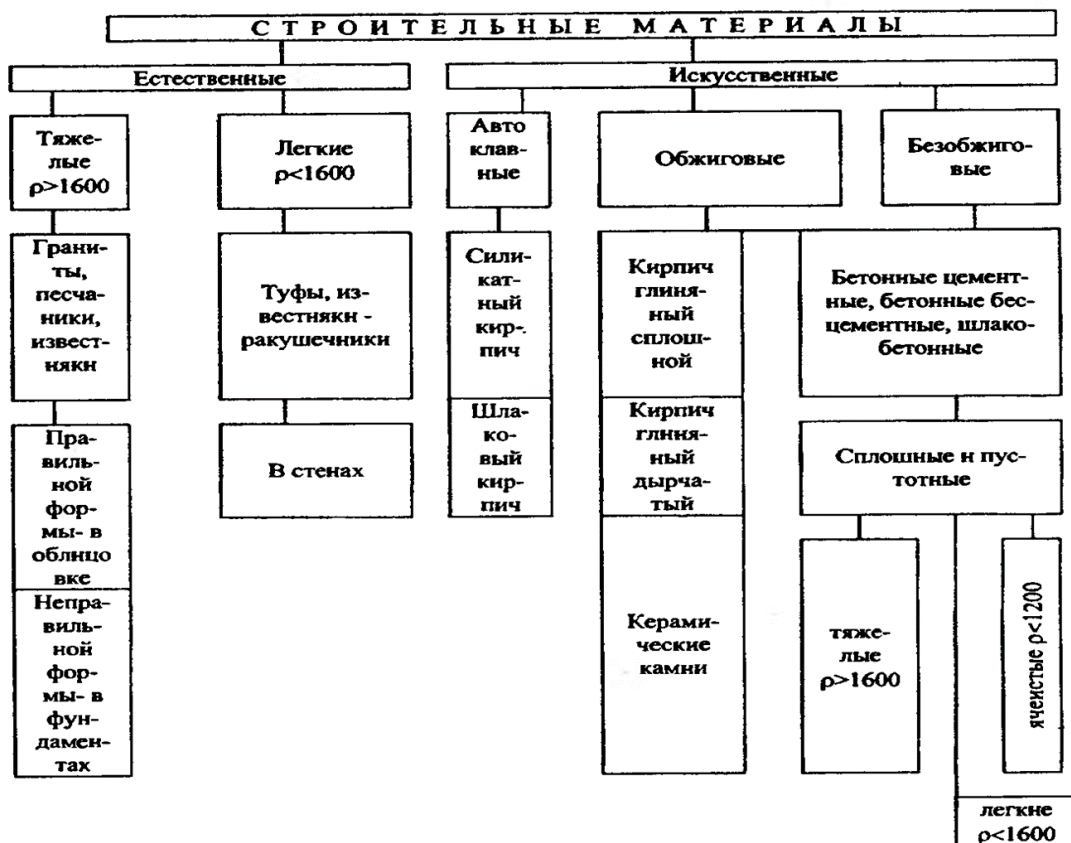


Рис. 1 Основные виды кладочных изделий.

По структуре и строительным материалам (величине кладочных изделий) делятся на: сплошные, пустотелые, с повышенной пористостью и пористо-пустотелые.

Прочностные характеристики материалов

Каменные материалы, применяемые для кладки, должны обладать необходимой прочностью, морозо- и водостойкостью.

Основной характеристикой каменных материалов и бетонов является их прочность, определяемая классами. Класс камня устанавливается по значению временного сопротивления (предел прочности) сжатию в МПа, а для кирпича также и по прочности на растяжение при изгибе. Класс бетона по прочности представляет собой предельное сопротивление на сжатие образца в МПа с обеспеченностью 0,95. Размеры и форму испытываемых для установления класса прочности материалов, а также методику их испытания устанавливают государственные стандарты. Если камни имеют различное строение в разных направлениях, то класс обозначает временное сопротивление в том направлении, в котором камень работает в кладке. Временное сопротивление пустотелых камней подсчитывается по площади брутто.

Морозостойкость камней также, как и бетонов, в значительной степени определяет их долговечность. Она характеризуется марками, обозначающими количество циклов замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии, которое камни выдерживают без видимых повреждений и снижения

прочности. По морозостойкости имеются следующие марки камней и бетонов: F 10, 15, 25, 35, 60, 100, 150, 200 и 300.

Камни, доставляемые на строительство, должны иметь заводской паспорт, содержащий сведения о пределе прочности (марке), морозостойкости, плотности, содержании радионуклидов и т.п. При его отсутствии характеристики камней могут быть определены в лабораторных условиях.

Требования к кладочным изделиям

Систематизация кладочных изделий выполняется

- По виду материала;
- По геометрическим параметрам (разделение на группы);
- По способу установления прочности при сжатии (категории I или II);

По виду материала, из которого выполнены кладочные элементы, они подразделяются на:

- Керамические в соответствии с требованиями стандартов;
- Силикатные, в соответствии с требованиями стандартов;
- Из бетона на плотных и пористых заполнителях, в соответствии с требованиями стандартов ;
- Из автоклавного ячеистого бетона, в соответствии с требованиями стандартов;
- Из плотного бетона в соответствии с требованиями стандартов;
- Из естественного (природного) камня в соответствии с требованиями стандарта.

Например, производят такие виды керамических кладочных изделий в соответствии с СТБ EN и отечественным стандартом:

– кирпич LD: керамический кирпич с низкой плотностью брутто в сухом состоянии, применяемый в защищенной каменной кладке.

Следует отметить, что из всего многообразия кладочных изделий наиболее известными и широко применяемыми в нашей стране являются следующие (с использованием терминологии, принятой в ранее действующей нормативной литературе):

- Кирпич обыкновенный (одинарный) с размерами 65x125x250 мм (толщина x ширина x длина);
- Кирпич утолщенный с размерами 88x120x250 мм;
- Мелкоштучные камни (с наиболее употребляемой толщиной 138 и 188 мм).

Кирпич производится керамический и силикатный, полнотелый и пустотелый. Камни, как правило, выполняются пустотелыми. Пустоты в кладочных изделиях выполняются для снижения собственной массы и повышения тепло- и звукоизоляции изделия.

Керамические изделия изготавливаются с использованием глины и техно-логии обжига. Силикатные изделия изготавливаются с использованием извести в качестве вяжущего и твердением в автоклавах при повышенных давлении и температуре.

По геометрическим параметрам кладочные элементы делятся на две группы.

Критериями деления кладочных элементов на группы являются такие геометрические параметры, как:

- % общий объем пустот к объему камня или блока,
- % объем отдельной пустоты к объему камня или блока,
- толщина внутренних и внешних стенок,
- направление пустот относительно положения кладочного элемента.

В подробном виде указанная классификация представлена в таблице 7.1 (ТКП 45-5.02-308-2017).

По способу установления прочности при сжатии кладочные элементы делятся на две категории I и II.

Согласно стандартам, EN 771, к кладочным элементам категории I относятся кладочные элементы с декларируемой прочностью при сжатии, при этом вероятность того, что данное значение прочности не будет достигнуто, должна составлять не более 5 %. Декларируемая прочность при сжатии определяется при этом по характеристическому значению (с обеспеченностью 95%).

К кладочным элементам категории II относятся кладочные элементы, в которых не достигается уровень надежности элементов категории I. Декларируемая прочность при сжатии определяется по среднему значению (с обеспеченностью 50%).

В соответствии с нормами различают среднюю, характеристическую и нормированную прочность кладочных элементов при сжатии:

- средняя прочность при сжатии – прочность, рассчитанная как средняя арифметическая по результатам испытаний;
- характеристическая прочность при сжатии – прочность, соответствующая 5 % квантилю прочности (с обеспеченностью 95%);
- нормированная (приведенная) прочность при сжатии – прочность кладочных элементов, пересчитанная на прочность в воздушно-сухом состоянии равнозначного элемента шириной и высотой 100 мм.

Растворы

Качество каменной кладки в большой степени зависит от свойств раствора. Раствор для кладки – правильно подобранная смесь вяжущего, мелкого заполнителя, воды и специальных добавок (в необходимых случаях).

Требования к кладочным растворам

Раствор в кладке используется для:

1. создания единого монолита из отдельных кладочных изделий (каменной);
2. равномерной загрузки отдельных камней, имеющих неровности;
3. уменьшения воздухо- и влагопроницаемости.

Кладочный раствор получают из смеси неорганического вяжущего заполнителя, воды и, при необходимости, добавок и наполнителей. В качестве вяжущего используют цемент, известь, гипс, глину, иные вяжущие.

Кладочные растворы подразделяются по:

- виду;

- способу установления состава;
- месту изготовления.

По виду растворы подразделяются на:

- растворы общего назначения (стандартные растворы);
- легкие растворы плотностью в воздушно сухом состоянии не выше 1300 кг/м^3 ;
- растворы для тонких швов (растворы с максимальным размером зерен заполнителя 2 мм).

Растворы общего назначения (стандартные растворы) и легкие растворы применяются для швов толщиной не менее 6мм и не более 15 мм, а растворы для тонких швов - для швов толщиной не менее 0.5 мм и не более 3 мм.

По способу установления состава кладочные растворы подразделяются на:

- кладочные растворы, предписанные по рецептуре (заданного состава), прочность на сжатие которых определяется по заданным пропорциям составляющих;
- кладочные растворы заданного качества, состав и технологии изготовления которых изготовитель подбирает таким образом, чтобы достигались установленные свойства раствора (класс прочности раствора).

К растворам заданного качества относятся растворы общего назначения, легкие растворы и растворы для тонких швов.

По месту приготовления растворы подразделяются на:

- кладочные растворы заводского изготовления. К ним относятся кладочные растворы заданного состава и кладочные растворы заданного качества, приготовленные на заводе.
- кладочные растворы построечного изготовления. К ним относятся кладочные растворы заданного состава, приготовленные в условиях строительной площадки.

Для затвердевшего раствора устанавливаются требования к следующим свойствам:

- прочности при сжатии;
- прочности сцепления;
- водопоглощению;
- паропроницаемости;
- плотности в сухом состоянии;
- теплопроводности;
- горючести (для раствора с содержанием органических веществ $>1\%$);
- долговечности.

Стандартный кладочный раствор представляет собой раствор заданного состава или раствор заданного качества.

Тонкослойные и легкие кладочные растворы должны представлять собой растворы заданного качества.

Прочность при сжатии кладочного раствора f_m определяют по результатам испытаний на сжатие половинок балочек размерами 40x40x160 мм, полученным после их испытаний на изгиб.

Арматура для каменной кладки

Требования к арматуре

Армирование каменных конструкций может осуществляться следующими вариантами:

1. в виде отдельных стержней, устанавливаемых горизонтально или вертикально в швах и штрабах каменной кладки;
2. в виде арматурных изделий (сеток), устанавливаемых в горизонтальных швах кладки;
3. в виде железобетонных вставок в сечении каменной кладки (комплексные конструкции).

На практике, наибольшее распространение получил 2-ой вариант.

В качестве арматуры может применяться свариваемая гладкая арматура класса S240 и арматура периодического профиля класса S500. При проектировании конструкций из армированной каменной кладки показатели арматуры принимают в соответствии с нормами и стандартами по железобетонным конструкциям.

Растворы классифицируют по прочности при сжатии и обозначают буквой М, за которой следует указание прочности при сжатии, в ньютонах на миллиметр квадратный, например, М5. Растворы заданного состава классифицируют по соотношению компонентов смеси, например:

цемент: известь, песок = 1:1:5 в соотношении по объему.

Прочностные и деформативные свойства каменной кладки

Каменная кладка является монолитным неоднородным упругопластическим материалом. Даже при равномерном распределении нагрузки по всему сечению сжатого элемента камень и раствор находятся в условиях сложного напряженного состояния. Они одновременно подвержены внецентренному сжатию, изгибу и растяжению, срезу и смятию.

Основными причинами сложного напряженного состояния являются:

1. Неоднородность растворной постели камня. Это обусловлено тем, что даже при особо тщательном перемешивании раствора возможно неравномерное распределение вяжущего, заполнителя, добавок и воды; всасывающая способность камня и водоудерживающая способность раствора по плоскости их соприкосновения неодинакова, вследствие чего увеличивается неоднородность растворного шва; в процессе твердения раствора происходит его неравномерная усадка, проявляются усадочные напряжения, которые при неблагоприятных условиях могут вызвать отрыв раствора от камня и камень окажется опертым на отдельные участки раствора; в процессе возведения кладки в большинстве случаев поверхность раствора не выравнивается так, чтобы полностью соответствовать нижней поверхности камня и чтобы камень был одинаково прижат к растворной постели, что также создает участки шва с раствором разным по плотности, прочности и жесткости. Образование таких участков раствора приводит к концентрации напряжений на участках с большей прочностью и жесткостью.

Схематично работу кирпича или камня в кладке можно сравнить с пластинкой, опирающейся на беспорядочно расположенные и обладающие различной жесткостью опоры, нагруженные беспорядочно распределенными нагрузками, вызывающими в камне изгибающие моменты и поперечные силы (рис. 2.).

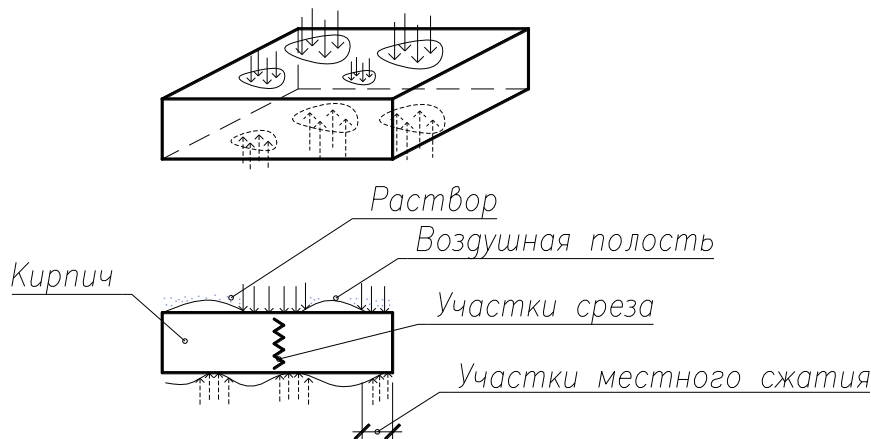


Рис. 2 Работа кирпича или камня в кладке под нагрузкой

2. Различие деформативных свойств камня и раствора. При сжатии кладки на соприкасающихся горизонтальных плоскостях камня и раствора из-за трения и сцепления невозможны независимые поперечные деформации камня и раствора. На этих плоскостях появляются касательные усилия – более жесткие материалы сдерживают деформации менее жестких. Если жесткость раствора меньше жесткости камня, в последнем возникают растягивающие напряжения, суммирующиеся с растягивающими напряжениями, возникающими при изгибе, что уменьшает прочность кладки.

Растягивающие усилия особенно велики для кладок на растворах низкой прочности (рис 3).

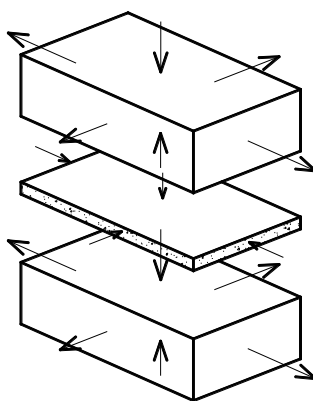


Рис. 3. Усилия в кирпиче и растворе

3. Наличие вертикальных швов в кладке и отверстий в пустотелых камнях, способствующих концентрации вблизи них напряжений;

4. Неоднородность камней и связанное с этим различие деформативных свойств самих камней, уложенных в кладку.

5. Неправильная форма камня в бутовой кладке, обуславливающее концентрацию напряжений на выступающих частях камней (рис. 4)

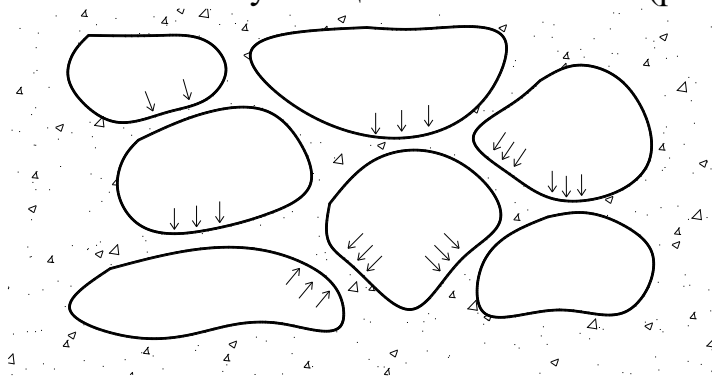


Рис. 4 Усилия в бутовой кладке

На прочность кладки оказывают влияние размеры и форма камней, способ перевязки швов, сцепление раствора с камнем и т. п.

В работе кирпичной (каменной) кладки на сжатие различают четыре стадии. Первая стадия (рис. 5 , а) соответствует нормальной эксплуатации кладки, когда усилия, возникающие в кладке под нагрузкой, не вызывают видимых ее повреждений. Переход кладки во вторую стадию работы характеризуется появлением небольших трещин в отдельных кирпичах (рис. 5 , б). В этой стадии кладка еще несет нагрузку (значение ее составляет 60– 80 % от разрушающей) и дальнейшего развития трещин при неизменной нагрузке не наблюдается. Но при увеличении нагрузки происходит возникновение и развитие новых трещин, которые соединяются между собой, пересекая значительную часть кладки в вертикальном направлении. Это третья стадия (рисунок 5 , в). При длительном действии нагрузки, соответствующей этой стадии, даже без дальнейшего ее увеличения будет постепенно (вследствие развития пластических деформаций) происходить дальнейшее развитие трещин, расслаивающих кладку на тонкие гибкие столбики. И третья стадия перейдет в четвертую – стадию разрушения от потери устойчивости расчлененной трещинами кладки (рисунок 5 , г).

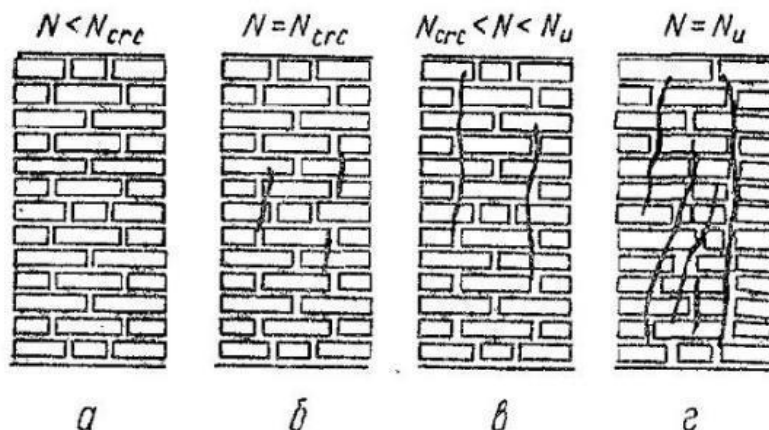


Рис 5 Стадии работы кладки при сжатии
а – первая; б – вторая; в – третья; г – четвертая (разрушение кладки)

Так как 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 (камня) на сжатие. Теоретическая максимальная прочность кладки на растворе с пределом прочности $f_m = \infty$ называется конструктивной прочностью кладки. Конструктивная прочность кладки равна пределу прочности камня на сжатие f_b , умноженному на конструктивный коэффициент $A < 1$. Фактическая прочность кладки значительно меньше конструктивной. Кроме класса прочности кирпича f_b , на значение прочности кладки оказывают влияние прочность раствора f_m и вид кладки.

Рост прочности кладки с увеличением прочности раствора затухает. Даже при $f_m = \infty$ прочность кладки меньше f_b . Поэтому применение для обычных кладок растворов высоких классов (более 7,5) неэкономично.

Разрушение растянутой кладки может произойти по неперевязанному и перевязанному (рис. 6 а, б) сечению. При неперевязанном сечении кладка разрушается в большинстве случаев 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, кладка разрушается по раствору.

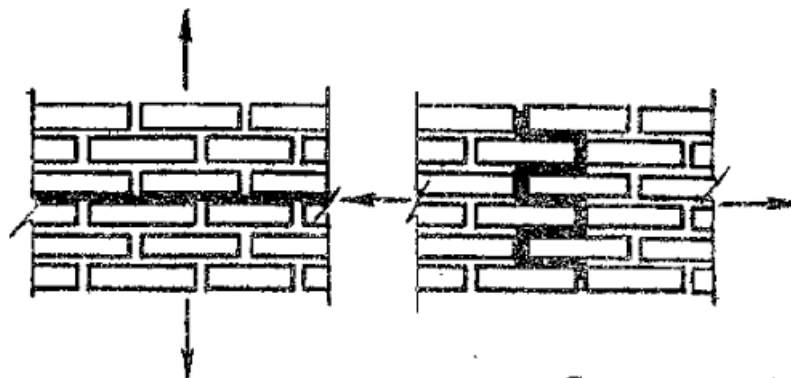


Рис 6 . Схема разрушения кладки при растяжении
а – разрушение по неперевязанному сечению;
б – разрушение по перевязанному сечению

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

В некоторых конструкциях каменная кладка подвергается срезу. Срез может произойти как по неперевязанному, так и по перевязанному сечению.

Характеристическое значение прочности кладки при сжатии

Характеристическое значение прочности при сжатии каменной кладки без продольного шва определяют следующим образом:

– для каменной кладки на стандартном и легком кладочных растворах – по формуле:

$$f_k = K \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3}$$

– для каменной кладки из кладочных изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения на тонкослойном кладочном растворе – по формуле:

$$f_k = K \cdot f_b^{0.7}$$

где K – коэффициент в диапазоне 0,25...0,7 зависит от вида изделия;
 f_b – приведенная (нормированная) прочность при сжатии кладочного изделия в направлении нагрузки, МПа;

f_m – прочность при сжатии кладочного раствора, МПа.

Характеристические значения прочности каменной кладки при сжатии, определяются как по формулам, так и по таблицам, приведенным в НД.

Диаграмма деформирования (состояния) каменной кладки при осевом кратковременном сжатии, как правило, нелинейная (рисунок 7). При определении расчетных параметров каменной кладки допускается принимать параболическую, параболически-линейную или упрощенную прямоугольную диаграмму.

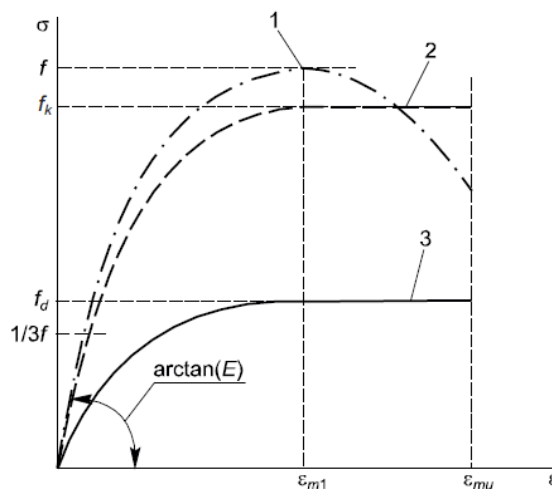


Рис. 7 Диаграмма деформирования (состояния) каменной кладки при осевом кратковременном сжатии.

- 1 – фактическая диаграмма (параболическая);
- 2 – идеализированная диаграмма (параболически-линейная);
- 3 – расчетная диаграмма (параболически-линейная)

Кратковременный модуль упругости E неармированной каменной кладки является секущим модулем и определяется в процессе испытаний в соответствии со стандартом. Таким образом, модуль упругости кладки – тангенс угла наклона касательной к кривой деформаций в начале координат.

Виды конструкций стен зданий

Продольные и поперечные стены, столбы, рамы каркаса вместе с перекрытиями и покрытиями образуют пространственную систему, элементы которой воспринимают все действующие нагрузки и обеспечивают требуемую устойчивость здания и его пространственную жесткость.

Распределение усилий между элементами зданий зависит: от жесткости перекрытий, от толщины и высоты стен, наличия в них проемов; от типа соединений между конструктивными элементами здания. В зависимости от конструктивной схемы здания каменные стены делятся на:

- несущие, воспринимающие все нагрузки;
- самонесущие, воспринимающие собственный вес всех стен по высоте здания и ветровую нагрузку;
- ненесущие, воспринимающие нагрузку от собственного веса стены и ветра в пределах одного этажа.

По системам пространственной жесткости различают здания с жесткой и упругой конструктивными схемами. Конструктивная схема определяется расстоянием между поперечными вертикальными устойчивыми конструкциями и жесткостью горизонтальных опор.

К зданиям с жесткой конструктивной схемой относятся в большинстве случаев гражданские здания, в которых при расчете на горизонтальные нагрузки, внецентренное растяжение и центральное сжатие несущие каменные стены и столбы рассчитываются как вертикальные балки, опирающиеся на жесткие опоры, которыми являются диски покрытия и междуэтажные перекрытия.

К зданиям с упругой конструктивной схемой относятся в основном одноэтажные промышленные здания, у которых отсутствуют жесткие горизонтальные связи.

Расчет стен зданий с жесткой конструктивной схемой

Расчет на вертикальные и горизонтальные ветровые нагрузки с учетом их возможного сочетания выполняется как для вертикальных неразрезных многопролетных балок, опертых на неподвижные опоры – перекрытия (рис. 8)

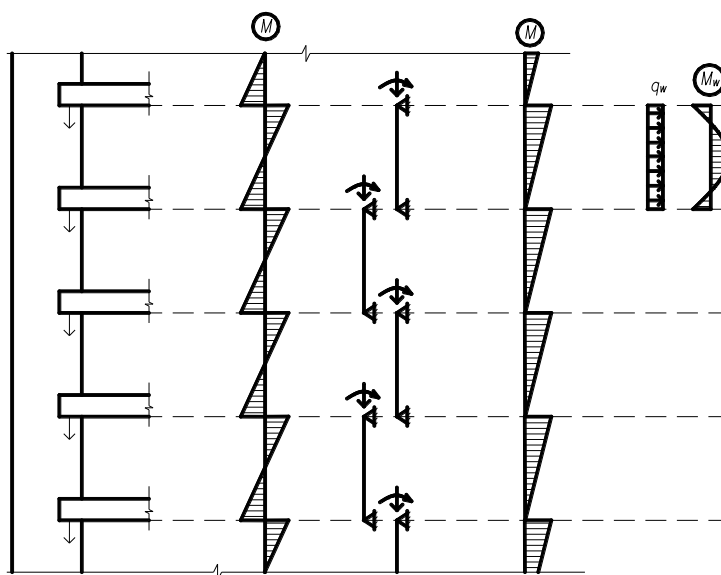
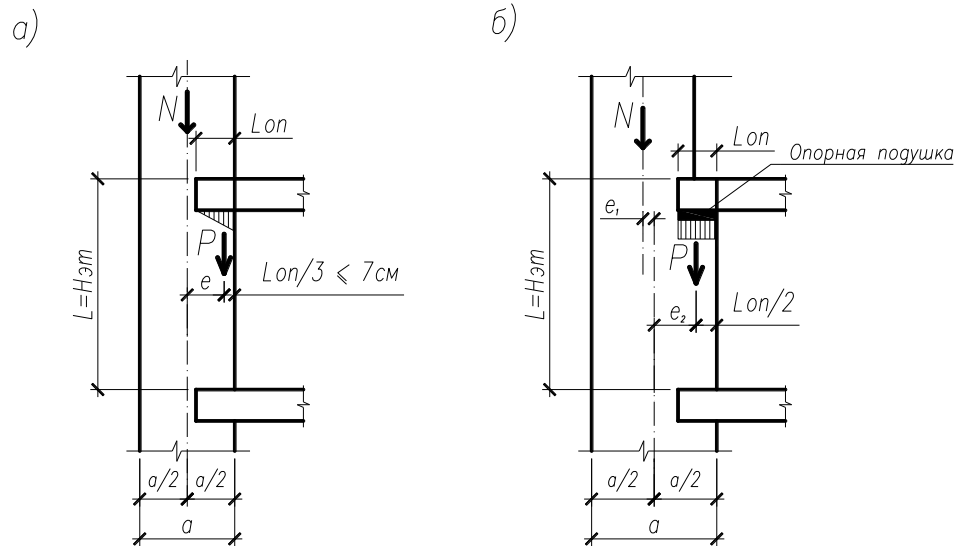


Рис. 8 Расчетная схема стены здания с жесткой конструктивной схемой

Для упрощения расчета допускается рассматривать стены или столбы многоэтажного здания рассеченными по высоте на однопролетные балки, шарнирно опирающиеся в горизонтальном направлении на перекрытия с пролетом $l = H_{эм}$. При этом принимают, что нагрузка от верхних этажей приложена в центре тяжести сечения стены вышележащего этажа. Нагрузка в пределах рассматриваемого этажа считается приложенной с эксцентриситетом относительно центра тяжести, рассматриваемого сечения (рис. 9).



$$N_x = N + P + P_{св}$$

$$M_x = P \cdot e \left(1 - \frac{x}{H_{эм}}\right)$$

$$e = 0.5 \cdot a - \frac{L_{он}}{3}$$

$$N_x = N + P + P_{св}$$

$$M_x = (-N \cdot e_1 + P \cdot e_2) \left(1 - \frac{x}{H_{эм}}\right)$$

Рис. 9 Схема приложения нагрузок на стену

Для сплошных стен (не имеющих проемов) за расчетное сечение принимается участок стены длиной 1 м. Для стены с проемами расчетным сечением является сечение наиболее нагруженного простенка.

Изгибающие моменты в сечении наружной стены от горизонтальной ветровой нагрузки определяются в пределах каждого этажа как для балок с

$$\text{защемленными концами } M_w = \frac{\pm q_w \cdot H_{эм}^2}{12}$$

Расчет стен начинается с верхнего этажа.

Расчет стен зданий с упругой конструктивной схемой

При статическом расчете каменных стен и столбов зданий с упругой конструктивной схемой выделяют один ряд поперечных конструкций между средними осями пролетов здания и рассматривают рамную систему. Стойками рамы являются стены и столбы, которые принимаются заделанными в грунт в

уровне пола здания, а конструкции покрытия – ригеля, считаются абсолютно жесткими, шарнирно связанными со стойками (рис. 10).

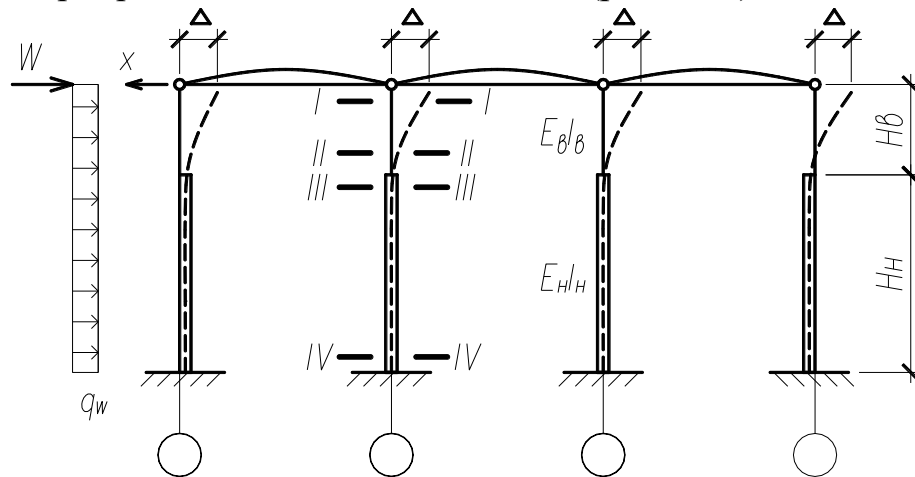


Рис. 10 . Поперечная рама цеха

Изгибающие моменты и продольные сил в различных характерных сечениях стоек рамы определяются по общим правилам строительной механики методом перемещений.

Составляются сочетания усилий:

- 1) $M_{\max} - N_{\text{соотв}}$
- 2) $M_{\min} - N_{\text{соотв}}$
- 3) $N_{\max} - M_{\text{соотв}}$

По полученным усилиям проверяют несущую способность стен и столбов как работающих на внецентренное сжатие.

Кроме расчета на эксплуатационные нагрузки стены и столбы зданий с упругой конструктивной схемой необходимо также рассчитывать и на нагрузки в стадии производства работ, когда покрытия еще не смонтировано. В этой стадии стены и столбы рассматриваются как консоли, заделанные в грунт и загруженные собственным весом и ветром. Если несущая способность стен и столбов в стадии монтажа не обеспечена, размеры сечения не увеличивают, а предусматривают специальные временные крепления.

Тема 2.2 Каменные кладки. Классификация и виды кладок

В зависимости от формы камня различают кладки из камня правильной формы и из камней неправильной формы.

Кладки из камней неправильной формы делятся на бутовые и бутобетонные.

В зависимости от конструкции кладки могут быть сплошными и пустотелыми.

Сплошные кладки, в свою очередь, подразделяются на однослойные, состоящие из одного вида каменного материала и многослойные, состоящие из двух или более слоев, выполненных из различных материалов.

В пустотелых (облегченных) кладках часть основного несущего материала заменяется воздушной прослойкой, легким или ячеистым бетоном, теплоизоляционными плитами или минеральными засыпками с объемной насыпной массой не более 1000 кг/м^3 .

Кладки должны обладать монолитностью, которое обеспечивается сцеплением камней с раствором и перевязкой камней в горизонтальных рядах. Некачественная и недостаточная перевязка кладки существенно ускоряет момент образования первых трещин, ведет к преждевременному расслоению кладки на ряд тонких отдельных вертикальных тонких столбиков, что значительно снижает прочность кладки и она разрушается. Это наиболее опасно при нагрузках, вызывающих внецентренное сжатие, изгиб, срез, растяжение и местное сжатие.

Толщина горизонтальных швов кладки из кирпича, керамических, бетонных и природных камней должна быть в пределах 8-15мм (в среднем 12мм), вертикальных швов 8-12мм (в среднем 10мм).

В зависимости от веса камней кладки подразделяют на ручные и механизированные.

Виды каменных кладок

Сплошную ручную каменную кладку можно выполнять из кирпича всех видов, керамических, бетонных и природных камней. Для уменьшения толщины и массы стен рекомендуется применять пустотелые кирпичи и камни, особенно в наружных стенах отапливаемых зданий.

Для обеспечения монолитности стены кладку ведут с перекрытием вертикальных швов в каждом ряду. Вдоль стены кладку перевязывают в каждом ряду, а поперек – через несколько рядов.

Сплошная кирпичная кладка может выполняться по однорядной цепной или многорядной системе перевязки.

Однорядная выполняется как правило при устройстве межкомнатных перегородок т.е. ненесущих конструкций, толщиной 120мм, двух и многорядная при возведении несущих и самонесущих стен толщиной 250, 380 и 510мм. (рис. 11)

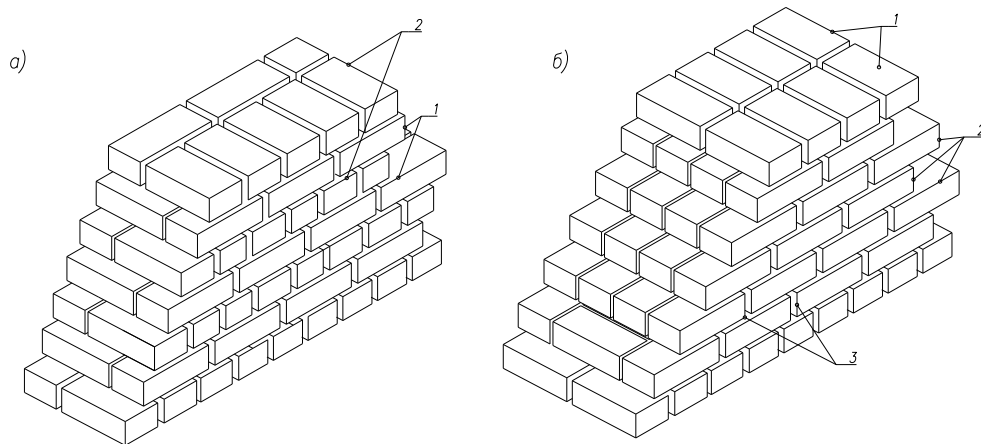


Рис. 11 Сплошные кирпичные кладки:
а) двухрядная (цепная); *б)* шестирядная (ложковая);
 1 – тычковый ряд; 2 – ложковый ряд; 3 – шов.

При любой системе перевязки швов обязательна укладка тычковых рядов в нижнем (первом) и верхнем (последнем) рядах кладки конструкций, а также в выступающих рядах кладки (карнизах, поясах и т.д.) При многорядной системе перевязки швов обязательна укладка тычковых рядов под мауэрлаты и опорные части конструкций (балки, прогоны и т.д.).

Все швы кирпичной кладки, кроме кладки «впустошовку» должны тщательно быть заполнены раствором. В кладке «впустошовку» швы на поверхности стен не заполняются на глубину до 15мм, а в столбах и узких простенках – до 10мм. Затем эти конструкции оштукатуриваются или облицовываются.

Кладку из керамических камней ($h=138\text{мм}$) с поперечными щелевидными пустотами следует выполнять по однорядной системе перевязки, обеспечивающей наиболее высокое сопротивление стен теплопередаче, а из камней с продольными пустотами – по многорядной системе перевязки. В кладке стен, столбов, простенков и перемычек из керамических камней швы должны быть полностью заполнены раствором.

Кладка из бетонных и природных камней высотой ряда до 200мм должна иметь не менее одного тычкового ряда на каждые 3 ряда кладки. Горизонтальные и вертикальные швы полностью заполняются раствором.

Продольная перевязка фундаментных блоков должны быть не менее $\frac{1}{2}$ длины блока и не менее 30 см, поперечная перевязка не требуется, так как толщина крупных блоков равна толщине стены. Толщина горизонтальных и вертикальных швов должна быть 20мм, но в отдельных случаях может изменяться от 15 до 30мм.

Облегченные многослойные ручные кладки состоят из конструктивных, облицовочных и теплоизоляционных слоев, соединенных жесткими или гибкими связями.

В целом существует 11 типов облегченных кладок из кирпича, керамических или бетонных камней продольные и поперечные стенки которых образуют колодцы, которые для утепления стен заполняются теплоизоляционными материалами в виде плит, блоков, легких бетонов или засыпаются

минеральными материалами. перевязка стенок конструкций может быть од-
норядной и многорядной (рис. 12). Швы в наружной стенке должны быть
полностью заполнены раствором.

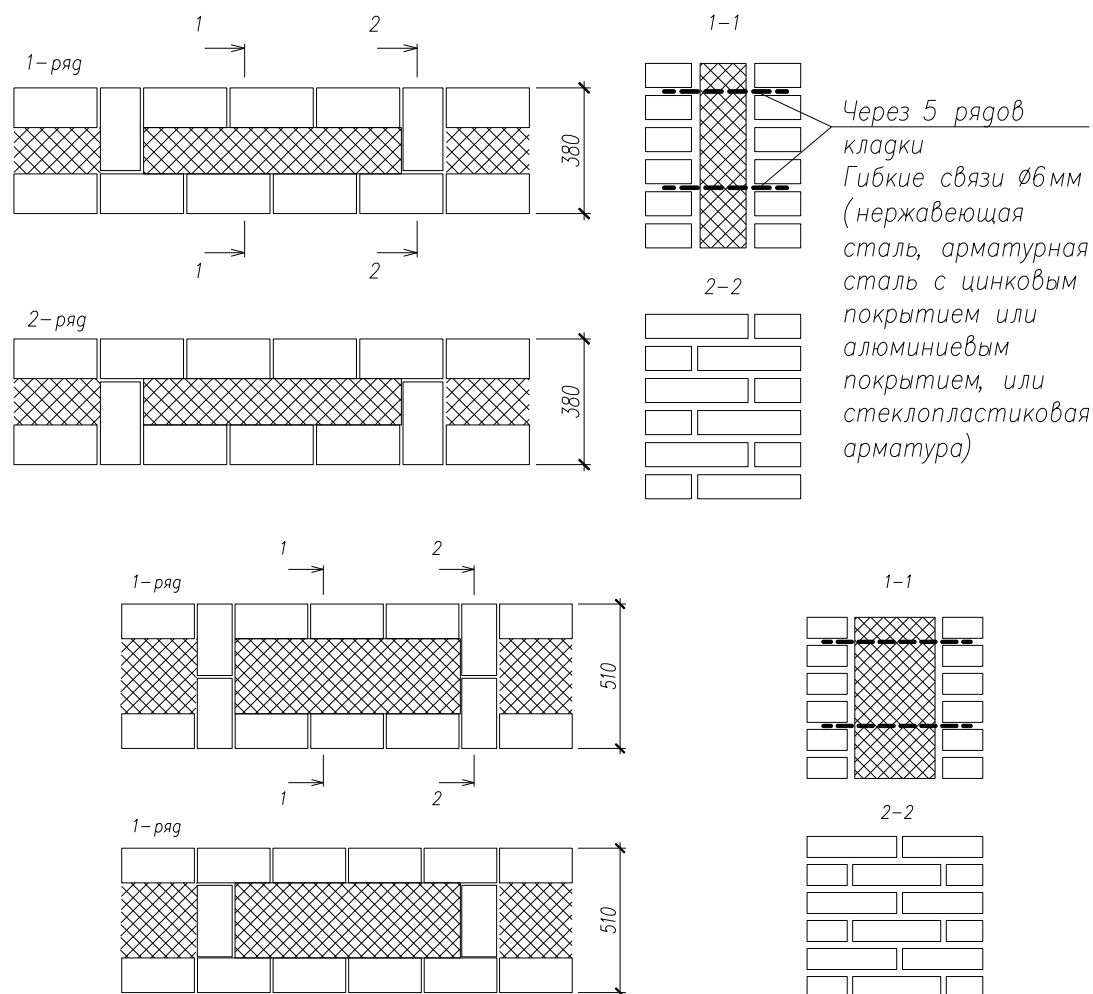


Рис. 12 Перевязка стенок в многослойных кладках

Облегченные кладки применяют для несущих стен зданий высотой до 5
этажей, для самонесущих стен зданий до 9 этажей, а для не несущих стен в
зданиях любой высоты с сухими помещениями или имеющими нормальную
влажности воздуха. Кладка с засыпкой допускается в зданиях не выше двух
этажей и при отсутствии динамических нагрузок. Для помещений с мокрым
режимом работы облегченные кладки применять нельзя.

Если в колодцах предусматривается воздушная прослойка, то теплоизо-
ляционные жесткие то полужесткие плиты устанавливаются вплотную к
поверхностям внутренней стенке и закрепляются стальными скобами, защи-
щенными от коррозии.

Тема 2.3 Расчет каменных и армокаменных конструкций зданий. Общие положения. Расчет каменных и армокаменных конструкций по несущей способности при центральном и внецентренном сжатии

Проектирование, расчет и определение расчетных параметров каменных и армокаменных конструкций выполняют в соответствии с основными требованиями, установленными ТКП EN 1990.

При проверке предельных состояний несущей способности в постоянной и особой расчетных ситуациях применяют соответствующие значения частного коэффициента для характеристических свойств материала « γ_m », учитывающего погрешности расчетной модели и отклонения от заданных размеров.

Для случаев, касающихся упрощенных требований, предъявляемых к предельному состоянию эксплуатационной пригодности, дополнительные расчеты для сочетаний воздействий не требуются. Для характеристик свойств материалов в предельном состоянии эксплуатационной пригодности применяют частный коэффициент $\gamma_m = 1$.

Проверку предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности элементов каменных конструкций выполняют на расчетные сочетания усилий, полученные как результирующие (суммарные) из расчетов на отдельные виды воздействий.

Расчет конструкций по несущей способности выполняют всегда, во всех случаях, на установленные нормами сочетания нагрузок.

Для неармированной каменной кладки проверку предельного состояния эксплуатационной пригодности не производят, если расчетами подтверждено выполнение требований предельного состояния несущей способности.

Повреждения, вызванные напряжениями, возникающими в местах закрепления стен, следует исключить путем соблюдения соответствующих требований и конструктивных решений при проектировании.

Деформации стен из каменной кладки, вызванные ветровым воздействием, особыми воздействиями толпы или удара, не должны оказывать влияние на пригодность стен к нормальной эксплуатации.

Стену, на которую действует нагрузка, перпендикулярная к ее поверхности и для которой расчетами подтверждено выполнение требований предельного состояния несущей способности, допускается рассматривать как соответствующую требованиям пригодности к нормальной эксплуатации, если размеры стены ограничены.

При эксплуатации элементов конструкций из армированной каменной кладки не допускается появление трещин, размеры которых превышают допустимые, а также чрезмерных прогибов.

При ограничении размеров элементов конструкции из армированной каменной кладки считают, что прогиб стены под нагрузкой, перпендикулярной ее поверхности, или вертикальный прогиб балки из каменной кладки соответствует допустимому значению.

Если размеры элементов конструкции из армированной каменной кладки ограничены и при проектировании соблюдены конструктивные требования, считают, что при действии изгибающего момента ширина раскрытия трещин в каменной кладке соответствует требованиям пригодности к нормальной эксплуатации.

Кладочные изделия должны быть пригодными для соответствующего вида каменной кладки, их локального расположения и соответствовать предъявляемым к каменной кладке требованиям по долговечности. Кладочный раствор, бетон заполнения и арматура должны соответствовать виду кладочных изделий и требованиям к долговечности.

Прочность при сжатии кладочных растворов f_m , применяемых в армированной каменной кладке, должна составлять не менее 5 МПа.

Арматуру размещают таким образом, чтобы была обеспечена ее совместная работа с каменной кладкой.

Если в расчете принимается свободное опирание конструкции, необходимо предусматривать соответствующую анкеровку арматуры в каменной кладке.

Для получения прочного сцепления кладочного раствора с арматурой в горизонтальных швах, должны быть выполнены следующие требования:

— минимальная толщина защитного слоя кладочного раствора (расстояние между арматурой и поверхностью каменной кладки (стены) должно составлять не менее 15 мм;

— толщина защитного слоя кладочного раствора в горизонтальных швах, расположенных выше или ниже арматуры, для стандартного и легкого кладочного растворов должна быть такой, чтобы толщина швов превышала диаметр арматуры не менее чем на 5 мм.

В элементах конструкций из армированной каменной кладки, в которых арматуру учитывают при расчете сопротивления элемента, площадь поперечного сечения основной арматуры должна составлять не менее 0,05 % расчетной (эффективной) площади сечения каменной кладки. В этом случае площадь сечения каменной кладки определяется как произведение расчетной ширины и высоты поперечного сечения элемента конструкции.

Горизонтальные, железобетонные пояса, для кладок должны иметь не менее двух продольных арматурных стержней с минимальной площадью сечения 150 мм². Стыки арматуры выполняют согласно нормам и по возможности, со смещением. Параллельно проходящую арматуру допускается учитывать с полным поперечным сечением при условии, что она находится в перекрытиях или оконных перемычках на удалении не более 0,5 м от середины стены и перекрытия. Площадь поперечного сечения железобетонных поясов должна составлять не менее 0,025 м².

Температурно-усадочные швы в стенах следует устраивать в местах возможной концентрации температурных и усадочных деформаций, которые могут вызвать недопустимые по условиям эксплуатации разрывы кладки, трещины, перекосы и сдвиги кладки по швам (по концам протяженных армированных и стальных элементов, а также в местах значительного ослабления

стен отверстиями или проемами). Расстояния между температурно-усадочными швами устанавливают расчетом.

Для усиления (увеличения несущей способности) каменных конструкций используют их армирование. Такие конструкции называют армокаменными. Армирование может быть двух видов:

- поперечное, в горизонтальных швах кладки;
- продольное (вертикальное).

Применение одного или другого вида армирования зависит от условия эксплуатации конструкции. Так, если схема приложения внешнего воздействия на конструкцию будет вызывать растягивающие напряжения в его нормальном сечении эффективным будет использование продольного армирования. Если же все сечение сжато, т.е. эксцентриситет приложения внешнего усилия находится в пределах ядра сечения ($e \leq 0.17h$) эффективным является поперечное армирование в горизонтальных швах.

При расчете сопротивления сжатию стен при действии преимущественно вертикальной нагрузки допускается применять следующие условия:

- сохранение плоскости поперечных сечений;
- прочность на растяжение каменной кладки перпендикулярно горизонтальным швам не учитывают.

Расчет неармированной каменной кладки при сжатии

Вертикально нагруженные стены

При проектировании вертикально нагруженных стен учитывают:

- вертикальные нагрузки, действующие непосредственно на стену;
- эффекты II порядка;
- эксцентриситеты, возникающие из-за смещения стен в плане (в том числе между смежными по высоте этажами), конструкций узлов опирания и схем передачи усилий от перекрытий на стены, взаимодействия с элементами жесткости (конструкциями каркаса, поперечными стенами, контрфорсами);
- эксцентриситеты в связи с неточностями при производстве работ и различии показателей материалов отдельных частей конструкции.

Для учета отклонений при производстве работ применяют начальный (случайный) эксцентриситет e_{init} по всей высоте стены.

Допускается принимать $e_{init} = h_{ef}/450$, где h_{ef} – расчетная (эффективная) высота стены.

Расчетная (эффективная) высота стены из каменной кладки

При определении расчетной (эффективной) высоты стены следует учитывать относительную жесткость элементов конструкции, соединенных со стеной, и вид соединений.

Жесткость стены может быть увеличена опирающимися на нее перекрытиями или покрытием, поперечными стенами или любым другим жестким элементом конструкции, с которым соединена рассматриваемая стена (диафрагма жесткости).

За расчетную (эффективную) толщину t_{ef} однослойных стен, двухслойных стен без воздушного зазора, двухслойных стен с заполнением воздушного зазора бетоном или раствором, однослойных стен с облицовочным слоем, стен с полосовым заполнением кладочным раствором горизонтальных швов принимают фактическую толщину стен.

Проверка предельного состояния несущей способности стены из неармированной каменной кладки при действии преимущественно вертикальной нагрузки (базовый метод)

Проверку предельного состояния несущей способности производят при условии, что расчетное значение продольного усилия N_{Ed} , возникающего в стене, не превышает расчетное значение сопротивления сжатию сечения стены N_{Rd} .

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Расчетное значение сопротивления сжатию сечения вертикально нагруженной однослойной стены на единицу длины N_{Rd} при действии продольного усилия определяют по формуле

$$N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d$$

где Φ – коэффициент уменьшения сопротивления сжатию сечения стены при действии продольного усилия, учитывающий гибкость и эксцентриситет приложения нагрузки (Φ_i – в верхнем или нижнем сечении стены, Φ_m – в среднем сечении по высоте стены);

t – толщина стены;

f_d – расчетное значение прочности при сжатии каменной кладки (принимается согласно п. п. 6.4.1. и п. 7.5.1 ТКП 45-5.03-308-2017).

Проверка предельного состояния несущей способности стены при действии сосредоточенной нагрузки.

Проверку предельного состояния несущей способности проводят при условии, что расчетное значение вертикальной сосредоточенной (локальной) нагрузки N_{Edc} не превышает расчетное значение сопротивления сжатию сечения стены N_{Rdc} при действии вертикальной сосредоточенной (локальной) нагрузки.

Стены из каменной кладки при действии нагрузки, перпендикулярной их поверхности.

При расчете стен из каменной кладки на изгиб от нагрузки, приложенной перпендикулярно их поверхности, необходимо учитывать:

- влияние гидроизоляционных слоев;
- условия опирания, неразрезность над промежуточными опорами (поперечными стенами, контрфорсами).

Однослойные стены с облицовочным слоем рассчитывают, как однослойные стены, полностью выполненные из изделий для каменной кладки с меньшей прочностью на растяжение при изгибе.

Вертикальный деформационный шов в стене рассматривают как край стены, на котором не происходит передача изгибающих моментов и поперечных усилий.

Для стен, опирающихся по краям, опорные реакции от расчетной горизонтальной нагрузки по линии опоры допускается принимать как равномерно распределенные. Опорные закрепления могут создавать анкеры, настенные пилоны или плиты перекрытия и покрытия.

Коэффициент уменьшения сопротивления сжатого сечения стены Φ , учитывающий гибкость и эксцентриситет приложения нагрузки допускается определять при прямоугольной эпюре напряжений в сжатой зоне сечения элемента по выражению:

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t}$$

где: e_i – эксцентриситет приложения нагрузки

$$e_i = \frac{M_i}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0.05t = e_i^{\min}$$

M_i и N_i – расчетные значения изгибающего момента от горизонтальных нагрузок (при их наличии, например – ветровой);

e_{init} – случайный эксцентриситет, принимаемый со знаком, при котором абсолютное значение e_i увеличивается;

t – толщина стены.

Расчет элементов каменных и армокаменных конструкций по несущей способности при центральном и внецентренном сжатии.

Расчет таких элементов конструкций производят с учетом условий:

- сохранение плоскости поперечных сечений;
- значение относительных деформаций арматуры аналогичны значениям относительных деформаций каменной кладки;
- прочность каменной кладки при растяжении не учитывается;
- максимальные относительные деформации каменной кладки при сжатии принимаются соответственно для каменной кладки;
- максимальные относительные деформации стали при растягивающей нагрузке принимаются соответственно для арматурной стали;
- диаграмму деформирования каменной кладки принимают как параболическую, параболически-линейную или прямоугольную п. 7.6.1 (ТКП 45-5.03.-308-2017);
- диаграмму деформирования стали принимают согласно ТКП EN 1992-1-1;
- предельные значения относительной деформации каменной кладки при сжатии наиболее сжатой грани сечения ε_{mu} не превышают -0.0035 для изделий для каменной кладки группы 1 и -0,002 – для изделий каменной кладки группы 2.

Армирование горизонтальных швов кладки столбов, простенков и стен допускается применять только в случаях, если повышение прочности кладочных изделий и кладочных растворов не обеспечивают требуемое сопротивление кладки сжатию. И площадь поперечного сечения элемента не может быть увеличена.

Столбы и простенки, армированные в горизонтальных швах кладки выполняют из кладочных изделий группы 1 на кладочных растворах прочностью $f_m \geq 5 \text{ МПа}$ при высоте ряда кладки не более 150 мм. При этом должно соблюдаться условие $0,5 \leq \frac{b}{t} \leq 2$

где: b и t – размеры поперечного сечения столба или простенка в плане.

Проверку предельного состояния несущей способности производят при условии, что расчетные значения усилия, возникающего в элементе конструкции из армированной каменной кладки, E_d не превышает расчетное значение соответствующего сопротивления сечения элемента каменной конструкции.

$$E_d \leq R_d$$

Проверку предельного состояния несущей способности столба или простенка, армированного в горизонтальных швах кладки при действии преимущественно вертикальной нагрузки выполняют при расчетных значениях прочности при сжатии армированной каменной кладки f_{dr} :

$$R_d = \Phi \cdot t \cdot f_{dr}$$

где: t – площадь стены на 1 м.п. ее длины (в м²) или площадь поперечного сечения столба или простенка.

$$f_{dr} = f_d + 2\rho_m f_{yd} \left(1 - 2\frac{e}{y}\right) \leq 2f_d$$

где: f_d – расчетное значение прочности при сжатии неармированной каменной кладки;

ρ_m – коэффициент армирования каменной кладки;

f_{yd} – расчетное значение прочности на растяжение арматурной стали, является характеристическим значением прочности арматуры, установленным по пределу текучести для требуемой конструкции п. 7.1. (ТКП 45-5.03-308-2017);

e – эксцентриситет приложения нагрузки;

y – расстояние от центра тяжести сечения кладки для наиболее сжатой грани.

$$\rho_m = \frac{A_{sa}(a_1 + a_2)}{a_1 a_2 s} \geq 0.001 = \rho_m^{\min}$$

где: A_{sa} – площадь поперечного сечения одного стержня;

a_1 и a_2 – расстояние между стержнем арматурной сетки, принимаемое не более 120 мм и не менее 30 мм;

s – расстояние между сетками по высоте, принимаемое не более 450 мм.