

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Приоритетный национальный проект «Образование»
Национальный исследовательский университет**

С. С. ЗИМИН Л. И. ЧУМАДОВА

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И КОНСТРУКЦИИ**

КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2013

УДК 624.012.1/.2(075.8)
ББК 38.51я73

Зимин С. С. Строительные материалы и конструкции. Каменные материалы и конструкции: учеб. пособие / С. С. Зимин, Л. И. Чумадова – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 111 с.

Системно излагается классификация каменных изделий, а также растворов, применяемых в каменных конструкциях. Дается подробный анализ прочностных и деформационных характеристик составляющих каменной кладки – камня и раствора, а также непосредственно самой кладки. Приведены основы расчета каменных конструкций.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по основной образовательной программе «Технология, организация и экономика строительства» направления подготовки магистров «Строительство». Пособие может быть полезно в системах повышения квалификации, в учреждениях дополнительного профессионального образования.

Работа выполнена в рамках реализации программы развития
национального исследовательского университета «Модернизация
и развитие политехнического университета как университета нового
типа, интегрирующего мультидисциплинарные научные исследования
и надотраслевые технологии мирового уровня с целью повышения
конкурентоспособности национальной экономики»

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

© Зимин С. С., Чумадова Л. И., 2013

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2013

ISBN

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Изделия и материалы для каменной кладки.....	5
1.1. Каменные изделия для кладки.....	5
1.2. Строительные растворы.....	38
1.3. Общие требования к материалам для кладки.....	49
2. Механические свойства и характеристики каменной кладки.....	53
2.1. Работа каменной кладки при центральном сжатии.....	53
2.1.1. Напряженное состояние камня и раствора в швах при центральном сжатии кладки.....	53
2.1.2. Стадии работы кладки при центральном сжатии.....	56
2.1.3. Общая формула для расчета прочности кладки при центральном сжатии; прочностные испытания камня и раствора....	58
2.1.4. Влияние различных факторов на прочность и деформативность кладки при центральном сжатии.....	67
2.1.5. Деформационные характеристики кладки при центральном сжатии.....	78
2.1.6. Расчет кладки при центральном сжатии.....	83
2.2. Особенности работы и расчет кладки при внецентренном сжатии.....	87
2.3. Особенности работы и расчет кладки при местном сжатии...	92
2.4. Особенности работы и расчет кладки при центральном растяжении, изгибе и срезе.....	95
2.4.1. Сцепление кирпича и раствора.....	95
2.4.2. Центральное растяжение кладки.....	99
2.4.3. Срез кладки.....	103
2.4.4. Изгиб кладки.....	105
Библиографический список.....	108

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие состоит из двух разделов.

В первом разделе рассматриваются изделия и материалы, применяющиеся для каменной кладки. Основное внимание уделяется физико-механическим свойствам, а также методам производства определенных изделий и материалов; отдельное внимание уделено технологии ведения кладки. Рассматриваются как естественные, так и искусственные камни. Дается классификация изделий по различным критериям (по теплопроводности, средней плотности и т.п.). Дается классификация и анализ свойств растворов, а также добавок к ним. Приведена методика определения состава строительного раствора.

Во втором разделе рассматриваются механические свойства и характеристики каменной кладки. Основное внимание уделяется механизмам разрушения кладки при силовых воздействиях.

Учитывая, что каменная кладка, в основном, применяется в конструкциях, работающих на сжатие, наибольший акцент сделан именно на анализ прочности и деформативности кладки при данном воздействии. Рассмотрено напряженно-деформированного состояния отдельных камней и раствора в кладке, а также стадии работы кладки при центральном сжатии. Опираясь на механизмы разрушения кладки и ее составляющих, приведена основная формула для расчета прочности кладки при центральном сжатии с подробным анализом всех параметров, в нее входящих, а также описанием методик их определения в соответствии с действующими ГОСТ-ами. Проанализировано влияние различных факторов на прочность и деформативность кладки, таких как: толщина шва, система перевязки, длительность приложения нагрузки, тип раствора и камня, масштабный фактор и др.

Кроме этого, рассмотрены особенности работы кладки при внецентренном сжатии, местном сжатии, растяжении, изгибе и срезе. Учитывая, что на сопротивление указанным воздействиям большое влияние оказывает сцепление раствора с кирпичом, данному явлению уделено отдельное внимание. В конце каждого из разделов, посвященного анализу сопротивляемости кладки определенному виду воздействия, приведены основные расчетные формулы в соответствии с действующим СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции».

1. ИЗДЕЛИЯ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

1.1. Каменные изделия для кладки

Изделия из природного камня в настоящее время применяют не часто – в основном, в районах, где камень является местным материалом и добыча и обработка его не представляет больших трудностей. Для возведения фундаментов и колонн возможно использовать блоки и гальку (для бутовой кладки) глубинных магматических пород.

Бутовая кладка

Бутовой кладкой называется кладка из природных камней, имеющих неправильную форму, с двумя примерно параллельными поверхностями (постелями). К природным камням, пригодным для кладки, относят известняк, песчаник, ракушечник, туф, гранит, а также булыжный камень для возведения фундаментов зданий высотой до двух этажей.



Рис. 1.1. Бутовая кладка

Используемые в строительстве бутовые камни обычно имеют массу до 30 кг. Камни больших размеров предварительно раскалывают на более мелкие. Этот процесс называется плинтовкой. Одновременно с плинтовкой скалывают острые углы камней, делают так называемую приколку камней, подгоняя их форму под параллелепипед. Для плинтовки камней применяют прямоугольную кувалду массой около 5 кг, а для обработки камней — молоток-кулачок массой 2,3 кг, которым скалывают острые углы. Этим же молотком осаживают и расщепляют бутовый камень при кладке. В бутовой кладке используют те же инструменты, что и в кирпичной.

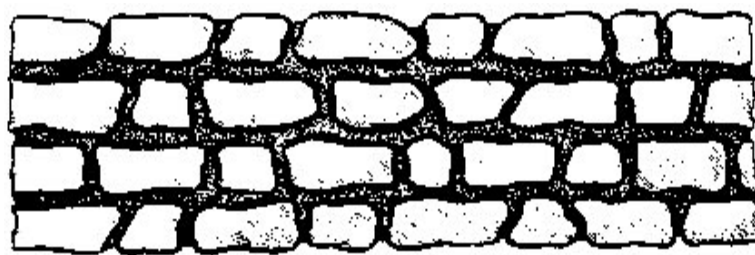


Рис. 1.2. Конструкция бутовой кладки

При бутовой кладке трудно достигнуть такой тщательной перевязки, как при кладке из кирпича, так как камни не имеют правильной формы и неодинаковы по размерам. Поэтому подбор и расположение камней в верстовых рядах и в забутке (пространство между внутренним и наружным рядами) кладки делают для обеспечения перевязки таким образом, чтобы при возведении стен камни можно было укладывать попеременно: то длинной стороной — ложками, то короткой — тычком.

Следовательно, в каждом ряду кладки последовательно чередуются тычковые и ложковые камни, как в верстах, так и в забутке. В смежных рядах над тычковыми укладывают ложковые камни, а над ложковыми — тычковые. Таким способом обеспечивают перевязку швов бутовой кладки, которая аналогична цепной перевязке при кладке из кирпича. Также раскладывают камни в рядах при пересечении и в углах стен.

Камни при кладке подбирают и подгоняют так, чтобы по возможности создать одинаковую высоту ряда кладки в пределах от 20 до 25 см и горизонтальность швов. При этом можно укладывать по 2-3 тонких камня в одном ряду кладки, а некоторые крупные камни могут входить в 2 смежных ряда кладки. Бутовую кладку выполняют «под лопатку», «под скобу» и «под залив».

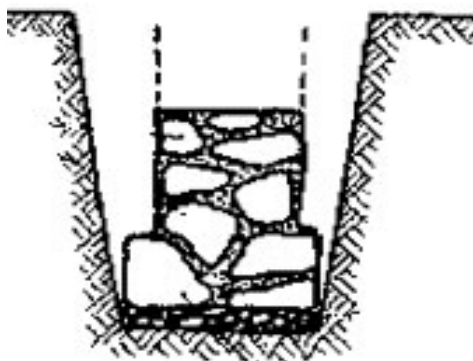


Рис. 1.3. Бутовая кладка в разрезе

Кладку под «лопатку» выполняют горизонтальными рядами толщиной по 25 см с подбором и приколкой камней, расщебенкой (заполнением) пустот и перевязкой швов.

Первый нижний ряд укладывают по подготовленному основанию насухо из крупных постелистых камней, обращенных постелью вниз. Чтобы камни плотно прилегали к основанию, их осаживают трамбовкой. Затем заполняют пустоты между ними мелкими камнями или щебнем и заливают жидким раствором (при осадке конуса 13-15 см) до заполнения всех пустот между камнями. Расщебенку уплотняют также трамбованием. Далее кладку ведут порядно, соблюдая перевязку. Подвижность раствора для кладки должна соответствовать погружению эталонного конуса на 4-6 см.

Процесс кладки способом «под лопатку» выполняют в следующем порядке. Каждый последующий ряд начинают с укладки верст. Перед возведением внутренней и наружной версты на углах, пересечениях и через каждые 4-5 м на прямых участках стены укладывают на растворе маячные камни. По маячным камням (камень предотвращающий провисание причалки) с обеих сторон кладки натягивают причалки (шпагаты), по которым в процессе кладки проверяют горизонтальность ряда и прямолинейность лицевой поверхности фундаментов и стен. Камни для верстовых рядов, подобранные по высоте, сначала выкладывают насухо, чтобы найти наиболее устойчивое положение в кладке. Затем камень приподнимают, настилают слой раствора толщиной 3-4 см и устанавливают камень окончательно, осаживая его молотком. Уложив версты, приступают к заполнению забутки.

Раствор под забутку, как и для верстовых рядов, подают лопатой и расстилают с излишком, чтобы при укладке камней он выдавливался в вертикальные швы между камнями. Забутку можно делать из камней любых размеров и формы с плотной посадкой (без качания) на постель и с соблюдением перевязки, чередуя тычки с ложками. Для более плотной посадки камни осаживают трамбовкой или молотком.

Цельные камни крупных размеров выкладываются по углам здания и в середине стены. В остальных местах используются средние и мелкие камни или осколки больших валунов. При возведении стен природный камень можно чередовать с керамическим кирпичом или искусственным камнем, при этом следует выбирать одинаковые оттенки этих строительных мате-

риалов. Сочетая разные виды данного строительного материала, очень удобно производить перевязку стены: она может быть вертикальной и горизонтальной.

Необходимо следить за тем, чтобы камни не соприкасались друг с другом без раствора, так как это значительно снижает прочность кладки. После укладки забутки выполняют расщебенку кладки, осаживая в раствор слабыми ударами молотка щебень и мелкие камни. Поверхность уложенного ряда кладки выравнивают, добавляя раствор лишь в углубления между камнями. Следующие ряды кладки выполняют в той же последовательности.

Кладку в опалубке способом «под лопатку» выполняют для получения гладкой поверхности обеих сторон стены при малопостелистом и неровном бутовом камне. В этом случае подбор более постелистых камней для верстовых рядов и углов можно не делать.

Кладку «под скобу» используют при возведении простенков и столбов. Эта кладка — разновидность кладки «под лопатку», и ее выполняют из камней одинаковой высоты, подбираемых с помощью шаблона.

Кладка с приколкой лицевой поверхности также разновидность кладки «под лопатку». При выполнении этой кладки неровности на лицевой поверхности камней, укладываемых в наружную или внутреннюю версту, предварительно окалывают. С приколкой лицевой поверхности обычно выкладывают столбы и стены подвалов.

Кладку «под залив» выполняют из рваного бутового или булыжного камня без подбора камней и выкладки верстовых рядов. Кладку «под залив» делают в опалубке, которую устанавливают в траншеях после окончания земляных работ. Если грунт плотный, то при глубине траншей до 1,25 м можно вести кладку и без опалубки враспор со стенками траншеи. Первый слой бутового камня высотой 20-25 см укладывают на сухое основание без раствора враспор со стенками и уплотняют трамбованием. Затем заполняют все промежутки между камнями мелким камнем и щебнем. Уложенный слой заливают жидким раствором так, чтобы все пустоты были заполнены. Последующую кладку ведут таким же образом горизонтальными рядами высотой 20-25 см, заливая раствором каждый ряд кладки.

Бутовая кладка «под залив» вследствие малой ее прочности допускается только для фундаментов зданий высотой до 10 м и только при строительстве на непросадочных грунтах.

Кладка с применением виброуплотнения имеет прочность на 25-40% больше прочности кладки, выполненной способом «под лопатку». Камни укладывают в такой последовательности: 1-й ряд — насухо, пустоты между камнями заполняют щебнем, а затем расстилают раствор слоем 40-60 см и уплотняют кладку до тех пор, пока раствор не перестанет проникать в кладку. Далее укладывают на растворе следующий ряд камня способом «под лопатку», покрывают его раствором и вновь уплотняют. Такая кладка делается в опалубке или враспор со стенками траншей в плотных грунтах.

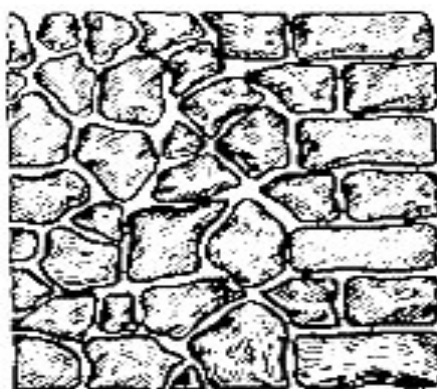


Рис. 1.4. Циклопическая кладка

Циклопическая кладка применяется, когда требуется создать декоративную поверхность. Для этого бутовую кладку выполняют способом «под лопатку», а для лицевой поверхности кладки применяют специально подобранные камни, располагая их в вертикальных рядах так, чтобы создать рисунок из швов между ними.

Эти швы делают также выпуклыми (шириной 2-4 см) и расшивают их. Иногда для кладки углов при этом используют грубо отесанные камни, укладывая их вперевязку с кладкой стены. Применяют также циклопическую облицовку обычной бутовой кладки постелистыми камнями после возведения кладки.

Кладка стен из блоков природного камня

Из мягких известняков, известняков ракушечников и вулканических туфов выпиливают крупные блоки и применяют в качестве основного стенового материала. В зависимости от прочностных свойств камня здания

возводят не высокой этажности от 4-х и до 9-ти этажей. В качестве примера можно привести использование стеновых блоков из арктического туфа в зданиях Армении, из известняка ракушечника в зданиях городов Одессы, Керчи и др. Кладку стен из таких блоков ведут так же, как из бетонных камней (рассказ об этом будет ниже). Как правило, такие стены не подвергают оштукатуриванию, и природная красота камня делает эти здания самобытными. Использование природного камня наложило определенный отпечаток на архитектуру этих городов. Наиболее широко природные каменные материалы используются в качестве отделочного материала, незаменимого по красоте и монументальности в облицовке фасадов зданий и их интерьеров. Разнообразие структуры, текстуры и окраски отделочных камней раскрывает перед архитекторами большие творческие возможности. Применяют природные каменные материалы для отделки цоколей, пилонов, ступеней и полов в зданиях общественного назначения.

Кладка стен из керамических и силикатных материалов

Несравненно более широко и повсеместно для возведения стен используют изделия из керамических и силикатных материалов. Из керамических материалов не удастся изготовить крупноразмерных блоков. Для повышения прочности керамических изделий необходимо проведение высокотемпературного обжига. Неравномерность распределения температур в керамических изделиях в процессе их обжига приводит к растрескиванию крупных изделий. В связи с этим керамические изделия носят мелко-размерный характер. Это разных видов керамический кирпич и камень.

Керамические изделия для кладки

Керамический кирпич и камень изготавливают двумя способами: экструзией (выдавливанием) и прессованием, т.е. пластический и полусухой способы производства. Основное различие этих методов заключается в подготовке сырьевой массы. Для изготовления экструзионных изделий необходимо использовать жирную глину (с большим количеством тонких частиц). Жирная глина имеет большую водоудерживающую способность. Ее влажность обычно колеблется в пределах 17-20%. Привезенную из карьера глину измельчают гребенками, смешивают с песком (до 20%) и выгорающими добавками (каменноугольная пыль, древесные опилки, торфя-

ная крошка до 20%). Очень важный этап технологии – выдерживание смеси на складе до 10 дней и более для усреднения влажности. В последующем из этой смеси на ленточном прессе формуют непрерывный брус (ленту), которую нарезают стальной струной на отдельные изделия (кирпич, камень). Изделия формуют несколько большего размера в расчете на воздушную усушку и огневую усадку. После нарезки бруса на изделия их штабелируют и направляют на сушку в камерные или туннельные сушилки.

Камерные сушилки циклического действия представляют собой помещения, в которые загружают вагонетки с кирпичом-сырцом, проводят процесс сушки в течение 24 ч при температуре 1000 С, а затем выгружают. Процесс повторяют со следующими порциями кирпича. Изделие после сушки до обжига называют сырцом. Туннельные сушилки непрерывного действия представляют собой длинный туннель металлический или бетонный с рельсами внизу, по которым непрерывно перемещается из одного конца к другому состав вагонеток с кирпичом-сырцом. Для удаления влаги из кирпича по сушилке продувают сухой горячий воздух. После сушки кирпич направляют на обжиг.

Обжиг проводят в туннельных или камерных печах в течение 24 ч при температуре 12000 С. Полнотелый кирпич труднее сушить и обжигать, т.к. он может покорежиться и получить трещины. Кирпич должен быть нормально обожжен. Как недожженный, так и пережженный кирпич применять для кладки стен нельзя. Недожженный кирпич (алый) имеет недостаточную прочность и пониженную морозостойкость. Пережженный (железняк) – обычно имеет не только повышенную прочность, но и повышенную теплопроводность вследствие спекания массы и обычно неправильную форму за счет деформации. После обжига изделие считают готовым, складывают на европоддоне, обвязывают стальной лентой и упаковывают в полиэтиленовую пленку. Последняя технологическая операция – усадка пленки в специальной камере.

Если в качестве сырья используют тощую глину (в глине мало тонких частиц и уже присутствует песок в качестве отощающей примеси), то формование изделий проводят в более мощных револьверного типа прессах (давление до 15 МПа). Тощие глины имеют малую водоудерживающую способность (8 – 12%). Остальные этапы технологического процесса изготовления кирпича мало отличаются.

Использование жирных глин позволяет получить более промешанную и однородную смесь, что дает большую прочность кирпича на изгиб, однако, надо удалять при сушке вдвое больше воды, больше усадка при сушке и обжиге, труднее выдержать нужные размеры. При возможности использовать тощие глины – шире сырьевая база, экономия топлива на сушке.

Керамические кирпич и камень используют для кладки и облицовки несущих и самонесущих стен. Лицевые изделия используют для кладки облицовочного ряда. Каждая грань кирпича имеет свое название: самая большая и широкая грань называется постель, узкая и длинная – ложок, самая маленькая грань называется тычок.

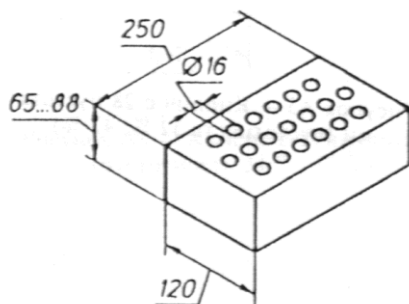
Прикладке стен кирпич кладут на постель ложком или тычком к фасаду. Существует несколько рисунков кладки. Задача заключается в том, чтобы заставить работать на излом не шов между кирпичами, а кирпичную кладку, т.е. сделать «перевязку швов». Если толщина стены состоит из двух длин кирпича, то говорят, что стена сложена в два кирпича. Кирпич готовят полнотелым (без пустот) и с пустотами несквозными (глухими), сквозными, вертикальными и горизонтальными. Кирпич с глухими пустотами (пятистенный) укладывают в кладку на постель пустотами вниз. Так достигается несколько целей: экономия материала, уменьшение веса и давления на фундамент, улучшение теплоизоляционных свойств. Камень полнотелым не бывает.

Кирпич и камень производят следующих размеров, мм:

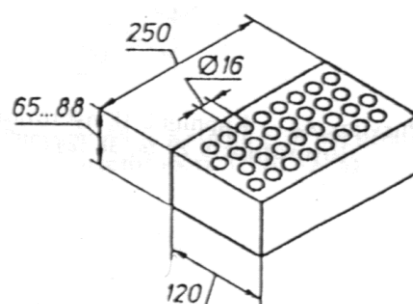
одинарный	250 × 120 × 65
евро	250 × 85 × 65
утолщенный	250 × 120 × 88
модульный	288 × 138 × 65
с горизонтальными пустотами	255 × 120 × 88

Камни керамические выпускают следующих размеров, мм: 250 × 120 × 140, 288 × 288 × 88, 288 × 138 × 140, 288 × 138 × 88, 250 × 250 × 140, 250 × 180 × 140.

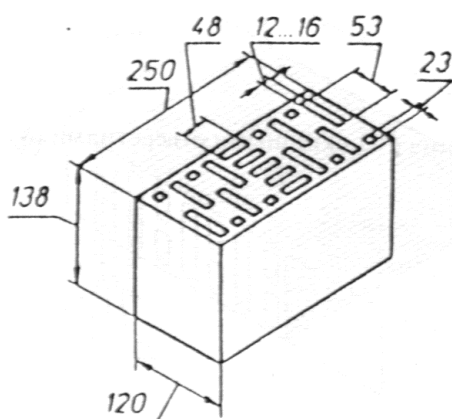
Выпускают камни крупноформатные с размерами (250-510) × (180-250) × (140-219) мм.



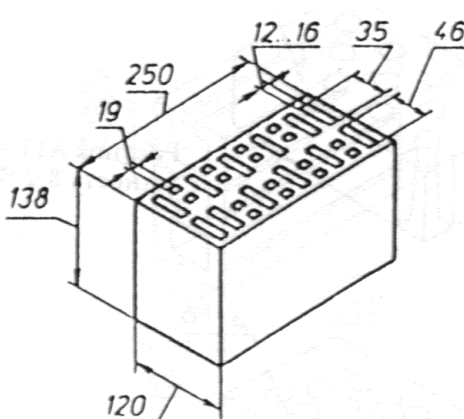
Кирпич с 19 пустотами



Кирпич с 32 пустотами



Камень с 21 пустотами



Камень с 28 пустотами

Рис. 1.5. Форма и размеры экструзионных изделий

В связи с тем, что кирпич является не только конструктивным материалом, но и отделочным, так как кирпичную кладку часто не покрывают штукатурным раствором, то внешний вид и отклонения от номинальных размеров изделия регламентируются стандартом. Керамический кирпич в последние годы готовят разного цвета окрашенный в массе от цвета слоновой кости и соломы до красного и темно-коричневого. Изменение цвета осуществляют применением светложущихся глины и красителей. Красителями, которые вводят в сырье, могут быть различные руды (медная, марганцевая, кобальтовая и другие). Фактура ложка и тычка лицевого кирпича может быть: гладкой, шероховатой, антик, колотой и даже покрытой ангобом или глазурью. Ангоб – покрытие из цветной глины, которое наносится на ложок и тычок в процессе формования. Ангоб и основная масса кирпича выполнены из глины, поэтому имеют сходную теплопроводность и поэтому ангоб не откалывается в процессе обжига и эксплуатации. Глазурь представляет собой стекловидное покрытие. В процессе эксплуатации ино-

гда наблюдается отслоение глазури. Окрашивание кирпича в массу делает сколы, получаемые в процессе перегрузки и кладки, малозаметными. В процессе кладки шов между кирпичами расширяется, т.е. придают опрятный вид, делая поверхность шва ровной, выпуклой или вогнутой.

Недожженный, пережженный и с известковыми включениями кирпич считается браком.

По прочности при сжатии и изгибе полнотелый кирпич и кирпич с вертикальными пустотами может иметь марки: М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300. Кирпич с горизонтальными пустотами может иметь марки: М25, М35, М50, М75, М100.

Водопоглощение рядовых изделий должно быть не менее 8%. По водопоглощению изделий судят о пористости и теплопроводности. Чем выше водопоглощение кирпича, тем выше его пористость и теплоизоляционные свойства.

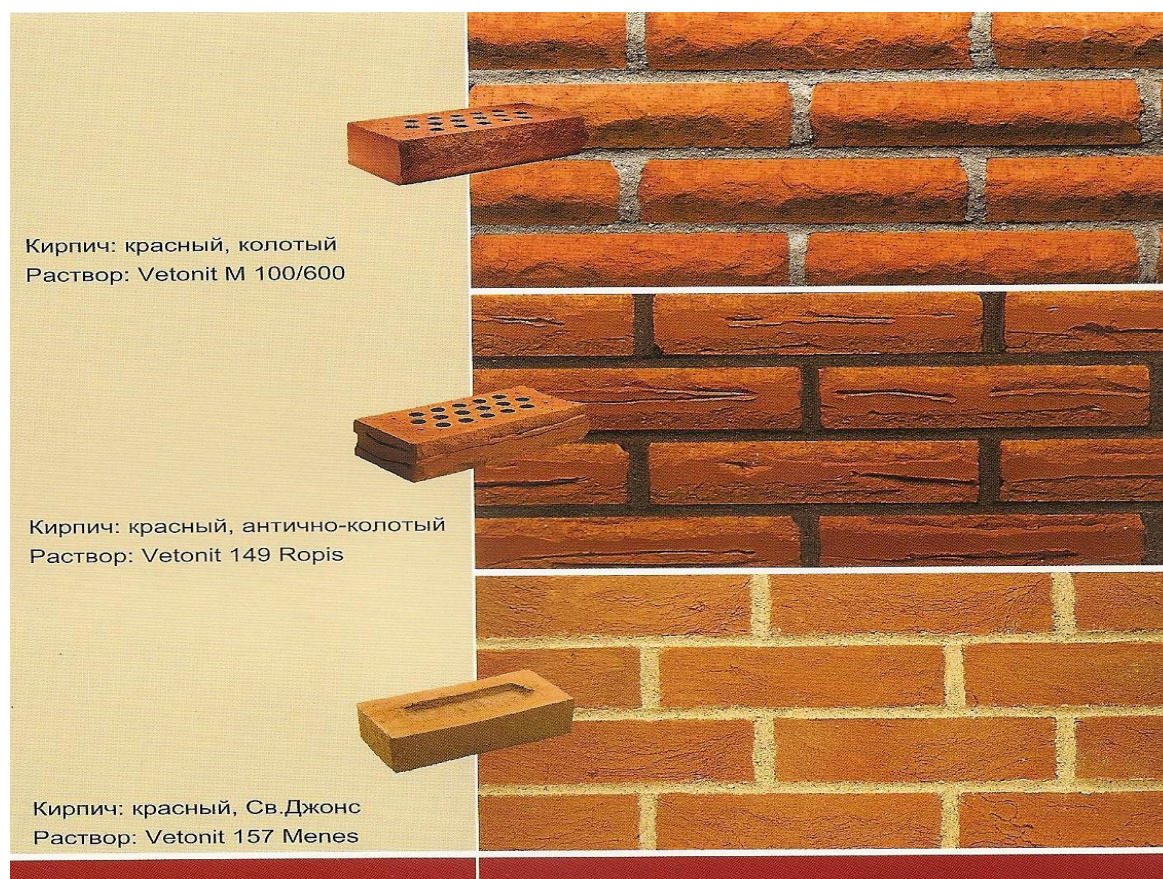


Рис. 1.6. Пример кладки лицевого кирпича разной фактуры

Морозостойкость кирпича оценивается по снижению прочности образцов, насыщенных водой и выдержавших заданное количество циклов попеременного замораживания и оттаивания. Выдержавшим испытания считается кирпич, прочность которого снизилась не более 5% по сравнению с изделием, не подвергнутым испытанию на морозостойкость. Марки по морозостойкости: F25, F35, F50, F75 и F100.

По средней плотности керамические изделия подразделяются на пять классов.

Таблица 1.1

Классы стеновых изделий по средней плотности

Класс	Средняя плотность, кг/м ³
0,8	До 800
1,0	801 – 1000
1,2	1001 – 1200
1,4	1201 – 1400
2,0	Свыше 1400

По теплопроводности изделия подразделяются также на пять групп.

Таблица 1.2

Группы по теплопроводности

Группа	Теплопроводность кладки, Вт/(м ⁰ С)	Класс по средней плотности
Высокой эффективности	Менее 0,20	0,8
Повышенной эффективности	0,20 – 0,24	1,0
Эффективные	0,24 – 0,36	1,2
Условно – эффективные	0,36 – 0,46	1,4
Малоэффективные (обыкновенные)	Свыше 0,46	2,0

Силикатные изделия для кладки

Не менее распространенными изделиями для кладки конструкций являются и силикатный кирпич и камень. Эти изделия изготавливаются из песка и глины, поэтому второе название этих материалов – известково-песчаные. Песок подвергают рассеву на виброгрохоте. Используют только мелкие фракции песка. Молотый кварцевый песок вводят для повышения прочности кирпича. Молотую негашеную известь измельчают в шаровых

мельницах и затем подвергают гашению. По способу гашения извести различают силосный и барабанный методы производства силикатного кирпича. При силосном методе готовят смесь: 92-95% кварцевого песка, 5-8% извести и 7-9% воды от массы твердых компонентов и направляют ее в силосы. В силосах смесь непрерывно перемешивают от 7 до 12 ч. В силосах происходит гашение извести. Перемешивание позволяет снимать слои погасившейся извести и обнажать еще не погашенную центральную часть зерна. Задача заключается в том, чтобы не оставить не погасившихся частиц извести. При барабанном методе сухой песок и известь направляют в гидратор-гасильный вращающийся барабан, в который подают пар под давлением. В гидраторе в течение 40 мин происходит предварительное гашение извести, а дальнейшее гашение извести и корректирование влажности смеси производят в смесителе. В результате получается тщательно перемешанная смесь, в которой каждая песчинка покрыта слоем гашеной извести. Подготовленную смесь направляют на прессование на револьверных прессах при давлении 15 МПа. Отформованный кирпич-сырец укладывают на вагонетки, которые поставляют в автоклав. Автоклав представляет собой длинный стальной цилиндр диаметром 2 и более метров. В нижней части цилиндра проложены рельсы, по которым вагонетки с кирпичом заполняют автоклав. С торцов автоклав герметически закрывается крышками. В автоклав подают пар под давлением 0,8-1,2 МПа и температуре 175 °С. Кирпич выдерживают в автоклаве от 10 до 16 ч. При действии пара высокого давления и температуры в автоклаве происходит химическая реакция между известью и кремнеземом песка, в результате чего зерна песка связываются в камень гидросиликатом и гидрооксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, перекристаллизованным из аморфного состояния. Процесс химического взаимодействия происходит только на поверхности зерен песка. Образуются низкоосновные гидросиликаты кальция состава $x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Основность образующихся гидросиликатов (CaO/SiO_2) изменяется в пределах от 0,8 до 1,5 и более. Прочность и долговечность кирпича определяется количеством, основностью и микроструктурой гидросиликата кальция. Это можно регулировать составом сырьевой смеси, дисперсностью частиц и режимом тепловлажностной обработки. Прочность силикатного кирпича может повышаться и после тепловой обработки за счет карбонизации гидрооксида кальция за счет взаимодействия с CO_2 воздуха:

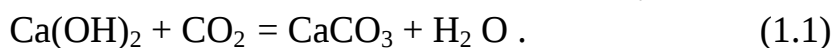




Рис. 1.7. Конструкция многослойной стены

Силикатный кирпич готовят полнотелым и с несквозными пустотами. Силикатный камень – только с пустотами. Пустоты должны располагаться перпендикулярно постели. Одинарный кирпич имеет размеры 250х120х65 мм, утолщенный кирпич имеет толщину – 88 мм. Камень имеет размеры 250х120х138 мм. Сегодня кирпич используют в качестве лицевого слоя в многослойных стенах.

Прочность кирпича определяют испытанием при изгибе и сжатии, а камня только при сжатии. Марки изделия по прочности: 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250 и 300. Марки по морозостойкости: F15, F25, F35, F50. Выдержавшим испытание на морозостойкость считается кирпич, прочность которого снизилась не более чем на 25% от прочности рядового кирпича, не подвергавшегося испытанию на морозостойкость и не более чем на 20% для лицевого. Водопоглощение изделия должно быть не менее 6%.

По плотности изделия бывают пористыми, если средняя плотность менее 1500 кг/м³ и плотными при плотности более 1500 кг/м³. Теплопроводность – 0,70-0,75 Вт/(м⁰С). Силикатный кирпич готовят естественного окраса и окрашенным в массу. Кирпич выпускают 9-ти цветов.

Лицевой кирпич имеет две лицевые грани: ложок и тычок. В отличие от керамического кирпича цвет силикатного кирпича менее долговечен и несколько отличается в разных партиях. По этой причине кладку стен ведут, используя по несколько кирпичей от каждой партии.

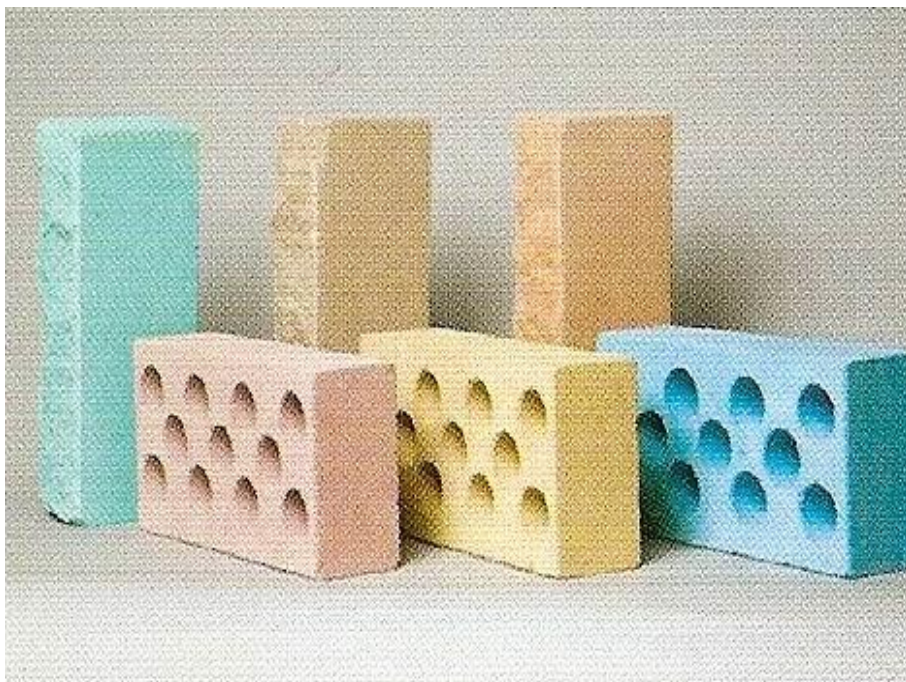


Рис. 1.8. Силикатный кирпич

Комбинируя кирпич по цвету и фактуре можно получать интересные архитектурные решения. Сочетание гладкой и колотой поверхности силикатного кирпича цвета беж позволило архитектору В. В. Арсеньеву создать фасад офисного здания похожим на древний рыцарский замок.



Рис. 1.9. Ювелирный Дом "Ананов"

Основная характеристика изделия указывается в его условном обозначении. Рассмотрим пример условного обозначения кирпича.

Кирпич силикатный одинарный рядовой марки по прочности 150, марки по морозостойкости F15:

Кирпич СОР-150/15, ГОСТ 379-95 .

В отличие от керамического кирпича силикатный нельзя применять для кладки фундаментов из-за пониженной водостойкости и для кладки печей, так как при повышенной температуре кирпич разрушается вследствие дегидратации гидросиликатов и гидрооксидов кальция.

Кирпичная кладка. Система перевязки кладки

Система перевязки – это порядок укладки кирпичей (камней) в кладке относительно друг друга в соответствии с правилами разрезки кладки.

Различают перевязку вертикальных, продольных и поперечных швов. Продольные швы перевязывают для того, чтобы кладка не расслаивалась вдоль стены на более тонкие стенки и чтобы напряжения в кладке от нагрузки равномерно распределялись по ширине стены. Перевязка поперечных швов необходима для продольной связи между отдельными кирпичами, обеспечивающей распределение нагрузки на соседние участки кладки и монолитность стен. Это защищает стену при неравномерных осадках, температурных деформациях и т. п. Перевязку поперечных швов выполняют ложковыми и тычковыми рядами, а продольных – тычковыми.

Основные системы перевязки кирпичной кладки стен – однорядная (цепная), многорядная, трехрядная, перевязка. Цепную перевязку применяют при кладке стен. Если лицевой слой стен выкладывают из облицовочного или другого эффективного кирпича, цепную перевязку используют только при соответствующем указании в проекте.

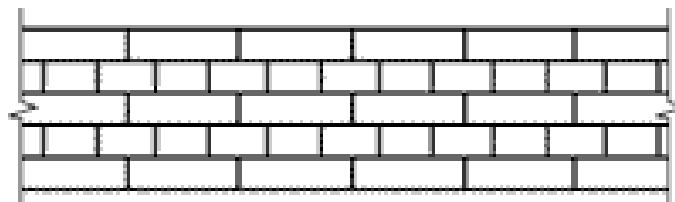


Рис. 1.10. Однорядная (цепная) перевязка

При многорядной перевязке кладка состоит из отдельных стенок толщиной в 1/2 кирпича (120 мм), сложенных из ложков и перевязанных

через несколько рядов по высоте тычковым рядом. В зависимости от размеров кирпича установлена максимальная высота ложковой кладки между тычковыми рядами для различных видов кладки: из одинарного кирпича толщиной 65 мм – один тычковый ряд на шесть рядов кладки; из утолщенного кирпича толщиной 88 мм – один тычковый ряд на пять рядов кладки.

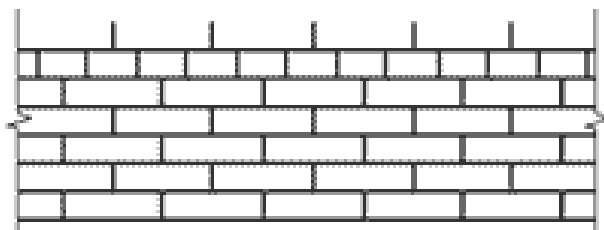


Рис. 1.11. Многорядная перевязка

При многорядной перевязке кладки из одинарного кирпича продольные вертикальные швы через каждые пять ложковых рядов перекрываются тычковым. Иногда с целью усиления перевязки тычковые ряды укладывают через три ложковых. При многорядной системе перевязки не полностью соблюдается третье правило разрезки кладки. Однако отсутствие перевязки продольных швов на высоту пяти рядов кладки практически не снижает ее прочности, в то же время вследствие большого термического сопротивления этих швов, расположенных на пути теплового потока, улучшаются теплотехнические показатели кладки. Многорядная система перевязки рекомендуется как основная при возведении стен, в том числе и облицовываемых другими видами кирпича. Многорядную систему перевязки не допускается применять для кладки столбов, так как из-за неполной перевязки швов они будут недостаточно прочными. Столбы и простенки шириной до 1 м следует выкладывать по трехрядной системе.

Инструменты и приспособления

Каждую рабочую операцию в процессе кладки выполняют определенными инструментами. Основные из них кельма, растворная лопата, расшивка, молоток-кирочка.



Рис. 1.12. Кельма (ГОСТ 9533-81) – стальная лопатка с деревянной ручкой; предназначена для разравнивания раствора, заполнения раствором вертикальных швов и подрезки лишнего раствора

Растворная лопата (ГОСТ 3620-76) служит для подачи раствора на стену и расстилания его там. Лопатой также перемешивают раствор и выравнивают под забутку.

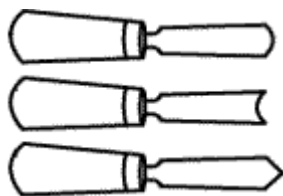


Рис. 1.13. Расшивками (ГОСТ 12803-76) придают швам выпуклую или вогнутую форму

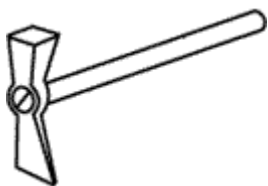


Рис. 1.14. Молоток-кирочка (ГОСТ 11042-83) используется при рубке кирпича

Швабровка предназначена для очистки вентиляционных каналов от выступившего из швов раствора, а также для заполнения швов раствором и заглаживания их. На стальной ручке швабровки внизу закреплена между фланцами резиновая пластина размером 140x140x10 (12) мм, которая является рабочим органом.

Качество кладки проверяют контрольно-измерительным инструментом: отвесом, рулеткой, складным метром, уровнем, правилом, угольником, шнуром-причалкой.

Отвесы (ГОСТ 7948-80) служат для проверки вертикальности стен, простенков, столбов и углов кладки

Строительный уровень (ГОСТ 9416-83) применяют для проверки горизонтальности и вертикальности кладки. Корпус уровня – из алюминиевого сплава, длина уровня 300, 500 или 700 мм. На корпусе укреплены две стеклянные трубки-ампулы 1 и 2, наполненные незамерзающей жидкостью так, что в них остается небольшой воздушный пузырек. При горизонтальном положении уровня пузырек, поднимаясь вверх, останавливается посередине между делениями ампулы. Смещение пузырька влево или вправо от этого положения показывает, что поверхность, на которую установлен уровень, не горизонтальна, и чем больше ее наклон к горизонту, тем больше смещается пузырек от среднего положения. Благодаря тому, что трубки расположены в двух направлениях, уровнем, можно проверять не только горизонтальные, но и вертикальные плоскости.



Рис. 1.15. Правило

Правило представляет собой деревянную рейку сечением 30х80 мм, длиной 1,5-2 м или дюралюминиевую рейку специального профиля длиной 1,2 м. Дюралюминиевой рейкой проверяют лицевую поверхность кладки. Деревянный угольник 500х700 мм применяют для проверки прямоугольности закладываемых углов.

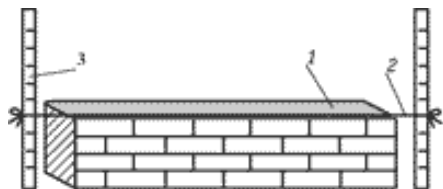


Рис. 1.16. Фрагмент кладки:

1 – раствор, 2 – шнур-причалка,
3 – порядовка

Шнур-причалка – крученный шнур толщиной 3 мм, который натягивают при кладке верст между порядовками и маяками. Маяк – кирпич, положенный временно, для предотвращения провисания шнура. Шнуром-причалкой пользуются как ориентиром для обеспечения прямолинейности и горизонтальности рядов кладки, а также одинаковой толщины горизонтальных швов. С помощью шнура-причалки каменщик определяет, какое положение должен иметь каждый укладываемый кирпич в версте.

Деревянная порядовка – это рейка 1 сечением 50х50 или 70х50 мм и длиной до 1,8...2 м, на которой через каждые 77 мм нанесены деления (засечки) соответственно толщине ряда кладки. В размер 77 мм входят высота кирпича (65 мм) и толщина шва (12 мм). Порядовки применяют для разметки рядов кладки, фиксирования отметок низа и верха оконных и дверных проемов, перемычек, прогонов, плит перекрытий и других элементов здания.

К наружной поверхности стен порядовки устанавливают таким образом, чтобы стороны, на которых размечены ряды кладки, были обращены внутрь здания (в сторону каменщика). Порядовку крепят к кладке П-образными стальными держателями, в виде скоб с поперечной планкой. Делают это следующим образом. В горизонтальные швы по ходу кладки через каждые 6...8 рядов по высоте вводят скобы-держатели, располагая их один над другим. Скобы должны войти в стену своими концами и поперечной планкой. Уложив над вторым держателем один-два ряда кирпичей, в скобы вставляют порядовку и закрепляют ее деревянными клиньями. К порядовкам зачаливают шнур-причалку, по которому ведут кладку. Инвентарные порядовки делают также из металлического уголкового профиля 60х60х5 мм. На ребрах уголка порядовки нарезают деления глубиной 3 мм

через каждые 77 мм или просверливают отверстия для закрепления шнура-причалки.

Способы и последовательность кладки

Способы кладки. Производительность труда каменщиков зависит от способов укладки кирпича и умения применить их при работе на различных растворах. Кладку верст ведут тремя способами: вприжим; вприсык; вприсык с подрезкой раствора.

Кладку забутки ведут в полуприсык. Выбор способа зависит от пластичности раствора, состояния кирпича (сухой или влажный), времени года и требований к чистоте лицевой стороны кладки. Способом вприжим выкладывают стены из кирпича на жестком растворе (осадка конуса 7...9 см) с полным заполнением и расшивкой швов. Этот способ применяют для кладки как ложковых, так и тычковых верст. Кладка получается прочной с заполненными раствором швами, плотной и чистой. Однако этот способ считается наиболее трудоемким, так как рабочий выполняет большее количество движений, чем при других способах.

Способом вприсык ведут кладку на пластичных растворах (осадка конуса 12...13 см) с неполным заполнением швов раствором по лицевой стороне стены, т. е. впустошовку. Для укладки кирпича способом вприсык раствор расстилают грядкой с отступом от наружной вертикальной поверхности стены на 20...30 мм, чтобы при кладке раствор не выжимался на лицевую поверхность кладки. В сейсмических районах укладка кирпичей в верстовых рядах способом вприсык не допускается.

Способ вприсык с подрезкой раствора применяют при возведении стен с полным заполнением горизонтальных и вертикальных швов и с расшивкой швов. При этом раствор расстилают так же, как и при кладке вприжим, то есть с отступом от стены на 10...15 мм, а кирпич укладывают на постель так же, как при кладке вприсык. Избыток раствора, выжатый из шва на лицо стены, подрезают кельмой, как при кладке вприжим. Раствор применяют более жесткий, чем для кладки без подрезки подвижностью 10...12 см.

Виды расшивки швов. Для придания наружной поверхности кладки четкого рисунка и уплотнения раствора в швах их расшивают. В этом случае кладку ведут с подрезкой раствора, а швам придают различную форму – прямоугольную заглубленную, с выпуклостью наружу или вогнутую

внутри, треугольную двухсрезную, применяя расшивки с рабочей частью различных очертаний. Вогнутыми расшивками швам придают выпуклую форму, расшивками круглого сечения – вогнутую. Швы расшивают до схватывания раствора, так как в этом случае процесс менее трудоемок, а качество швов лучше. Предварительно поверхность кладки протирают ветошью или щеткой от набрызгов раствора, затем расшивают вертикальные швы (6...8 тычков или 3...4 ложка), после чего – горизонтальные. Последовательность кладки. Укладку рядов кирпича начинают с наружной версты. Кладку любых конструкций и их элементов (стен, столбов, обрезов, напусков), а также укладку кирпича под опорными частями конструкций независимо от системы перевязки начинают и заканчивают тычковым рядом. Тычковые ряды в кладке укладывают из целых кирпичей. Независимо от принятой системы перевязки швов тычковые ряды укладывают обязательно в нижнем (первом) и верхнем (последнем) рядах возводимых конструкций, на уровне обрезов стен и столбов, в выступающих рядах кладки (карнизах, поясах и т.д.). При многорядной перевязке швов обязательно укладывают тычковые ряды под опорные части прогонов, плит перекрытий, балконов, под мауэрлаты и другие конструкции. При однорядной (цепной) перевязке швов допускается опирание сборных конструкций на ложковые ряды кладки.

Бетонные изделия для кладки

Бетон – это искусственный камень, который получается в результате самопроизвольного отвердевания бетонной смеси, которая состоит из вяжущего вещества, мелкого и крупного заполнителей и воды. Возможно введение добавок и регулирование разными способами скорости этого процесса.

Классификация бетонов:

- а) По основному назначению:
 - Обычный (для возведения несущих гражданских и промышленных сооружений);
 - Гидротехнический (для сооружений, работающих в воде: плотины, шлюзы, градирни и т.д.);
 - Дорожный;

- Теплоизоляционный (для ограждающих конструкций: стены, чердачные перекрытия);

- Специальный (жаростойкий, кислотостойкий, декоративный и т.д.).

б) По виду вяжущего:

- Портландцементный;

- Глиноземистый;

- Известковый;

- Магнезиальный;

- Шлаковый;

- Гипсовый;

- Специальный.

в) По структуре бетоны могут быть:

- Плотной структуры;

- Поризованной;

- Ячеистой (газобетон, пенобетон);

- Крупнопористой (беспесчаный).

г) По виду заполнителей бетоны могут быть на заполнителях:

- Плотных;

- Пористых.

д) По средней плотности:

- Особо тяжелый бетон с плотностью $\rho_o = 2600$ и более кг/м^3 , (применяется для защиты от радиации).

- Обычный тяжелый бетон – $\rho_o = 2200-2600 \text{ кг/м}^3$ (для возведения несущих конструкций в гражданском и промышленном строительстве: фундаменты, колонны, плиты перекрытий и др.).

- Легкий бетон – $\rho_o = 800-2200 \text{ кг/м}^3$ (для стен зданий).

- Особо легкий бетон (ячеистый) – $\rho_o = 200-1200 \text{ кг/м}^3$ (для возведения и теплоизоляции стен и потолков).

е) По условиям твердения бетоны подразделяются на твердевшие

- в естественных условиях,

- в условиях тепловлажностной обработки при атмосферном давлении (в пропарочной камере),

- в условиях тепловлажностной обработки при давлении выше атмосферного (в автоклаве).

ж) Ячеистые бетоны по плотности подразделяются на:

- Теплоизоляционные с плотностью менее 500 кг/м^3 , изготавливается без песка.

- Конструкционно-теплоизоляционные с плотностью от 500 до 900 кг/м^3 ,

- Конструкционные с плотностью от 900 кг/м^3 .

Из обычного тяжелого бетона готовят фундаментные блоки, колонны и балки для сборного строительства. Из легкого и ячеистого бетона изготавливают блоки для возведения стен. Наиболее употребимы шлакоблоки, пенобетонные и газобетонные блоки. В последние годы находят применение теплоблоки (многослойные блоки с легким утеплителем в середине блока).

Кладка стен из керамзитобетонных блоков

Керамзитобетонный блок – это современный строительный материал, который изготавливается из керамзита, воды, цемента и песка, методом прессования. Керамзит – это искусственный гравий, полученный вспучиванием легкоплавких глин. Пористый заполнитель делает бетон легким с пониженной теплопроводностью. В строительстве используется уже более 50 лет, причем, в качестве основного стройматериала для зданий его стали применять чаще. И связано это с положительными качествами блоков, форма и размер которых дает возможность при строительстве совмещать с другими типами стройматериалов, а также с железобетонными изделиями. Исключительной особенностью керамзитобетона является то, что толщина стены, выложенная блоком 390 мм, соответствует кирпичной стене в 1,5 кирпича, такая же ситуация и с высотой.

Плотность теплоизоляционного керамзитобетона в сухом состоянии $300\text{-}900 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $0,2 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. К и прочность на сжатие (марка) до 10 кг/см^2 . К теплоизоляционному керамзитобетону не предъявляются требования высокой прочности. Его низкая плотность в основном определяется плотностью керамзита.

Прочность на сжатие конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона от 35 до 75 кг/см^2 и плотность колеблется от 700 до 1400 кг/м^3 .

Повышенная прочность позволяет применять этот керамзитобетон для изготовления ограждающих конструкций – стеновых блоков и панелей.

Щелевые керамзитобетонные блоки «ТермоКомфорт» с размерами – 340×400×240, мм и 490×300×240, мм выполняют только со щелями. Блок размером 490×200×240, мм может выполняться как полнотелым, так и со щелями. Для устройства перемычек изготавливают U-образные блоки.



Рис. 1.17. Фрагменты стен из керамзитобетонных блоков

Кладка керамзитобетонных блоков выполняется несколькими способами, которые находятся в прямой зависимости от толщины стен и использования дополнительных облицовочных покрытий:

1. Толщина стены равна ширине блока (200 мм). На внутреннюю поверхность блока наносится слой штукатурки, а наружная облицовывается теплоизоляционным слоем толщиной до 100 мм (минвата, пенопласт, пенополистирол). Такой вариант идеально подойдет для гаража, склада.

2. Возводят стену толщиной в одну длину блока, между собой их перевязывают. Наружные и внутренние покрытия выполняют также как и в предыдущем варианте. Только слой изоляции делают тоньше в 2 раза, то есть 50 мм. Эта кладка применяется для бань или других небольших сооружений.

3. Стены кладут с перевязкой блоков и оставлением между ними пустот. Толщина должна составлять 600 мм. Внутренняя поверхность штукатурится, а утеплитель закладывается в пустоты. По этому способу строятся загородные дачи.

4. И, наконец, наиболее сложный вариант. Для наружной стены при этом варианте выкладываются две параллельные, но более тонкие стенки, которые связываются между собой арматурой. Промежуток между ними заполняется утеплителем, а внутренняя и наружная поверхности облицовываются штукатуркой. Такой вариант используется при строительстве различных зданий в районах, где преобладает холодный климат.

Кладка стен из пенобетонных блоков

Пенобетон получают после отвердевания смеси, состоящей из цемента, песка и пены, полученной в результате взбивания пенообразователя. Пенообразователем служит отвар сапонинового корня, гидролизованная кровь или синтетический белок.

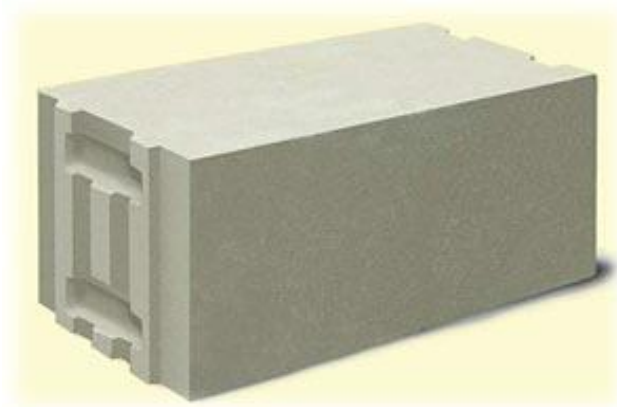


Рис. 1.18. Блок из пенобетона

Пенообразователь можно готовить отдельно и потом смешивать с цементным тестом или раствором, а можно твердые компоненты затворить водным раствором пенообразователя. Для повышения прочности пенобетонную массу, залитую в форме, подвергают тепловой обработке в пропарочных камерах при нормальном давлении или в автоклавах при повышенном давлении. Получается искусственный камень с большим количеством пор и малой теплопроводностью.

О процессах, происходящих в изделиях в процессе их пропаривания [20, 21].

Размеры блоков определяются размерами формы. Пенобетонные блоки производства компании ООО "ЕГО" выпускают следующих разме-

ров: $588 \times 300 \times 188$; $588 \times 300 \times 100$; $600 \times 300 \times 200$; $588 \times 300 \times 380$ мм. Объемная плотность этих блоков колеблется от 900-1200 кг/м³.

Пенобетон, полученный пропариванием, имеет сравнительно невысокую прочность, поэтому кладку из пенобетонных блоков рекомендуется армировать. По той же причине под перекрытие поверх кладки отливается армопояс из бетона.

Кладка первого ряда. Первый ряд кладки стены из пеноблоков всегда выполняется на цементно-песчаный раствор. Технология обычная: по верху фундамента расстилается раствор слоем 1-2 см. На раствор кладется слой гидроизоляции: рубероид, бикрост, рубемаст, гидроизол и т.п. По гидроизоляции выполняется кладка первого ряда пеноблоков на раствор.

Пеноблоки хорошей геометрии с максимальным отклонением в размерах, не превышающим нескольких миллиметров, можно класть на клей. Кладка пеноблоков на клей имеет следующие преимущества.

Отсутствие мостиков холода. Однородность стены в плане теплоизоляции – главный плюс кладки пеноблоков на клей. Меньшая трудоемкость. Количество замешиваемого клея в несколько раз меньше требуемого в аналогичном случае объема раствора.

Легкость последующей отделки. Когда стена из пеноблоков укладывается на клей, она должна получиться идеально ровной, поэтому отделка такой стены обойдется в разы дешевле. Расход выравнивающих штукатурок и шпатлевок будет минимальным.

Клей для кладки стены из пеноблоков выпускают как отечественные, так и иностранные компании, пеноблоки вполне можно класть на морозостойкий плиточный клей.

Основное правило в кладке стены из пеноблоков: не оставлять пустот в швах. Для раскладывания клея обычно пользуются зубчатым шпателем-ковшом. Клеем или раствором полностью заполняют и горизонтальные и вертикальные швы. Если ведется кладка в два ряда (например, блоками $200 \times 300 \times 600$ мм на ребро при общей толщине стены 400 мм.), то междурядные вертикальные швы также заполняются.

Когда кладка пеноблоков ведется на раствор, блоки перед укладкой желательно смачивать. Пропорции раствора классические – обычный це-

мент: строительный песок – 1:4. Впрочем, возможны варианты с внесением специальных добавок пластификаторов.

Армирование стен из пенобетонных блоков

Любую кладку, в том числе и из пеноблоков рекомендуется армировать. Для этого в швы через каждые 3-4 ряда закладывают кладочную сварную сетку. Армирование преследует две цели: это дополнительная защита от появления трещин и увеличение устойчивости стены. Например, при возведении длинной межкомнатной перегородки в монолитном доме кладку необходимо армировать из соображений устойчивости. Так как кладочная сетка делается из проволоки диаметром 4-5 мм (с наваренными поперечными связками той же проволокой, что еще увеличивает высоту уложенной сетки), то ее использовать при кладке на клей проблематично. Возможно, сделать для нее канавки. Вырезают канавку для арматуры в пеноблочной кладке штроборезом или дисковой пилой.

Плиты перекрытия нельзя укладывать непосредственно на пеноблоки, т.к. при этом может создаваться точечная нагрузка, превышающая предел прочности пенобетона. Чтобы распределить нагрузку от перекрытия равномерно, поверх стены из пеноблоков отливается монолитный бетонный армопояс высотой около 10-15-20 см. В случае кирпичной облицовки высоту армопояса берут равной высоте 2 рядов кирпичной кладки. Так как бетонный армопояс нарушает теплоизоляцию стены, его необходимо утеплить дополнительно.

В средних широтах нашей страны достаточная толщина стены из пеноблоков с позиции теплоизоляции – 40 см. В таком случае отливается армопояс шириной 30 см (этого более чем достаточно для опирания плиты перекрытия), а оставшиеся 10 см заполняются утеплителем. Утеплитель ставится с наружной стороны стены и закрывается облицовкой. В ряде случаев монолитный армопояс поверх кладки пеноблоков можно заменить более дешевой кирпичной кладкой из полнотелого кирпича. Например, это допустимо, когда планируются перекрытия по деревянным балкам.

Облицовка стен из пеноблоков

Наиболее распространенный вид облицовки стен из пеноблоков – кирпич. В этом случае кладку пеноблоков и облицовку ведут параллельно.

Каждые 2-3 ряда пеноблочной кладки связывают с облицовочной, либо сделав выпуск кладочной сетки, либо стеклопластиковыми связками штыревого типа. В последнем случае их располагают в периметре одного ряда с интервалом 40 см. Воздушный зазор между облицовкой и пеноблоками не нужен.

Применение пеноблоков в строительстве загородного дома открывает воистину безграничные возможности для дальнейшей отделки стен. Довольно прочная поверхность пенобетонного блока позволяет использовать любые виды фасадных штукатурок и шпатлевок, отделку диким камнем и сайдингом, вентилируемые фасады и клинкерную плитку.

Кладка стен из газобетонных блоков

Газобетон получают введением в смесь, состоящую из измельченного в присутствии воды кварцевого песка и извести, газообразователя. Газобетонная масса разливается в формы и выдерживается в них в теплом помещении для протекания химической реакции, сопровождающейся выделением водорода и вспучиванием. Твердение газобетона проводят в автоклавах. Распространенным газообразователем является высокодисперсная алюминиевая пудра, которая взаимодействует с гидроксидом кальция:



В качестве газообразователя можно использовать водный раствор перекиси водорода. Прочность газобетона и пенобетона, полученных в автоклавах, выше, чем прочность пенобетона, полученного в пропарочных камерах.

Таблица 1.3

Основные технические характеристики ячеистого бетона

Пористость, %	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Теплопроводность, Вт/(м К)
50	1100-1200	10-15	0,33-0,40
60	900-1000	5-12	0,24-0,30
70	700-800	2,5-5,0	0,17-0,22
80	400-600	1,2-4,0	0,10-0,14
90	200-300	0,7-1,2	0,06-0,08
95	200	0,4-0,7	0,06

Технология кладки газобетонных блоков

Начинается кладка с первого ряда. От качества первого ряда будут зависеть такие же свойства всех последующих рядов. Первый ряд блоков укладывается на обычный цементный раствор. На ленту фундамента, или ростверк укладывается цементный слой толщиной около 2 см. Далее, если на фундаменте заранее не была устроена гидроизоляция, то на раствор кладут любой гидроизолирующий материал, в роли которого может выступать обычный рубероид, или более современный гидроизол, рубемаст и так далее.

Далее на гидроизолирующий слой укладывают опять слой раствора толщиной около 2 см и на этот слой раствора начинают укладывать стены из газобетонных блоков.

Начинать кладку нужно лучше всего с любого угла. Сначала в обе стороны от угла кладут по два блока, при этом формируется замок, или связка газобетонных блоков. Так следует выложить примерно 2-3 ряда по вертикали.

После этого угол из газобетонных блоков выравнивается по вертикали. При этом используется обычный отвес. Далее после выравнивания угла начинают полностью выкладывать первый ряд из газобетонных блоков.

При этом контролируется горизонтальная ровность каждого блока, то есть нужно делать так, чтобы все верхние плоскости блоков лежали в одной горизонтальной плоскости. Также выкладывают все остальные ряды. Следует отметить, что при устройстве стен из газобетона можно использовать обычный цементный раствор или специальный клей.

Если блоки имеют идеальную геометрическую форму, а отклонения от этой «идеальности» составляют не больше 3 мм, то кладку можно осуществлять на клеевой состав, который специально предназначен для кладки газобетона.

Однако на практике такие блоки встретишь очень редко, поэтому применяется практически повсеместно цементный раствор.

Армировать кладку из газобетона нужно для того, чтобы придать ей большую гибкость. Армирование осуществляется прутами арматуры класса АIII с диаметральным сечением в 8 мм.

При армировании арматурные прутья кладут не в цементный раствор, то есть в шов, а в сам блок. Для этого в нём делают две бороздки, которые должны располагаться друг от друга на расстоянии примерно в 10 мм. Высекать канавки можно при помощи электрической фрезы. Можно канавки делать при помощи стамески и молотка.



Рис. 1.19. Устройство канавки для арматуры ручным инструментом и фрезой

Вообще главное, чтобы арматурный прут располагался от края блока не меньше, чем в 5 см. Кроме того, следует учесть, что армирование на углах должно производиться не под прямым или острым углом, а с закруглением. Следовательно, и борозды там нужно делать закругленными.

Пазы, то есть высеченные канавки, заполняются клеевым составом, который используется для производства кладки из газобетонных блоков. Если в качестве связующего материала используется цементный раствор, то и пазы нужно заполнять цементным раствором.

Дальше укладывают в пазы, заполненные цементным раствором, прутья арматуры. При этом они полностью должны погрузиться в цемент. Для этого канавка должна иметь примерно 2 см глубины и столько же ширины.



Рис. 1.20. Укладка арматуры в пазы блоков

Армирование производится двумя прутами арматуры на каждый пояс армирования. Армирование нужно производить через каждые примерно 3-4 ряда. Кроме того, если арматурные пруты класть внахлест, то его длина должна составлять не меньше 15 см.

Дальнейшая кладка производится аналогично. Кладка осуществляется с перевязкой блоков.

В тех местах, где блоки будут соприкасаться с цоколем или полом первого этажа, необходимо провести гидроизоляцию. В качестве гидроизоляционного слоя можно использовать приведенные выше материалы.

После того, как стены из блоков полностью готовы, наступает этап отделки. Отделка заключается в том, чтобы расшить швы и убрать все частицы цементного раствора, которые могли попасть на боковую лицевую поверхность блока в процессе производства кладки.

Сначала всю поверхность стены, то есть лицевую поверхность, затирают куском блока. Здесь этот кусок блока используется как отбеливатель. Он одновременно и счищает остатки цемента с поверхности стены, и наносит на неё слой белой пыли, который образуется в результате стирания самого блока.

После этой процедуры все стены прометают веником, чтобы смести эту пыль, которая образовывается в большом количестве. После этого можно приступать к расшивке швов.

Металлическую или пластмассовую трубу срезают под углом в 45 градусов. Диаметр трубы должен равняться толщине шва или быть чуть меньше его.

Таким обрезком проводят по шву, спиленной частью, формируя тем самым полукруглую форму шва. Сначала следует расшивать все горизонтальные швы, потом постепенно все вертикальные.

Часто вместе с кладкой блоков сразу формируют облицовку из кирпича. При этом обе стены, то есть из газобетонных блоков и из кирпича, должны иметь связь между собой.

Такая связь формируется при помощи арматуры. Куски арматуры, которые укладываются на поверхность блока и кирпича, не должны выступать за пределы кирпича. То есть они не должны торчать на улицу, чтобы не создавать дополнительные мостики холода.

Куски арматуры просто вживляются в кладку, то есть кладутся на кирпич и на блок, потом покрываются раствором, а наверх укладывается следующий ряд кирпича и газобетона.

Кладка стен из теплоблоков

Теплоблоки представляют собой многослойную конструкцию с двумя слоями керамзитобетона и слоем утеплителя между ними. С наружной стороны слой бетона подвергается облицовке.

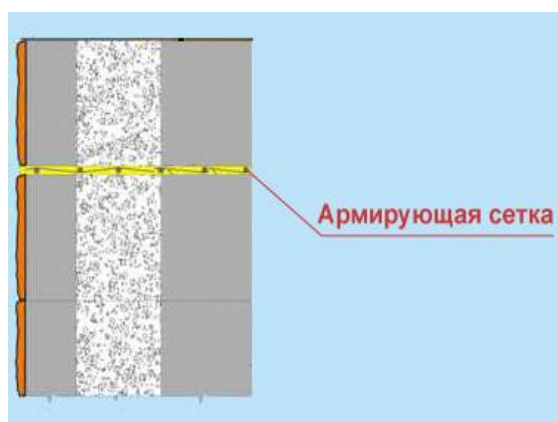


Рис. 1.21. Конструкция теплоблока

Кладка стен из теплоблоков мало чем отличается от кладки стен из любых других строительных стеновых материалов. Теплоблоки – это основа скоростного домостроения. Теплоблоки позволяют строить дома, высотой до трёх этажей включительно без каркаса, и не ограниченной этажности с применением пространственного каркаса здания. Для устройства межэтажных перекрытий могут использоваться монолитные железобетонные, деревянные, а так же другие современные технологии в области межэтажных перекрытий. Точная геометрия теплоблоков позволяет делать стены тонкошовными, с толщиной шва в кладке не более 5 мм. При этом минимизируются мостики холода в конструкции стены построенного дома. Укладка теплоблоков может производиться на специальную клеевую, либо традиционную цементную основу. Теплоблоки легко поддаются обработке, их можно пилить, сверлить. Вес рядового блока составляет 25 кг, это позволяет не применять при постройке дома специальное подъёмное оборудование, а размер и предусмотренная номенклатура теплоблоков обеспечивают наивысшую скорость строительства дома. Для качественной кладки стен из теплоблоков не требуется привлечение высококвалифицированных каменщиков и необходим лишь минимальный набор инструментов. При укладке теплоблоков с применением морозостойкого клея возможно строительство дома зимой.

Необходимость армирования кладки стен возникает при использовании монолитных железобетонных межэтажных перекрытий. Расположение арматуры определяется согласно рабочим чертежам, как правило, армируется каждый третий-четвёртый ряд кладки стены. В качестве арматуры используется цельнолистовая просечновытяжная армирующая сетка диаметром 0,5 мм, с размером ячейки 50х19 мм. Армирующая сетка полностью покрывается клеевым раствором. Такая кладка придаёт особую прочность конструкции стен. В местах опирания межэтажных плит прокладывается армированный бетонный пояс. Армирование производится арматурной сеткой диаметром 4-5 мм и размером ячейки 70х70 мм.

Применение несъемной опалубки позволяет делать стены монолитными. Фирма SOVBI в опалубку из пенобетонных плит марки 900 заливает пенобетонную массу марки 250 и 300.

Фирма DURISOL устанавливает несъемную опалубку в виде древесностружечных блоков и заполняет внутреннее пространство этих блоков арматурой и тяжелой бетонной смесью.

Фирма VELOX в щепоцементную опалубку, выполненную в виде блоков, устанавливает арматуру и заливает тяжелую бетонную смесь внутрь этих блоков, создавая монолитную несущую стену.

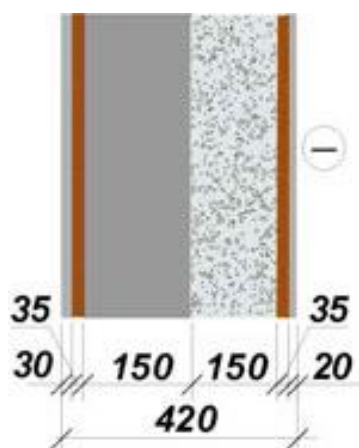


Рис. 1.22. Система VELOX классическая: несъемная щепоцементная опалубка 70мм (35+35); железобетон 150 мм; утеплитель пенополистирол 150 мм, с внутренней стороны цементно-песчаная штукатурка, снаружи фасадная штукатурка

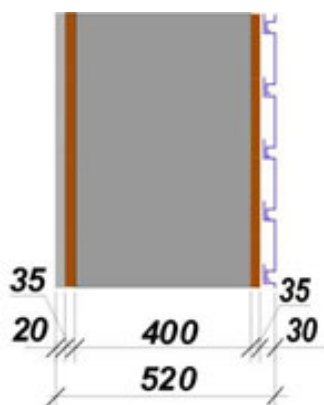


Рис. 1.23. Система VELOX на легком бетоне 400мм, снаружи сайдинг, внутри штукатурка

1.2. Строительные растворы

Строительными растворами называют искусственный камень, полученный в результате твердения растворной смеси, состоящей из вяжущего вещества, песка и воды.

В зависимости от назначения строительные растворы бывают: кладочные, применяемые для кладки камней, штукатурные, применяемые для выравнивания или отделки поверхностей, и специальные (гидроизоляционные, теплоизоляционные, акустические, заливочные растворы высокой прочности для фиксации оборудования на фундаменте и пр.). Штукатурные растворы отличаются от кладочных растворов составом и качеством заполнителя. Специальные растворы получают введением в растворы специфических добавок.

По средней плотности в сухом состоянии различают: тяжелые (обычные, холодные) со средней плотностью 1500 кг/м^3 и более, приготовленные на плотных песках, и легкие (теплые) со средней плотностью менее 1500 кг/м^3 . Легкие растворы готовят с использованием пористого легкого песка: керамзита, песка, полученного дроблением туфов, шлаков.

По виду вяжущего различают следующие типы строительных растворов: цементные, приготовленные с использованием цемента или его разновидностей или смесей вяжущих с его использованием, известковые, приготовленные на воздушной или гидравлической извести, и гипсовые, в которых в качестве вяжущих использованы гипсовые или ангидритовые вяжущие вещества.

По условиям эксплуатации различают: строительные растворы для наружных работ (наружные стены, фундаменты) изготавливают с применением в качестве вяжущего цемента или извести или их смеси с добавлением пуццолановых добавок, придающих растворам большую водостойкость. Для внутренних работ (пол, потолок, внутренние стены) в качестве вяжущих можно применять: гипс, известь и их смеси.

На строительные объекты растворные смеси поставляют двух типов: растворные смеси, готовые к применению, и сухие смеси, нуждающиеся во введении воды (или водных растворов солей, добавок) и тщательном перемешивании.

В зависимости от соотношения между тестом и заполнителем растворы подразделяются на жирные и тощие. Жирным раствор называется в том случае, если объем теста более чем на 10% больше объема пустот в заполнителе. В противном случае раствор называют тощим.

Материалы для строительных растворов

Вяжущие. В случае проведения ремонтных работ используется принцип: ремонт конструкции проводить строительными растворами, приготовленными с применением того же типа вяжущего, которое было использовано при первичном возведении сооружения, т.е. старинную кладку на извести ремонтируют известковым раствором. Кроме того бетонные конструкции не ремонтируют гипсовыми растворами, так же, как гипсовые (например, перегородки) не ремонтируют цементными растворами. На поверхности раздела цемент-гипс со временем протекает химическая реакция с образованием иглообразных кристаллов этtringита, увеличивающихся в объеме и вызывающих образование трещины. Положение спасает нанесение праймера (грунтовки) из смолы, разделяющей эти поверхности. Портландцемент, пуццолановый и шлакопортландцемент применяют в более ответственных случаях: при высоких допускаемых напряжениях в каменной кладке, в капитальных сооружениях, подверженных динамическим нагрузкам, в условиях постоянной влажности, для устройства полов, где требуется высокая стойкость к истиранию, для укрепления в камне или бетоне стальных изделий (болтов, перил, металлических рам). Для возведения фундаментов ниже уровня грунтовых вод предпочтение нужно отдать пуццолановому или шлакопортландцементу.

Известковый раствор, приготовляемый из известкового теста или пушонки, является наиболее распространенным представителем воздушных растворов. Известковый раствор имеет невысокую прочность и необходимость твердеть на воздухе. Продолжительное твердение известкового раствора сопровождается выделением влаги вследствие карбонизации его за счет реакции с углекислым газом воздуха. Карбонизация проходит в поверхностном слое. На поверхности образуется плотная пленка из CaCO_3 , препятствующая карбонизации внутрь раствора. Это позволяет употреблять его лишь при каменной кладке, находящейся на воздухе, при невысо-

ких допускаемых напряжениях в штукатурных растворах. Для ускорения схватывания к нему добавляют немного гипса.

Смешанные растворы. Цементный и известковый растворы каждый по отдельности имеют свои недостатки: известковый раствор мало прочен, медленно твердеет и в процессе твердения выделяет воду; цементный же раствор в тощих составах имеет хорошую прочность, но непластичен и плохо сцепляется с камнем (имеет большой отсос воды пористым камнем). Добавка извести должна быть тем больше, чем тощее цементный раствор. Соотношения цемент: известь могут колебаться (в зависимости от количества заполнителя) от 1:0,5 до соотношения 1:3. Применение мягких гидравлических добавок (трепела или диатомита) повышает водостойкость раствора и удешевляет его. В известково-цементно-минеральных вяжущих применяют мягкие кремнистые (трепел, диатомит) и карбонатные добавки, измельченные до удельной поверхности 780-800 м²/кг. Количество минеральных добавок может составлять от 1 до 4-х массовых частей извести. Известки применяют тем больше, чем больше возможности высыхания слоя раствора (например, штукатурный слой внутри помещения).

Гипсовый и ангидритовый растворы применяют с успехом в сухих условиях: отделка стен, потолков, оштукатуривание внутренних поверхностей из кирпича и мелких бетонных блоков. По прочности они почти не уступают цементным растворам, имеют малую теплопроводность. Введение водорастворимых полимерных добавок может значительно повысить их водостойкость. Фирма «Rnauф Gips» применяет штукатурные смеси, содержащие строительный гипс, минеральный пористый заполнитель, вододерживающую добавку и регулятор схватывания. Покрытия из этих смесей обладают высокими эксплуатационными свойствами, так как, впитывая избыточную влагу и отдавая ее при снижении влажности воздуха, они задают в помещении благоприятный влажностный климат. Магнезиальные растворы (фирма «Альфапол») с успехом используют для создания беспылевых полов с чрезвычайной износостойкостью, сопоставимой с износостойкостью керамики.

Органические вяжущие – синтетические полимеры, которые в количестве до 8% присутствуют во всех строительных растворах. Выбор вяжущего зависит от назначения и условий эксплуатации объекта.

Заполнители. Заполнители вводят в раствор для удешевления, уменьшения его усадки и для придания раствору особых свойств (теплопроводности, декоративности и др.) В строительных растворах используется в основном мелкий минеральный и органический заполнитель. Крупность его определяется толщиной слоя и фактурой поверхности, но не крупнее 5 мм.

В зависимости от средней плотности и пористости пески подразделяют на плотные (пористость менее 10%) и пористые (пористость более 10%).

В растворных смесях применяют минеральные природные, искусственные и специальные заполнители.

В тяжелых растворных смесях используют природный кварцевый, полевошпатовый и любого минералогического состава при надлежащей прочности, а также искусственные дробленые – из плотных горных пород. По форме зерен и характера их поверхности принято считать, что чем выше шероховатость поверхности и угловатость, тем выше прочность сцепления их с цементным камнем. Требования к пескам, применяемым в строительных растворах, те же что в бетонах. В легких растворных смесях применяют пески, полученные дроблением пористых пород (вулканического туфа, известняков и др.).

Искусственные минеральные заполнители получают дроблением металлургического или топливного шлака, кирпича, аглопорита (обожженная глина) и специально полученные керамзит, вспученные трепел и перлит, вермикулит. В легких смесях используют органический заполнитель: пенополистирол.

В качестве специальных заполнителей применяют бумажное волокно, синтетическое и стекловолокно.

Для снижения объема пустот, расхода вяжущего, усадки раствора и его удешевления следует применять фракционированные заполнители. В зависимости от ассортимента сухих смесей используются следующие фракции заполнителя: 0-0,63; 0,63-1,25; 1,25-2,5; 2,5-5,0 мм.

Добавки к строительным растворам вводят для частичной замены вяжущего или для корректирования свойств строительных растворов. Минеральные добавки вводят в виде тонкомолотых глины, извести, трепела, диатомита, опоки, шлака, золы и др. Эти порошки обладают высокой вла-

гоемкостью, повышают удобоукладываемость растворной смеси, позволяют экономить вяжущее при сохранении водотвердого отношения. Органические добавки – это поверхностно-активные вещества, которые можно подразделить на добавки, регулирующие свойства смесей, регулирующие процесс твердения, повышающие морозостойкость, придающие специальные свойства, гидрофобизирующие. Для сухих растворных смесей главными критериями работы с ними являются водоудерживающая способность раствора в тонком слое на пористом основании, клейкость, адгезионная прочность, прочность на растяжение при изгибе и др. Для плиточных и штукатурных растворов при работе с ними очень важна стойкость к сползанию или фиксирующая способность раствора, жизнеспособность растворной смеси, время корректировки – отрезок времени, в течение которого возможно изменить положение приклеенной плитки, без существенной потери адгезионной силы сцепления между плиткой и раствором.

Свойства растворной смеси

Растворная смесь – это смесь вяжущего вещества, воды и песка до начала схватывания вяжущего вещества, поэтому к числу основных свойств растворной смеси относятся следующие свойства:

- Удобоукладываемость, (подвижность);
- Водоудерживающая способность;
- Расслаиваемость (связность);
- Средняя плотность;
- Влажность.

Подробнее о свойствах растворной и бетонной смеси см. [22]

Удобоукладываемость смеси – это способность смеси быстро и ровным слоем распределяться по основанию. Тесто заполняет пустоты между зернами песка и равномерно покрывает песчинки тонким слоем, уменьшая внутреннее трение. С удобоукладываемой смесью удобно работать (смесь мягкая и не тянется за кельмой), в результате повышается производительность труда. От удобоукладываемости растворной смеси зависит качество каменной кладки. Правильно подобранная растворная смесь заполняет неровности, трещины, углубления в кирпиче или камне, поэтому получается большая площадь контакта между раствором и изделием, в результате прочность и монолитность кладки возрастает. Увеличивается и долговеч-

ность наружных стен. Удобноукладываемость готовой растворной смеси оценивается ее подвижностью. Подвижность растворной смеси – ее способность растекаться под действием силы тяжести или внешних сил. Подвижность определяется по свободному погружению в смесь в течение 1 мин. металлического конуса. Глубину погружения измеряют в см.

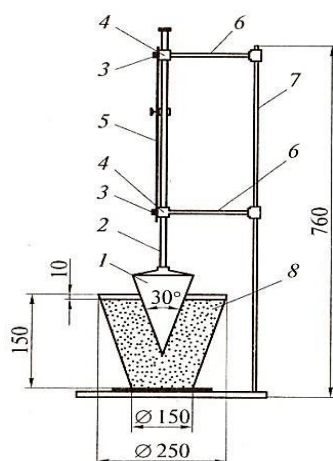


Рис. 1.24. Прибор для определения подвижности растворной смеси: 1 – эталонный конус, 2 – штанга, 3 – стопорный винт, 4 – направляющие, 5 – шкала, 6 – держатели, 7 – штатив, 8 – сосуд с растворной смесью, подвижности готовой к применению растворной смеси: от ПК 4 до ПК 14

Подвижность растворных смесей для бутовой кладки принимается равной 4-6 см (ПК 8), для кирпичной кладки – 6-12 см (ПК 12).

Подвижность сухих растворных смесей на цементной или гипсовой (текущие смеси) основе определяется по диаметру в мм расплыва смеси, вытекающей из кольца при его поднятии. Внутренний диаметр кольца – 70 мм, высота кольца – 50 мм. Диаметр лепешки расплыва колеблется от 150 до 210 мм. Для подвижных смесей на гипсовом вяжущем подвижность можно определять по диаметру расплыва образца на встряхивающем столике. После удаления формы смесь встряхивают 15 раз на встряхивающем столике. Среднее значение диаметра расплыва должно быть 165 ± 5 мм.

Время жизнеспособности – срок, в течение которого возможна работа со смесью: приготовление смеси, ее использование, корректирование положения изделия, оценивается началом схватывания. Эту характеристику определяют на приборе Вика. Продолжительность времени до начала схватывания назначается в зависимости от условий производства работ. Например, время до начала схватывания штукатурных смесей на гипсовом вяжущем должно быть не менее 45 мин при выполнении работ вручную и

не менее 90 мин при механизированном производстве. Подвижность смеси зависит от содержания воды, от водоцементного отношения, от вида и расхода цемента, от качества поверхности и гранулометрического состава заполнителя, от вида и количества добавки.

Верхний предел содержания воды, при котором смесь не теряет связности, а вода не отделяется, называется водоудерживающей способностью. Водоудерживающая способность смеси должна быть не ниже 90%. Этого добиваются введением органических и минеральных добавок (известь, глина, метилцеллюлоза и др.), которые обладают большей водоудерживающей способностью, чем портландцемент. Смесь с этими добавками отдает воду пористому основанию постепенно, при этом раствор становится плотнее, хорошо сцепляется с кирпичом (камнем), отчего кладка характеризуется большей прочностью. Для оценки водоудерживающей способности растворной смеси проводят следующий эксперимент: на стекло укладывают предварительно взвешенные 10 листов промокательной бумаги массой m_1 , покрывают бумагу слоем марлевой ткани, сверху укладывают кольцо диаметром 100 мм и высотой 12 мм. Все это взвешивают – m_3 , кольцо заполняют растворной смесью и оставляют на 10 мин. Прибор с растворной смесью взвешивают – m_4 , снимают кольцо с раствором и марлей, взвешивают промокательную бумагу – m_2 .

Водоудерживающую способность растворной смеси характеризуют количеством воды, оставшейся в растворе после эксперимента, в процентах к первоначальной массе образца:

$$V = 100 - (m_2 - m_1)/(m_4 - m_3), \quad (1.3)$$

где: m_1 , m_2 – масса промокательной бумаги до и после испытания, m_3 , m_4 – масса прибора до и после заполнения его растворной смесью.

Расслаиваемость растворной смеси проявляется при ее транспортировке и укладке. Расслаиваемость заключается в отделении воды от цементной пасты. Определяется расслаиваемость (связность) сопоставлением содержания заполнителей в верхней и нижней части образца размером 150x150x150 мм, изготовленного из растворной смеси. Расслаиваемость смеси не должна превышать более 10%.

Влажность сухих смесей не должна быть выше 0,3% массы сухих твердых компонентов.

Свойства раствора

Раствор – это искусственный камень, получающийся в процессе твердения растворной смеси. Раствор отличается от бетона отсутствием крупного заполнителя, поэтому некоторые закономерности, характерные для бетона можно распространить и на раствор. К основным свойствам раствора можно отнести следующие свойства:

- прочность,
- морозостойкость,
- плотность,
- специальные свойства (иногда).

Подробно о свойствах строительного раствора и бетона см. [23].

Прочность. Строительный раствор в конструкции воспринимает приходящуюся на него нагрузку. Это приводит к определенным деформациям, что в свою очередь создает дополнительные нагрузки. Нагрузки и соответствующие деформации могут приводить к образованию трещин. Трещины могут образовываться и от усадки раствора, которая тем больше, чем больше расход вяжущего и мелких добавок и водоцементное отношение. Прочность готового к применению раствора определяют испытанием образцов-кубов с размером ребра 7,07 см. Условия хранения образцов зависит от вида вяжущего и регламентируется стандартом. Образцы из растворов на портландцементе испытывают в возрасте 28 сут., а из растворов на гипсовом вяжущем – 7 сут. Образцы из растворной смеси подвижностью до 5 см изготавливают в формах с поддоном. Форму заполняют в 2 слоя. Каждый слой уплотняют шестью нажимами шпателя. Образцы из растворной смеси с подвижностью 5 см и более изготавливают в формах без поддона. Форму куба устанавливают на постель кирпича, покрытую влажной фильтровальной бумагой. Растворную смесь укладывают в один прием и уплотняют 25 штыкованиями стальным стержнем. Строительные растворы готовят следующих марок: М5, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200 и М300 и классов В10; В15; В20; В22,5; В25; В30; В35; В40; В45 и В50.

Определение прочности при сжатии растворов, взятых из шва. Прочность раствора определяют испытанием на сжатие кубов с ребрами 2-4 см, изготовленных из двух пластинок, взятых из горизонтальных швов кладки. Пластинки изготавливают в виде квадрата, сторона которого в 1,5

раза превышает толщину пластины, равную толщине шва. Пластины склеивают и выравнивают гипсовым тестом (1-2 мм), испытывают через сутки после изготовления.

Прочность цементного раствора при отсутствии отсоса воды, как и в бетонах, при неизменных материалах зависит только от активности $R_{ц}$ (марки, класса) цемента и от цементно-водного отношения Ц/В: $R_{28} = f(R_{ц}, Ц/В)$. Предел прочности раствора при сжатии определяется формулой Н. А. Попова

$$R_{28} = 0,4 R_{ц} (Ц/В - 0,3). \quad (1.4)$$

При укладке раствора на пористое основание и отсоса воды этим основанием в растворе остается примерно одинаковое количество воды при любом водоцементном отношении, поэтому прочность раствора зависит только от активности и расхода цемента:

$$R_{28} = k R_{ц} (Ц - 0,05) + 4, \quad (1.5)$$

где Ц – расход цемента, т/м³ песка; k – коэффициент, зависящий от качества песка: для крупного песка k = 2,2; средней крупности песка k = 1,8; мелкого песка k = 1,4.

Прочность смешанных растворов зависит от количества введенной в раствор извести или глины. Чем больше эта добавка, тем ниже прочность раствора.

Оптимальная добавка, позволяющая получить удобоукладываемые смеси, соответствует максимуму на кривых прочности, приведенных на рис. 1.25.

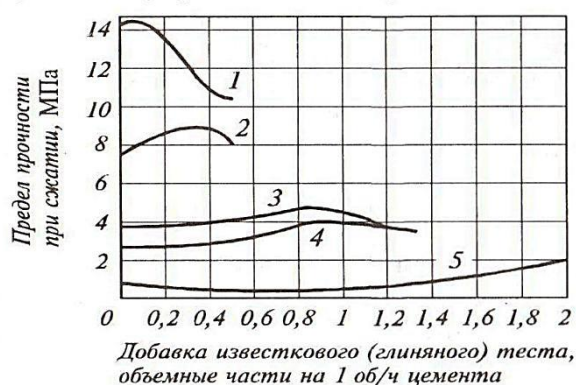


Рис. 1.25. Общий характер влияния дисперсных добавок (извести, глины) на прочность растворов состава объемов (цемент: песок):

1 – 1:3; 2 – 1:4; 3 – 1:5; 4 – 1:6; 5 – 1:9

Для каменной кладки наружных стен зданий применяют главным образом цементные и смешанные растворы (цементно-известковые и цементно-глиняные) марок М10; М25; и М50 в зависимости от влажностных условий и требуемой долговечности здания. Для повышения влагостойкости раствора следует применять добавки трепела или диатомита, содержащие активный SiO_2 . В кладке перемычек, простенков, карнизов и столбов марка раствора может быть повышена до М100. Наибольшую крупность песка ограничивают: для бутовой кладки – не более $1/5$ толщины шва, для кирпичной кладки – не более 1,2-2,5 мм. Подвижность растворяемых смесей для бутовой кладки принимается равной 4-6 см (ПК8), для кирпичной кладки – 6-12 см (ПК 12).

Монтажные растворы для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из легкогобетонных панелей должны иметь марку не ниже М50, а для панелей из тяжелого бетона – не ниже М100. Минимальные расходы цемента для растворов различного назначения 75 – 125 кг/м³ песка. Для кладки во влажных грунтах и ниже уровня грунтовых вод применяют растворы на портландцементе с активными минеральными добавками или на шлакопортландцементе. Понижение температуры замедляет рост прочности растворов. При низких положительных температурах прочность раствора в возрасте 28 сут. составляет 55-72% от марки. Поэтому в зимнее время широко применяют растворы с противоморозными добавками, понижающими температуру замерзания раствора и ускоряющими набор его прочности. Зимой марку раствора для каменной кладки повышают на одну ступень в сравнении с летними работами.

Штукатурные растворы. Штукатурные растворы [24] применяют для защиты от окружающей среды или для выравнивания поверхностей стен и потолков. Толщина слоя в зависимости от назначения колеблется от 1 до 30 мм. При выравнивании голой кирпичной кладки штукатурные работы проводят в три слоя. Первый слой – грубый с крупностью песка до 5 мм. Второй слой – промежуточный, выполняется гидроизоляционными составами. Третий слой наносится толщиной до 2 мм и готовит стену для чистовой отделки (обои, покраска). Для лучшего сцепления штукатурного слоя с кирпичной кладкой предварительно вырубить раствор в швах на глубину до 10 мм. Пластичность раствора для каждого слоя подбирается отдельно. Для подготовительного слоя при механизированном нанесении глубина

погружения конуса должна быть равна 6-10 см, а при ручном – 8-12 см (ПК8-ПК12).

Специальные растворы. Декоративные растворы используют для отделки фасада здания и внутреннего интерьера помещения. Для фасадов применяют растворы на цементе или извести и цементе. Вяжущие используют белые или цветные. Внутри помещения чаще используют гипсовые растворы. Существует множество видов декоративной штукатурки с различной фактурой: рифленной, шероховатой, рустик, антик т.д. Некоторые имеют в своем составе цветную крошку размером 2-3 мм, которая образует фактуру «мелкий барашек». Содержание более крупной крошки дает более рельефную поверхность. Заполнителями могут являться промытый кварцевый песок или пески полученные дроблением красивых декоративных пород: гранита, мрамора, доломита, туфа. Для придания блеска поверхности можно вводить слюду или дробленое стекло. Для отделки помещений часто применяют созданные на основе водной дисперсии искусственных смол декоративные акриловые штукатурки с самой различной фактурой различных цветов и оттенков.

Подбор состава строительного раствора. Состав растворов невысокой прочности находят по таблицам и графикам и его рассматривают как ориентировочный, т.к. качество песка для конкретного случая может существенно отличаться от того, для которого даны рекомендации. Полученные из рекомендаций составы следует корректировать в лаборатории. Расчет состава раствора ведут только для раствора с прочностью М25 и более. Расчет состава раствора, наносимого на плотное основание, ведут как для мелкозернистого бетона. Состав раствора для пористого основания, т.е. для большинства кладочных и штукатурных работ, находят из формулы (2.7). Массу цемента в тоннах, приходящуюся на 1 м³ песка вычисляют по следующей формуле

$$\text{Ц} = [(R_{28} - 4) / k R_{\text{ц}}] + 0,05. \quad (1.6)$$

Для определения объема цемента в м³ на 1 м³ песка используют насыпную плотность цемента $\rho_{\text{нц}}$

$$V_{\text{ц}} = \text{Ц} / \rho_{\text{нц}}. \quad (1.7)$$

Приблизительный расход пластификатора – известкового теста, характеризующегося глубиной погружения конуса, равной 14-15 см, или глиняного теста, содержащего 50 % массы воды считают по формуле

$$И (Г) = 0, 1 П - 0,3 , \quad (1.8)$$

где И(Г) – количество объемных частей известкового (И) или глиняного (Г) теста, приходящегося на одну объемную часть цемента.

Расход воды определяют опытным путем, руководствуясь требуемой удобоукладываемостью.

Морозостойкость определяют только для строительного раствора, приготовленного на гидравлических вяжущих. Испытания проводят на образцах-кубах размером 7,07 см. Один цикл испытания: 4 ч замораживание при температуре минус (15-20)⁰С и 3 ч оттаивание при плюс (15-20) ⁰С . Потеря массы не более 5%, потеря прочности – не более 25% после проведения заданного числа циклов замораживания и оттаивания. ГОСТ 28013-98 устанавливает следующие марки по морозостойкости: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200.

1.3. Общие требования к материалам для кладки

1. Кирпич, камни и растворы для каменных и армокаменных конструкций, а также бетоны для изготовления камней и крупных блоков должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов и применяться следующих марок или классов:

а) камни – по пределу прочности на сжатие (а кирпич – на сжатие с учетом его прочности при изгибе): 4, 7, 10, 15, 25, 35, 50 (камни малой прочности – легкие бетонные и природные камни); 75, 100, 125, 150, 200 (средней прочности – кирпич, керамические, бетонные и природные камни); 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 (высокой прочности – кирпич, природные и бетонные камни);

б) бетоны классов по прочности на сжатие:

тяжелые – В3,5; В5; В7,5; В12,5; В15; В20; В25; В30;

на пористых заполнителях – В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В12,5; В15; В20; В25; В30;

ячеистые – В1; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В12,5;

крупнопористые – В1; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5;

поризованные – В2,5; В3,5; В5; В7,5;

силикатные – В12,5; В15; В20; В25; В30.

Допускается применение в качестве утеплителей бетонов, предел прочности которых на сжатие 0,7 МПа (7 кгс/) и 1,0 МПа (10 кгс/); а для вкладышей и плит не менее 1,0 МПа (10 кгс/);

в) растворы по пределу прочности на сжатие – 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200;

г) каменные материалы по морозостойкости – Мрз 10, Мрз 15, Мрз 25, Мрз 35, Мрз 50, Мрз 75, Мрз 100, Мрз 150, Мрз 200, Мрз 300.

Для бетонов марки по морозостойкости те же, кроме Мрз 10.

2. Растворы с плотностью в сухом состоянии – 1500 кг/ и более – тяжелые, до 1500 кг/– легкие.

3. Проектные марки по морозостойкости каменных материалов для наружной части стен (на толщину 12 см) и для фундаментов (на всю толщину), возводимых во всех строительно-климатических зонах, в зависимости от предполагаемого срока службы конструкций, но не менее 100, 50 и 25 лет, приведены в табл. 1.4.

Проектные марки по морозостойкости устанавливают только для материалов, из которых возводится верхняя часть фундаментов (до половины расчетной глубины промерзания грунта, определяемой в соответствии с главой СНиП "Основания зданий и сооружений").

Таблица 1.4

Марки по морозостойкости в зависимости от назначения

Вид конструкций	Значение Мрз при предполагаемом сроке службы конструкции, лет		
	100	50	25
1. Наружные стены или их облицовка в зданиях с влажностным режимом помещений			
а) сухим и нормальным	25	15	15
б) влажным	35	25	15
в) мокрым	50	35	25
2. Фундаменты и подземные части стен:			
а) из кирпича глиняного пластического прессования	35	25	15
б) из природного камня	25	15	15

Примечания:

1. Марки по морозостойкости камней, блоков и панелей, изготовляемых из бетонов всех видов, следует принимать в соответствии с главой СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

2. Марки по морозостойкости, приведенные в табл. 1.4, для всех строительно-климатических зон могут быть снижены для кладки из глиняного кирпича пластического прессования на одну ступень, но не ниже Мрз 10.

Армирование кладки

Армированные кирпичные конструкции представляют собой кладку, усиленную стальной арматурой, которую укладывают на растворе в швы между кирпичами. Под действием сжимающих сил арматура зажимается в швах благодаря силам трения и сцепления с раствором работает как одно целое с кладкой. Армирование может быть поперечное и продольное.

Поперечное армирование выполняют сетками или отдельными стержнями. Стержни воспринимают поперечные растягивающие усилия, возникающие при сжатии кладки, препятствуют разрушению кирпича при изгибе и растяжении и этим увеличивают несущую способность сжатого элемента.

Столбы, стены и простенки армируют поперечной сетчатой арматурой, прямоугольной или зигзагообразной ("зигзаг"). Диаметр стержней для поперечного армирования кладки допускается не менее 2,5 мм и не более 8 мм.

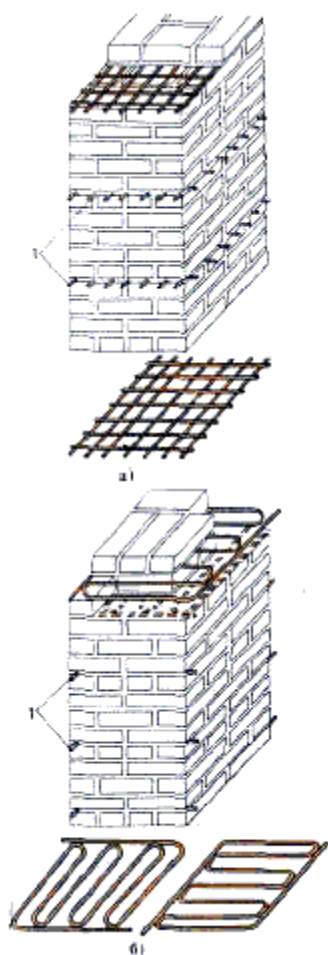


Рис. 1. 27. Армирование кирпичных столбов:

- а – прямоугольная сетка;
- б – зигзагообразная сетка;
- 1 – выступающие концы прутков сеток

Вместе с тем диаметр арматуры в прямоугольных сетках должен быть не более 5 мм, а в зигзагообразных – не более 8 мм.

Применение арматуры больших диаметров вызвало бы недопустимое увеличение толщины горизонтальных швов и снижение прочности кладки. Для предохранения от коррозии арматурные сетки сверху и снизу защищают слоем раствора толщиной не менее 2 мм. В связи с этим общая толщина шва, в котором расположена прямоугольная сетка из стержней диа-

метром 5 мм, должна быть не менее 14 мм. Стержни сеток сваривают или связывают между собой вязальной проволокой. Расстояние между стержнями в сетках должно быть не менее 30 и не более 120 мм. Сетки должны иметь такие размеры, чтобы концы стержней выступали на 2...3 мм за одну из внутренних поверхностей простенка или столба. По этим концам проверяют наличие арматуры в кладке.

Арматурные прямоугольные сетки из металла класса А1 и проволоки Вр1 или композитную арматуру из синтетического волокна (полиэстрового или полипропиленового), стекловолокна или углеродного волокна укладывают не реже чем через пять рядов кладки, а при утолщенном кирпиче - через четыре ряда, зигзагообразные – попарно в двух смежных рядах, так чтобы направление стержней в них было взаимно перпендикулярным

Продольное и вертикальное армирование кладки применяют для восприятия растягивающих усилий в изгибаемых и внецентренно сжатых конструкциях (столбах, тонких стенах и перегородках) для повышения их устойчивости, а также в конструкциях, подверженных сейсмическим воздействиям.

Сечение стержней и их расположение указывают в проекте. Металлические стержни арматуры соединяют между собой, как правило, сваркой.

2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

2.1. Работа каменной кладки при центральном сжатии

2.1.1. Напряженное состояние камня и раствора в швах при центральном сжатии кладки

Даже при центральном сжатии и равномерном распределении давления на кладку камни и раствор в швах испытывают сложное напряженное состояние. Причем в более невыгодном положении находятся камни, которые одновременно подвержены растяжению, изгибу и срезу, что обусловлено главным образом, следующими факторами:

1) Разными деформационными свойствами камня и раствора (раствор в среднем в 10 раз более деформативнее камня). Данный фактор приводит, в основном, к восприятию камнем усилий от растяжения.

Проанализируем работу образца-столбика, выполненного из камней правильной формы (например, кирпича) при центральном сжатии (рис. 2.1).

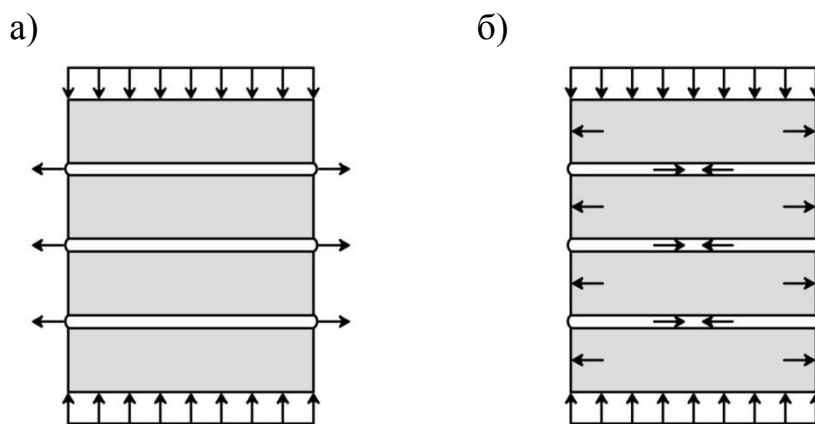


Рис. 2.1. Схема работы образца-столбика при центральном сжатии:

а – деформированное состояние в поперечном сечении;

б – напряженное состояние кирпича и раствора в поперечном сечении

По мере увеличения давления, столбик будет испытывать продольные деформации, большая часть которых будет реализовываться за счет деформаций раствора (из-за его большей деформативности). Продольные деформации раствора сопровождаются поперечными, которые будут стес-

нены выше- и нижерасположенными кирпичами (точнее силами сцепления раствора с кирпичом и силами трения на их границе). Это вызовет появление в кирпичах растягивающих, а в растворе сжимающих усилий. Таким образом, раствор окажется в более выгодном положении – в продольном и поперечном направлении он будет испытывать сжатие, чем кирпич, который в поперечном направлении будет испытывать растяжение, сопротивляемость которому мала.

Указанный эффект усугубляется разными значениями коэффициента поперечного расширения (коэффициент Пуассона), который у кирпича значительно меньше, чем у раствора.

Далее проанализируем работу фрагмента кладки (с перевязкой швов) при центральном сжатии (рис. 2.2).

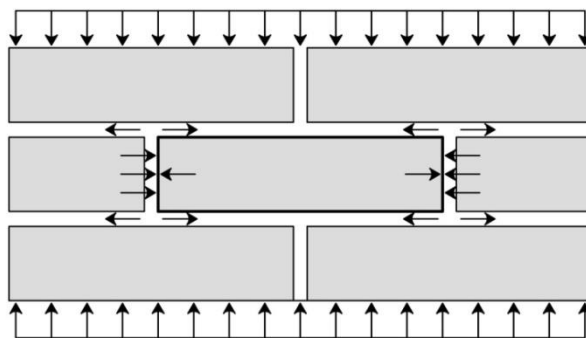


Рис. 2.2. Схема работы отдельного кирпича в поперечном направлении при центральном сжатии фрагмента кладки

В кладке, в отличие от образца-столбика, работа кирпичей в поперечном направлении на растяжение будет сдерживаться наличием раствора в вертикальных швах. Однако данное сдерживание не является существенным по ряду причин:

- из-за более высокой деформативности раствора относительно кирпича, последний испытывает малое сопротивление растяжению;
- усадка раствора в вертикальных швах носит свободный характер, что уменьшает плотность раствора и может привести к нарушению сцепления и отлипанию последнего от боковых граней кирпича. Усадка раствора в горизонтальных швах также имеет место, однако, из-за осадки кладки под давлением от собственного веса, раствор уплотняется, что, напротив, увеличивает его сцепление с кирпичом;

- низкое качество заполнения вертикальных швов. Данное явление особенно распространено в забутке кладок зданий старой городской застройки.

2) Неоднородностью растворной постели в швах (разная толщина шва и плотность раствора в нем). Данный фактор приводит, в основном, к восприятию кирпичом усилий от изгиба и среза.

Неоднородность растворной постели вызвана, главным образом, технологическими факторами. Рассмотрим данное явление также на примере кирпичной кладки (рис. 2.3).

Каменщик, при расстилании раствора, не может обеспечить постоянной толщины и правильной формы шва (рис. 2.3, а). Далее, уложив кирпич на раствор, каменщик начинает его рихтовать, чтобы тот занял необходимое положение в кладке (рис. 2.3, б). При этом рихтовка (постукивание по верхней грани кирпича) носит неодинаковый характер по поверхности, что приводит к неравномерному уплотнению раствора под кирпичом.

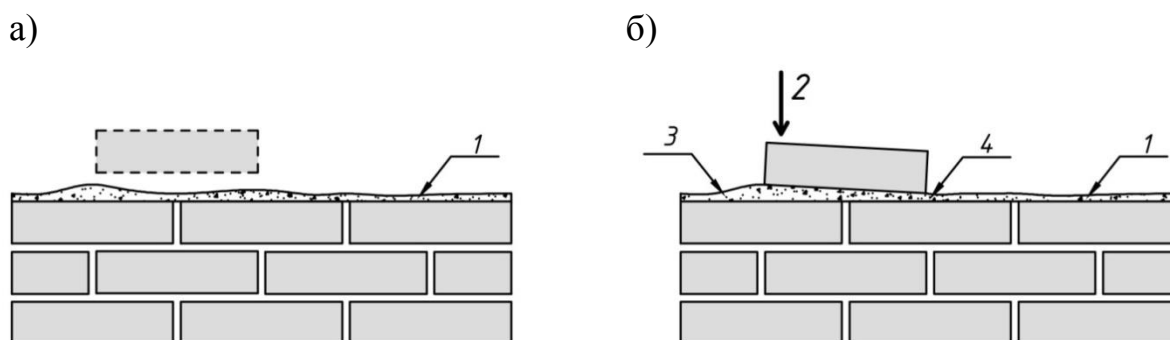


Рис. 2.3. Устройство кладки:

- а – расстилание раствора; б – рихтовка кирпича;
- 1 – растворная постель; 2 – направление рихтовки;
- 3 – более плотный участок раствора после рихтовки;
- 4 – менее плотный участок после рихтовки

Таким образом, неоднородность растворной постели в зависимости от взаимного расположения более и менее плотных участков раствора ставит отдельные кирпичи в условия работы на изгиб или срез (рис. 2.4).

Стоит отметить, что растягивающие напряжения, возникающие от изгиба камня, суммируются с растягивающими напряжениями, возникающими при его растяжении.

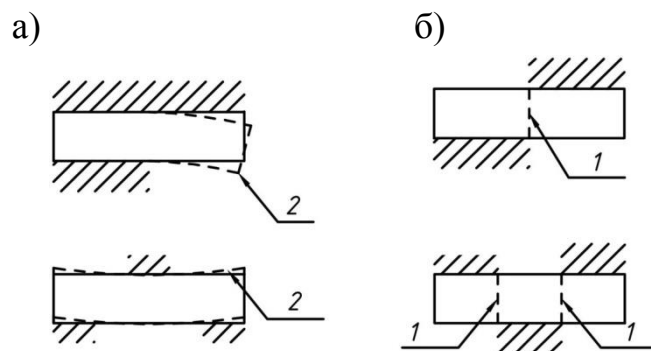


Рис. 2.4. Условные схемы работы отдельных кирпичей в кладке:
 а – работа камней на изгиб; б – работа камней на срез:
 1 – трещина; 2 – деформированное состояние при изгибе
 (штриховкой показаны более плотные участки раствора)

Также стоит отметить, что неоднородность растворной постели создает предпосылки для внецентренных и местных эффектов в камнях.

2.1.2. Стадии работы кладки при центральном сжатии

Анализ работы кладки при центральном сжатии проведем на образце-столбе, выполненном из кирпича.

По мере увеличения нагрузки от нулевой (не считая собственного веса образца) до разрушающей можно выделить четыре условных стадий работы кладки (рис. 2.5).

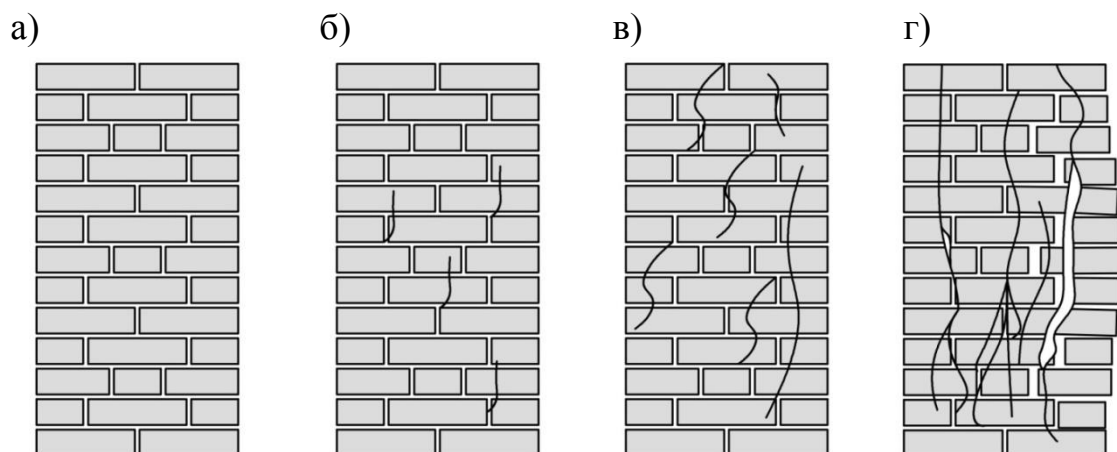


Рис. 2.5. Стадии работы кладки при центральном сжатии:
 а – первая стадия (до образования трещин); б – вторая стадия (образование и развитие трещин); в – третья стадия (слияние трещин в магистральные и сквозные); г – четвертая стадия (потеря устойчивости одного или нескольких разделенных трещинами столбиков)

Первая стадия характеризуется работой кладки до образования видимых трещин (рис. 2.5, а).

Первые трещины в кладке могут образоваться как в отдельных кирпичах, так и в растворе (обычно в угловых зонах кирпичей, где образуется концентратор напряжений). Однако на дальнейший характер трещинообразования и, в конечном счете, прочность кладки большее влияние оказывает трещины в кирпичах (из-за их большей хрупкости по сравнению с раствором).

Первые трещины в кирпичах возникают преимущественно от усилий растяжения, изгиба и среза (механизм трещинообразования описан выше).

При этом интенсивность сжимающих напряжений в кладке в конце первой стадии составляет в среднем 30-50% от предела прочности кладки при сжатии; интенсивность сжимающих напряжений в кирпичах с трещинами составляет в среднем 15-20% от предела прочности кирпича при сжатии.

Вторая стадия характеризуется образованием трещин и их развитием (рис. 2.5, б).

Трещинообразование развивается более активно с наружных слоев кладки, так как для внутренних слоев создается эффект обоймы (препятствие развитию поперечных деформаций со стороны наружных слоев).

Третья стадия характеризуется дальнейшим развитием уже существующих трещин и образованием новых (рис. 2.5, в).

На данной стадии наблюдается тенденция к слиянию трещин по высоте и глубине кладки (с захватом вертикальных растворных швов) с проявлением магистрального (на всю высоту кладки) и сквозного (по толщине кладки) характера.

Четвертая стадия характеризуется разделением кладки на отдельные участки и последующим разрушением образца (рис. 2.5, г).

В начале данной стадии происходит окончательное оформление магистральных и сквозных трещин, которые разделяют кладку на отдельные участки – «столбики». Далее, после достижения в одном из столбиков критической силы, данный столбик теряет устойчивость и разрушается (в физическом смысле).

Дальнейший характер разрушения кладки носит аналогичный характер. В итоге, кладка полностью разрушится вследствие последовательной потери устойчивости всех столбиков.

Таким образом, можно отметить, что разрушение кладки происходит не вследствие исчерпания прочности на сжатие отдельных кирпичей и раствора, а вследствие потери устойчивости разделенных трещинами столбиков, при этом прочность на сжатие, как кирпича, так и раствора остается недоиспользованной.

2.1.3. Общая формула для расчета прочности кладки при центральном сжатии; прочностные испытания камня и раствора

Прочность кладки при центральном сжатии естественным образом должна зависеть от прочности камня и раствора на сжатие. В то же время, как было показано выше, сопротивляемость кладки при сжатии зависит также от прочности кирпича на растяжение, изгиб и срез, что также должно найти отражение в формуле для расчета прочности кладки при сжатии.

На основе экспериментов, проведенных в 1930-е годы, профессор Л. И. Онищик предложил эмпирическую зависимость для расчета прочности кладки, которая учитывает указанные особенности сопротивляемости кладки. Данная зависимость, с некоторыми последующими уточнениями, принята в современной нормативной литературе в качестве основной для расчета предела прочности кладки при сжатии:

$$R_u = A \cdot R_1 \cdot \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2 \cdot R_1}} \right) \cdot \gamma, \quad (2.1)$$

где R_u – предел прочности кладки при сжатии, МПа;

R_1 – предел прочности камня при сжатии, МПа;

R_2 – предел прочности раствора при сжатии, МПа;

A – конструктивный коэффициент, зависящий от прочности камня и вида кирпичной кладки;

γ – поправочный коэффициент для кладок на растворах низких марок;

a, b, m , коэффициенты, принимаемые в зависимости от вида кладки.

n – Например, для кирпичной кладки: $a = 0,2$, $b = 0,3$, $m = 1,25$, $n = 3,0$.

Конструктивный коэффициент A определяется по формуле:

$$A = \frac{10 + R_1}{10 \cdot m + n \cdot R_1} . \quad (2.2)$$

Проведем анализ величин, входящих в зависимости (2.1) и (2.2):

а) Предел прочности камня при сжатии R_1 определяется путем испытаний на сжатие в соответствии с ГОСТ 8462-85 [15] (рис. 2.6).

Испытанию подлежат образцы, изготовленные из двух целых камней (для кирпича допускается изготовление образцов из двух его половинок).

Предел прочности образца при сжатии (МПа):

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F} , \quad (2.3)$$

где P – максимальная нагрузка, при котором разрушается образец, кН;

F – среднеарифметическое значение площадей верхней и нижней грани образца, м^2 .

За предел прочности камня при сжатии R_1 (МПа) принимается среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

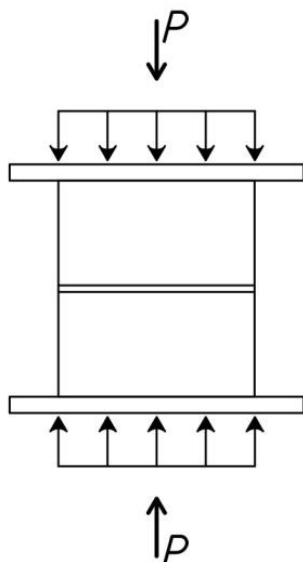


Рис. 2.6. Схема испытания кирпича на сжатие

б) *Предел прочности раствора при сжатии R_2* определяется путем испытаний на сжатие в соответствии с ГОСТ 5802-86 [16] (рис. 2.7):

- при определении прочности раствора устраиваемых кладок испытанию подлежат образцы-кубы с размером ребра 70,7 мм (рис. 2.7, а);

- при определении прочности раствора существующих кладок испытанию подлежат образцы-кубы с ребрами 20-40 мм, которые изготовлены из двух пластинок, взятых из горизонтальных швов кладки (рис. 2.7, б).

Предел прочности образца при сжатии (МПа)

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (2.4)$$

где P – максимальная нагрузка, при которой разрушается образец, кН;

F – среднеарифметическое значение площадей верхней и нижней грани образца, м^2 .

За предел прочности раствора при сжатии R_2 (МПа) принимается среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

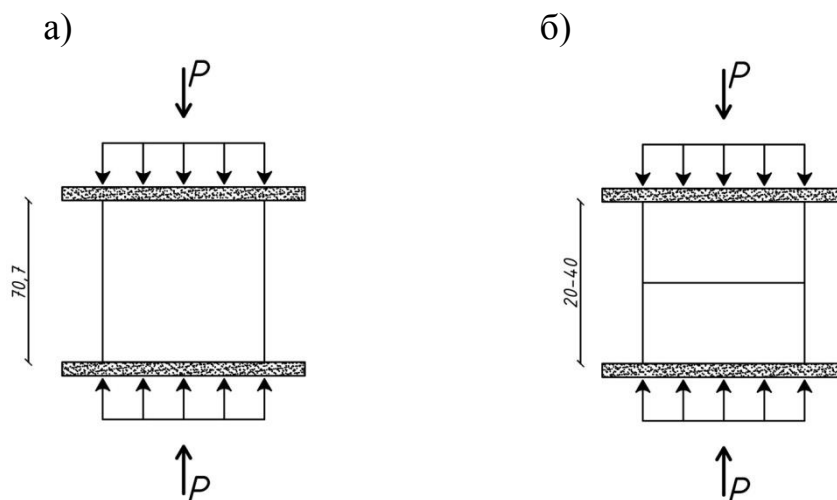


Рис. 2.7. Схема испытания раствора на сжатие:

а – при определении прочности устраиваемых кладок;

б – при определении прочности существующих кладок
(размеры даны в мм)

в) *Конструктивный коэффициент A ; предел прочности кирпича при изгибе $R_{изг}$.*

Выше было показано, что прочность камня и раствора на сжатие определяют прочность кладки не вполне. Существенными оказываются

также прочность камня на растяжение, изгиб и срез, за что и отвечает конструктивный коэффициент A .

Однако непосредственно в коэффициенте A отображена только прочность камня при изгибе $R_{изг}$. Данное обстоятельство объясняется следующим:

- растягивающие напряжения, возникающие при растяжении камня, суммируются с растягивающими напряжениями, возникающими при его изгибе, то есть растяжение учтено косвенно через изгиб;

- для камней с непрерывным строением (без трещин) предел прочности при изгибе достигается раньше, чем при срезе;

- для трещиноватых камней наличие трещин при срезе может негативно сказаться только в том случае, если трещины попадут в сечение среза. При изгибе же, трещины негативно сказываются при их наличии в зоне с наибольшими изгибающими моментами. То есть достижение предела прочности при изгибе более вероятно, чем при срезе.

Стоит отметить наличие зависимости между сопротивлением камня сжатию и изгибу (рис. 2.8), при этом сопротивление камня изгибу не пропорционально его сопротивлению сжатию, а несколько отстает от него. Поэтому с увеличением марки камня конструктивный коэффициент A уменьшается (рис. 2.9).

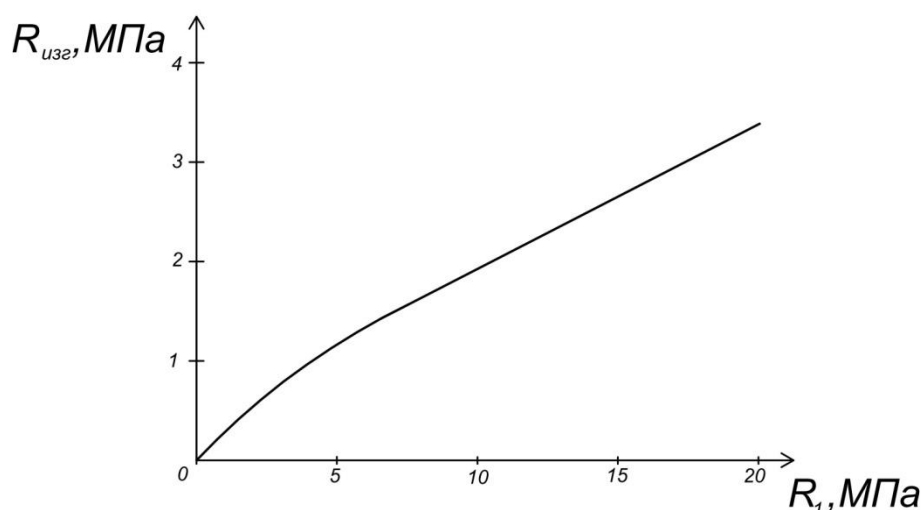


Рис. 2.8. Зависимость прочности кирпича на изгиб $R_{изг}$ от прочности на сжатие R_1

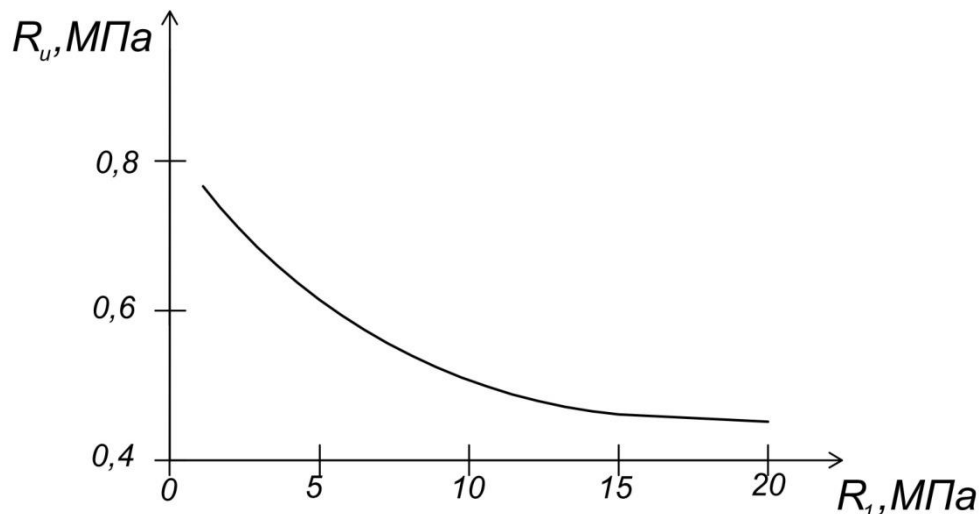


Рис. 2.9. Зависимость конструктивного коэффициента A от прочности кирпича на сжатие R_1

В итоге, в выражение для вычисления конструктивного коэффициента A вошло соотношение показателей прочности на сжатие и изгиб:

$$A = \frac{1,2}{1 + \frac{R_1}{3R_{изг}}} . \quad (2.5)$$

Однако на практике при вычислении конструктивного коэффициента A пользуются приведенной выше зависимостью (2.2), в которую входит только прочность камня на сжатие:

$$A = \frac{10 + R_1}{10 \cdot m + n \cdot R_1} .$$

При этом прочность кирпича на изгиб должна быть не меньше некоторых значений, установленных ГОСТ 530-2007 [17] и ГОСТ 379-95 [18].

ГОСТ 530-2007 [17] и ГОСТ 379-95 [18] марку кирпича по прочности устанавливают по значениям пределов прочности при сжатии и изгибе (камня – по значению предела прочности при сжатии).

Предел прочности кирпича при изгибе $R_{изг}$ определяется путем испытаний на изгиб в соответствии с ГОСТ 8462-85 [15] (рис. 2.10).

Испытанию подлежат целые кирпичи, установленные на две опоры; нагрузка прикладывается равномерно по ширине кирпича в середине пролета.

Предел прочности образца при изгибе (МПа) вычисляют по известной формуле сопротивления материалов:

$$\sigma_{изг} = \frac{M}{W} = \frac{P \cdot l / 4}{b \cdot h^2 / 6} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (2.6)$$

где P – максимальная нагрузка, при котором разрушается образец, кН;

l – расстояние между осями опор, м;

b, h – среднеарифметические значения соответственно ширины и высоты образца посередине пролета, м.

За предел прочности кирпича при изгибе $R_{изг}$ (МПа) принимается среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

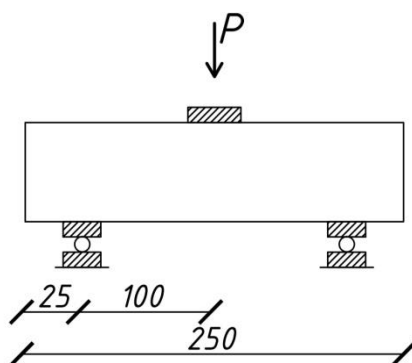


Рис. 2.10. Схема испытания кирпича на изгиб

Учитывая вышесказанное, можно отметить, что более предпочтительно при анализе прочности камня пользоваться не его прочностью на сжатие R_1 , а его конструктивной прочностью $A \cdot R_1$, которая отображает прочность камня, как при сжатии, так и при изгибе (а также, учитывая вышесказанное, при растяжении и срезе), что лучше отражает поведение камня непосредственно в кладке. Конструктивная прочность также показывает, что прочность камня при сжатии не используется полностью, так как A всегда меньше единицы.

г) *Эмпирические коэффициенты a, b, m, n* – коэффициенты, зависящие от вида кладки и размера камней.

Прочность камня при растяжении, изгибе и срезе пропорциональны значениям геометрических характеристик поперечного сечения: моменту сопротивления для изгиба и площади сечения для среза и растяжения. С увеличением высоты камней указанные характеристики возрастают, что приводит к увеличению прочности кладки.

Кроме этого, чем большего размера используются камни, тем меньше раствора приходится на единицу объема кладки, что уменьшает усилия в камне от растяжения, изгиба и среза, что, в свою очередь, увеличивает прочность кладки.

Для пустотелых камней, как момент сопротивления, так и площадь сечения значительно ниже соответствующих характеристик полнотелых камней, что снижает прочность кладки. Кроме этого, наличие пустот увеличивает неравномерность растворной постели; появление трещин в тонких стенках между пустотами ведет к выпучиванию этих стенок. Все это снижает прочность кладки, выполненной из пустотелых камней, по сравнению с полнотелыми.

Кроме указанных, существуют и другие закономерности изменения прочности кладки от вида применяемых в кладке камней, что и учитывают коэффициенты a , b , m , n .

Понижающий коэффициент γ вводится для кладок на растворах низких марок.

Введение коэффициента γ обусловлено большей деформативностью раствора низких марок, что увеличивает усилия в камне от растяжения изгиба и среза, и, соответственно, снижает прочность кладки.

Пользуясь выражением (2.1) проанализируем характер зависимости прочности кладки от прочности камня и раствора при сжатии.

На рис. 2.11 представлен график зависимости прочности кладки от прочности камня при постоянной прочности раствора.

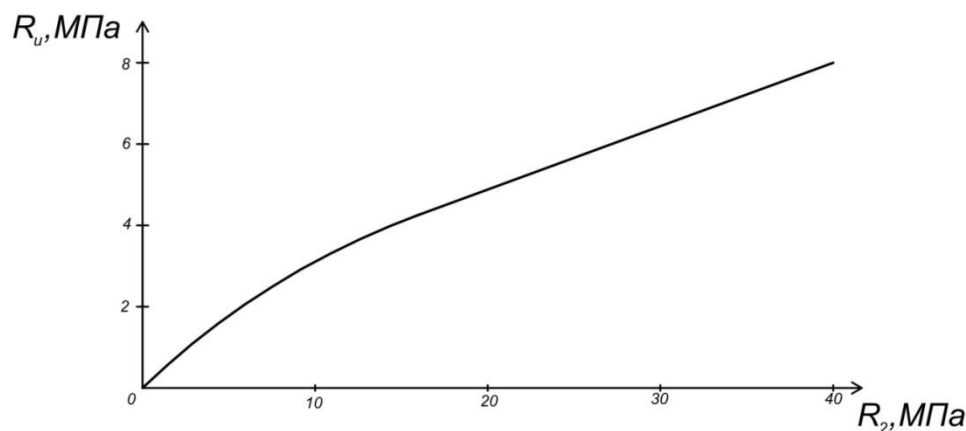


Рис. 2.11. Зависимости прочности кладки от прочности камня R_1 при прочности раствора $R_2 = 10$ МПа

На рис. 2.12 представлен график зависимости прочности кладки от прочности раствора при постоянной прочности камня.

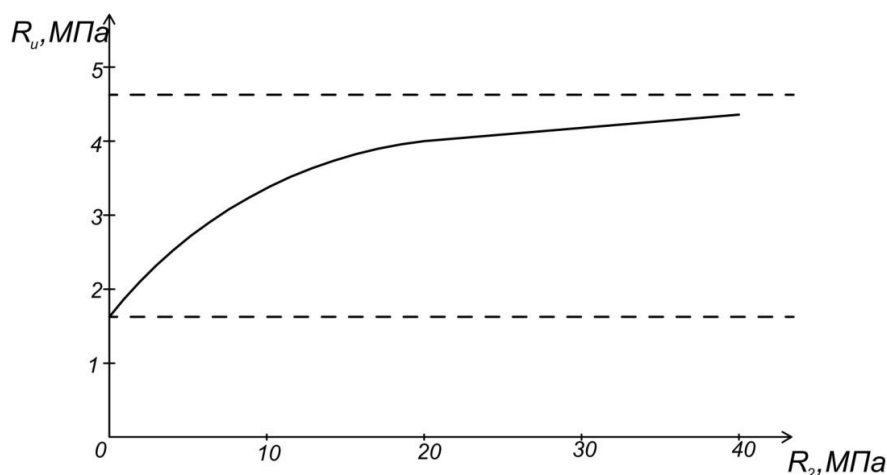


Рис. 2.12. Зависимости прочности кладки от прочности раствора R_2 при прочности камня $R_1=10$ МПа

Кроме этого, вычислим значения прочности кладки при постоянной прочности камня при условно нулевой и бесконечной прочности раствора R_2 .

$$\text{- при } R_2 \rightarrow 0: R_u = R_0 = A \cdot R_1 \cdot \left(1 - \frac{a}{b}\right); \quad (2.7)$$

$$\text{- при } R_2 \rightarrow \infty: R_u = R_\infty = A \cdot R_1. \quad (2.8)$$

Анализ графика на рис. 2.11 позволяет отметить увеличение прочности кладки при увеличении прочности камня.

Анализ графика на рис. 2.12 и зависимостей (2.7) и (2.8) позволяет отметить:

- прочность кладки существенно увеличивается при росте прочности раствора только при низкой прочности последнего. После некоторого значения рост прочности раствора практически не оказывает влияния на прочность кладки; при этом можно отметить наличие верхнего предела R_∞ ;
- кладка даже при нулевой прочности раствора (свежеуложенный раствор или оттаявший раствор замороженной кладки) обладает некоторой начальной прочностью R_0 (например, для кирпичной кладки $R_u/R_0 \approx 2 \dots 3$).

В итоге, можно отметить, что для повышения прочности кладки при сжатии (при использовании камня и раствора высоких марок) более эффективным оказывается повышение прочности камня, нежели раствора.

Расчетное сопротивление кладки сжатию

Стоит еще раз подчеркнуть, что вышеприведенные пределы прочности камня и раствора, а также коэффициенты, входящие в зависимости (2.1) и (2.2) для вычисления предела прочности кладки при сжатии R_u , носят средний характер, то есть без учета статистического разброса. Кроме этого, на прочность кладки оказывают влияния множество факторов, описанные ниже, учесть которые не представляется возможным (например «руку каменщика»).

Статистический разброс и другие факторы, влияющие на прочность кладки и не нашедшие отражения в зависимости (2.1) и (2.2) учитываются путем деления предела прочности кладки при сжатии R_u на коэффициент надежности по кладке $k = 2,0$ (для кладки из крупных и мелких блоков из ячеистых бетонов $k = 2,2$).

В итоге, расчетное сопротивление кладки сжатию R :

$$R = \frac{R_u}{k} . \quad (2.9)$$

Стоит отметить необоснованность выбора значения для указанного коэффициента.

Расчетные сопротивления кладок в зависимости от марок камня и раствора приведены в Таблицах 2-10 СП 15.13330.2012 [14].

Существуют следующие возможные варианты определения расчетного сопротивления кладки сжатию:

а) При проектировании каменных конструкций назначают марки камня и раствора исходя из опыта проектирования с учетом результатов расчета. Далее, по Таблицам 2-10 СП 15.13330.2012 определяют расчетное сопротивление кладки сжатию R .

б) При анализе прочности существующих кладок определяют пределы прочности камня и раствора при сжатии (кирпича – при сжатии и изгибе) в соответствии с приведенными выше ГОСТ-ами. Далее:

- либо по значениям прочностей камня и раствора устанавливают соответствующие марки по ГОСТ 530-2007 [17] и ГОСТ 379-95 [18], по которым определяют расчетное сопротивление кладки по Таблицам 2-10 СП 15.13330.2012 [14];

- либо непосредственно вычисляют предел прочности кладки при сжатии R_u по зависимости (2.1), с последующим определением расчетного

сопротивления кладки сжатию R по зависимости (2.9). При этом значение конструктивного коэффициента A вычисляют по зависимости (2.2), а для кирпичной кладки – по зависимости (2.2) при условии соответствия прочности кирпича при изгибе требуемой марки и по зависимости (2.5) – в противном случае.

В завершении стоит отметить, что приведенные выше зависимости, полученные в результате испытаний кирпича и раствора, не отражают их истинной прочности в кладке, где они находятся в условиях сложного напряженно-деформированного состояния. Данные зависимости позволяют лишь установить зависимость между прочностью камня и раствора с одной стороны и непосредственно прочностью кладки – с другой.

2.1.4. Влияние различных факторов на прочность и деформативность кладки при центральном сжатии

Кроме отмеченных выше особенностей (работа камня в кладке на растяжение, изгиб и срез) на конечную прочность кладки оказывают влияния и ряд других факторов, не нашедших отражения в зависимости (2.1), поэтому требующих отдельного конструктивного или технологического контроля.

1) Влияние толщины горизонтальных растворных швов

Толщина горизонтальных швов определяется, прежде всего, отклонениями геометрии камней от правильной формы (рис. 2.13).

При искривленных поверхностях камней, а также наличии колебаний размеров камней друг относительно друга, сложнее добиться равномерной передачи давления от выше- к нижерасположенным камням и, соответственно, для получения более однородной растворной постели, толщину горизонтальных швов требуется увеличить. Однако при увеличении толщины шва растут продольные и, соответственно, поперечные деформации кладки, что создает неблагоприятные условия для работы камня на растяжение и изгиб.

Наоборот, чем более геометрически правильные камни используются, тем проще добиться равномерной передачи давления от выше- к нижерасположенным камням и тем меньшая толщина шва требуется. Однако, слишком сильное утоньшение не позволит создать равномерную постель,

что создает неблагоприятные условия для работы камня на изгиб и срез, а также появление местных эффектов.

В зависимости от того, какой из факторов при утолщении / утоньшении швов окажется весомее, прочность кладки может или увеличиться или уменьшиться.

В нормативной литературе (п 7.6, СНиП 3.03.01-87) толщина горизонтальных швов кладки из кирпича и камней правильной формы регламентирована 12 мм, что отражает среднее качество кирпича.

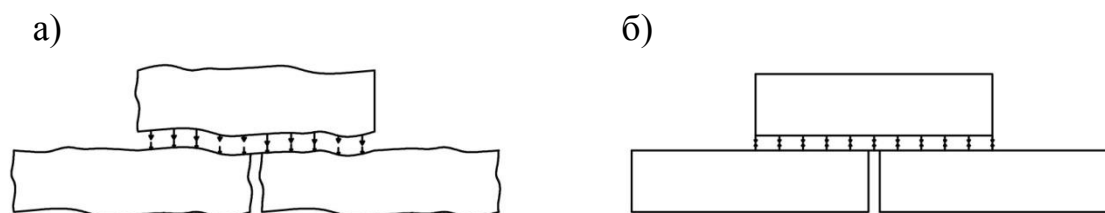


Рис. 2.13. Схема влияния толщины горизонтальных швов на прочность кладки:

а – при искривленных поверхностях камня;

б – при отсутствии искривленностей поверхностей камня

2) Влияние толщины и заполненности вертикальных швов

Толщина и заполненность вертикальных швов менее отражается на конечной прочности кладки при сжатии, чем горизонтальных. Однако, как было отмечено выше, вертикальные швы, хоть и не так существенно, но препятствуют работе камней на растяжение (и косвенно – на изгиб). Причем чем толще шов, тем меньше сопротивляемость раствора (из-за его высокой деформативности), чем тоньше – тем более проявляются местные эффекты в камнях.

При отсутствии раствора в вертикальных швах, отсутствует сопротивление камней растягивающим усилиям (косвенно – изгибу). При плохой заполненности швов раствором возникает концентрация напряжений на боковых гранях камня, а также внецентренные эффекты.

Кроме этого, плохая заполненность вертикальных швов раствором увеличивает продуваемость кладки (особенно это актуально для кладок с небольшой толщиной, кладок лишенных штукатурных слоев, а также кладок в составе многослойных конструкций).

Стоит отметить, что в настоящее время, а особенно в зданиях старой городской застройки, заполненности вертикальных швов раствором не уделяется должного внимания. Более того, в старой литературе для увеличения теплотехнических характеристик кладки даже рекомендовали вести забутку кладки без заполнения вертикальных швов.

В нормативной литературе (п. 7.6, СНиП 3.03.01-87) толщина вертикальных швов кладки из кирпича и камней правильной формы регламентирована 10 мм.

3) Влияние системы перевязки кладки

Как отмечено выше, последняя стадия работы кладки под нагрузкой характеризуется потерей устойчивости столбиков, на которые разделилась кладка трещинами. При отсутствии перевязки, кладка оказывается изначально поделенной на столбики (кладка расслаивается), связанные друг с другом раствором в вертикальных швах. В этом случае сопротивляемость столбиков потере устойчивостью обусловлено касательным сцеплением раствора с кирпичом, которое крайне мало (см. ниже).

При этом перевязка должна осуществляться как в поперечном направлении (по толщине стены), что достигается чередованием по высоте кладки ложковых и тычковых рядов, так и в продольном (по длине стены), что достигается смещением выше- и нижерасположенных ложковых рядов друг относительно друга.

В зданиях старого фонда применялась различная система перевязки, однако наибольшего распространения получила цепная (или английская); кладка сложенная в данной системе перевязки считалась тогда наиболее прочной (рис. 2.14, а). Однако впоследствии было установлено, что перевязка незначительно влияет на конечную прочность кладки при соблюдении ряда технологических требований (см. ниже). Поэтому в строительную практику начали вводить американский вариант перевязки, когда несколько ложковых рядов перекрываются одним тычковым; кладку сложенную в данной системе перевязки стали называть многорядной (рис. 2.14, б).

Стоит отметить, что первые трещины в кладке с многорядной перевязкой возникают при меньшей нагрузке, чем в цепной, однако их конечная прочность соизмерима.

В настоящее время большее применение получила многорядная (трехрядная и пятирядная) система перевязки (за исключением облицовочных слоев, где к перевязке предъявляются, кроме прочего, требования декоративности).

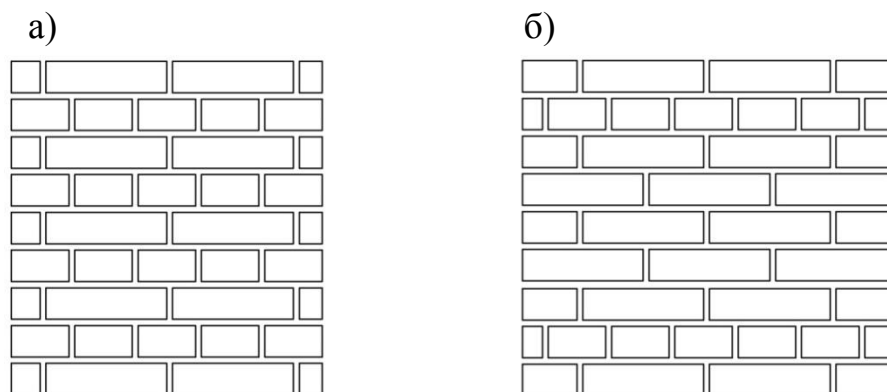


Рис. 2.14. Наиболее распространенные системы перевязки:
а – цепная система перевязки; б – многорядная система перевязки

Стоит отметить, что кладка, выложенная в многорядной системе перевязки, обладает рядом достоинств по сравнению с кладкой, выложенной в цепной системе:

- лучшая сопротивляемость изгибу при развитии неравномерных осадок фундаментов. В цепной системе перевязки горизонтальные швы перекрываются сдвигом следующего ряда на $\frac{1}{4}$ кирпича, в многорядной – на $\frac{1}{2}$ кирпича. При осадках (осадочные трещины в большинстве случаев наклонные) в кладке с цепной перевязкой трещине в вертикальном шве легче «перескочить» на ниже- и вышележащий вертикальный шов, чем в кладке с многорядной перевязкой (рис. 2.15).

Таким образом, в кладке с цепной перевязкой образуется наклонная ступенчатая трещина, практически не затрагивающая камни. Сопротивляемость кладки развитию трещин, в данном случае, обусловлена сопротивляемостью горизонтальных и вертикальных швов срезу (сопротивляемость вертикальных швов срезу крайне низка по причинам, описанным ниже).

В кладке с многорядной перевязкой трещина затрагивает кроме горизонтальных швов, также и отдельные кирпичи. Сопротивляемость кладки развитию трещин, в данном случае, обусловлена сопротивляемостью горизонтальных швов и кирпича срезу. Причем общая длина горизонталь-

ных швов больше, чем в цепной перевязке, а значит и сопротивление срезу выше; сопротивление кирпича срезу также значительно выше сопротивлению вертикальных швов.

Стоит отметить, что в массивных стенах старой городской застройки трещины от неравномерных осадок встречаются гораздо чаще, чем от перегруза (по причине больших запасов прочности на сжатие). Таким образом, в массивных стенах более предпочтительно преобладание ложковых рядов.

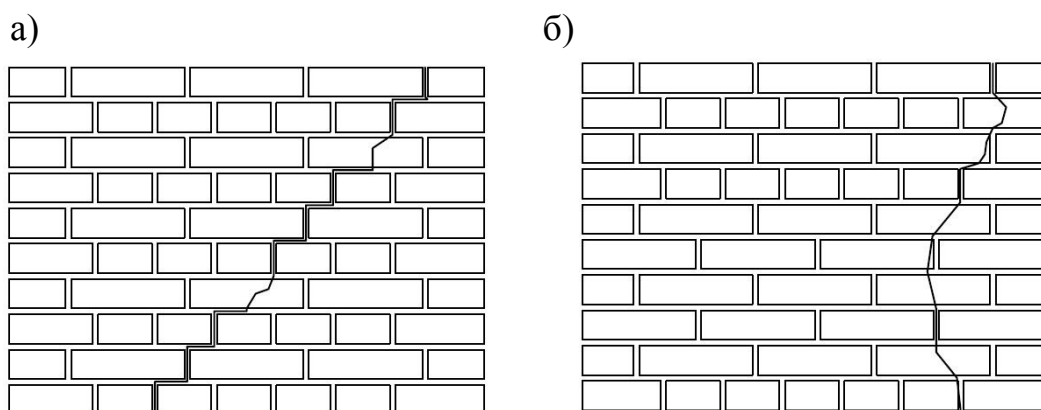


Рис. 2.15. Схема влияния системы перевязки на трещинообразование:
а – цепная система перевязки; б – многорядная система перевязки

- лучшая сопротивляемость срезу по перевязанному сечению, например, при местных нагрузках от опирающихся на кладку балок, а также растяжению, что объясняется теми же факторами.

Также стоит отметить:

- при строительстве зданий старой городской застройки часто подобающим образом выкладывали наружную и внутреннюю версты, забутку же выкладывали половником, в сок, с расщебенкой кирпичной мелочью и заливкой жидким раствором, что отрицательным образом сказывается на конечной прочности стен и их теплотехнических свойствах;

- прочность бутовой кладки сильно зависит от перевязки: прочность кладки из «непостелистого» бута, дающего плохую перевязку кладки, в среднем в 1,5 раза меньше по сравнению с кладкой из «постелистого» бута.

Основные технологические требования, касающиеся перевязки кладки, из камней правильной формы сводятся к наличию в кладке определенного количества тычков, обеспечивающее способность не расслаиваться на отдельные участки (монолитность кладки) по толщине стены.

Технологические требования по перевязке кирпичной кладки включают в себя следующие основные требования:

- в кладке из полнотелого кирпича толщиной 65 мм должен быть один тычковый ряд максимум на шесть ложковых рядов кладки, из кирпичей толщиной 88 мм и пустотелого кирпича толщиной 65 мм – один тычковый ряд максимум на три ряда кладки;

- тычки могут располагаться как в отдельных рядах, так и чередоваться с ложковыми;

- вертикальные поперечные швы кладки в каждом ряду смещаются один по отношению к другому на $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ длины камня.

Стоит отметить, что наиболее важна правильная система перевязки при сопротивляемости кладки внецентренному сжатию, растяжению, изгибу и срезу (см. ниже).

4) Влияние размеров сечения кладки

Размеры сечения кладки имеет существенное значение на конечную прочность кладки; данное явление носит название масштабного фактора.

Формула профессора Онищика, а также другие зависимости, получены по результатам испытания стандартных образцов кладки: например, для кирпичной кладки толщина образцов – 1,5-2 (380-510 мм) кирпича с отношением высоты образца к наименьшему сечению около 3 (рис. 2.16, б).

Прочность кладки толщиной 0,5 кирпича (120 мм) оказывается на 10-25% выше прочности стандартных образцов; в массивных конструкциях эффект противоположен, то есть прочность уменьшается с увеличением толщины кладки. Данное явление объясняется тем, что тонкие стены можно рассматривать как элементы, испытывающие плоское напряженное состояние (рис. 2.16, а); массивные же стены находятся в объемном напряженном состоянии, при котором несовершенства кладки в третьем направлении отражаются более существенным образом (рис. 2.16, в).

Нормативная литература данного масштабного фактора не учитывает; поэтому при расчетах, для более тонких кладок мы имеем некоторый запас прочности, для более массивных – завышение прочности.

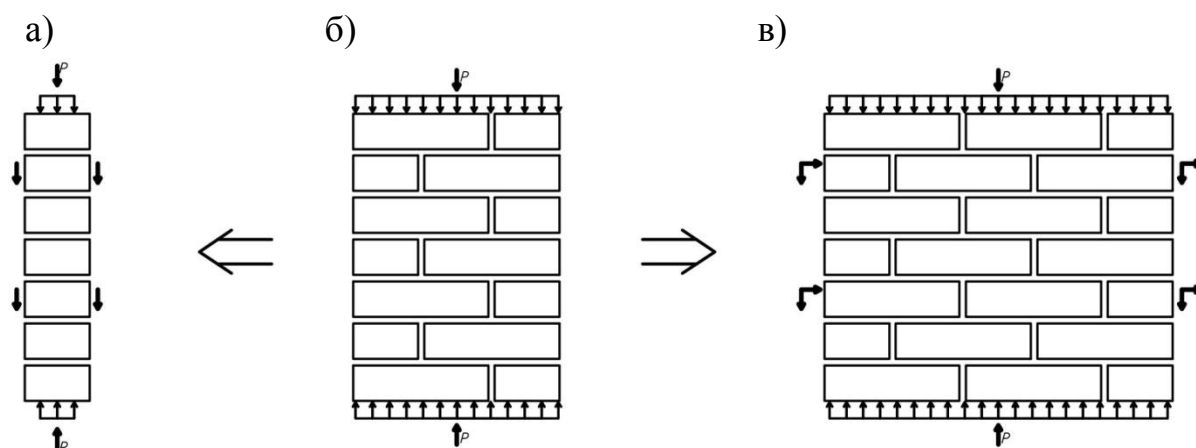


Рис. 2.16. Схема влияния размеров сечений кладки на ее прочность:

а – кладка в 0,5 кирпича (работа сечения в одной плоскости);

б – стандартная толщина кладки при испытаниях;

в – кладка в 2,5 кирпича (работа сечения в двух плоскостях)

5) Влияние длительности пребывания кладки под нагрузкой; ползучесть кладки

При длительном действии нагрузки деформации в кладке оказываются больше чем при кратковременном ее действии. Объясняется данный эффект, в первую очередь, ползучестью кладки, то есть увеличением деформаций во времени при постоянной интенсивности напряжений.

Ползучесть кладки зависит от ряда факторов, среди которых: возраст кладки к моменту загрузки, длительность загрузки, величина нагрузки, материалы, применяемые для изготовления раствора, размеры и вид применяемого камня.

В зависимости от интенсивности сжимающих напряжений σ , ползучесть можно поделить на линейную, когда деформации ползучести пропорциональны напряжениям (в среднем при $\sigma \leq 0,5 \cdot R_u$, что соответствует напряжениям в момент появления в кладке первых трещин) и нелинейную, когда пропорциональность нарушается вследствие нарушения структуры материала. При развитии нелинейной ползучести рост неупругих деформаций обгоняет рост напряжений и тем больше, чем больший уровень интенсивности напряжений будет установлен.

Причем, если кладка испытывает постоянные напряжения, близкие к предельным $(0,8 \div 0,9)R_u$, то затухания деформаций во времени не наблюдается, деформации ползучести накладываются на деформации, связанные с

постепенным разрушением кладки, и интенсивно возрастают вплоть до разрушения.

Стоит отметить, что ползучесть кладки зависит и от возраста кладки к моменту загрузки. Ползучесть окажется тем меньшей, чем большим будет ее возраст к моменту загрузки. Причем скорость протекания ползучести также зависит от возраста кладки: чем моложе кладка к моменту ее загрузки, тем больше будет скорость роста ползучести кладки в начальный период и тем меньшей – в последующий период.

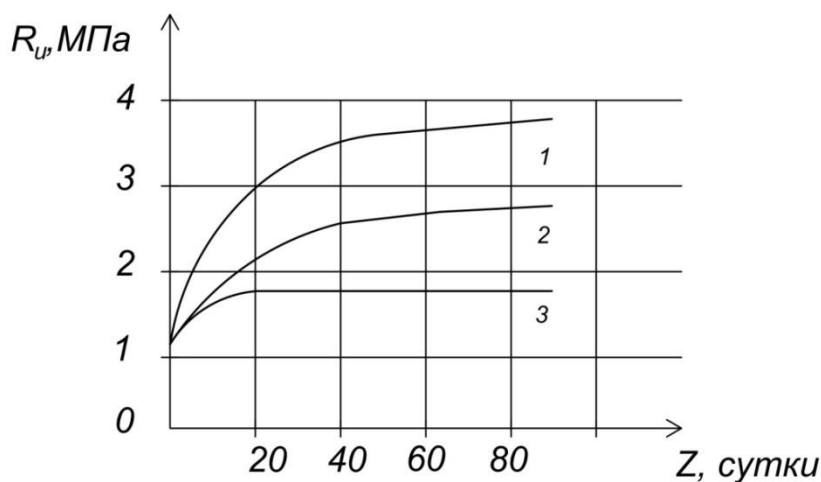


Рис. 2.17. Предел прочности кладки из кирпича марки 100 в зависимости от длительности твердения:
1 – раствор марки 100; 2 – раствор марки 25; 3 – раствор марки 4

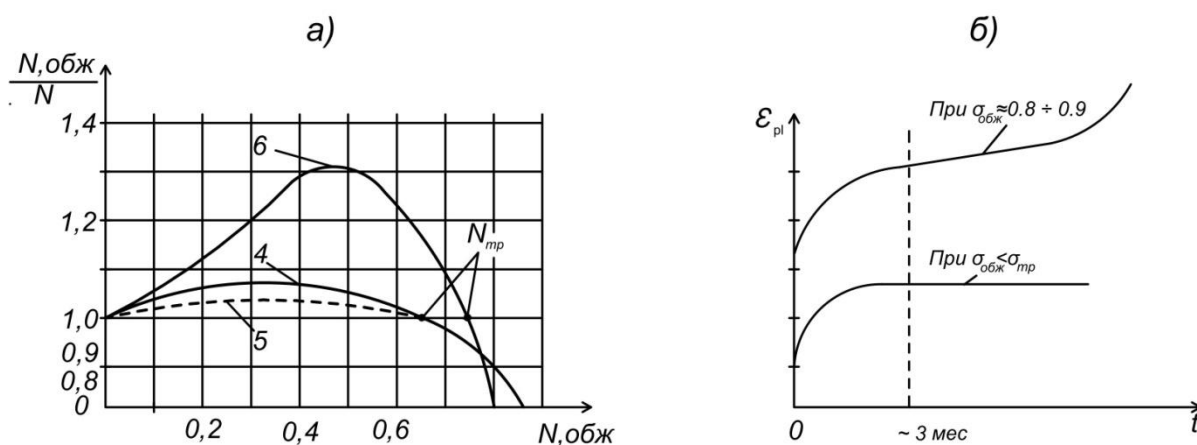


Рис. 2.18. Прочность кладок из кирпича (4), природных камней (5) и прочность раствора (6) в зависимости от относительной величины сжимающей силы

б) Влияние типа раствора, его водовяжущего отношения, вододерживающей способности и подвижности. Влияние типа камня и его абсорбционной способности

Испарение избыточной части воды при твердении раствора приводит к образованию воздушных пор, что снижает прочность раствора. Однако вода в процессе твердения необходима не только для придания раствору прочности, но и для получения необходимой подвижности, которая должна обеспечить равномерность растворной постели (применение прочных, но малоподвижных (жестких) растворов может привести к снижению прочности кладки, по сравнению с менее прочными, но подвижными растворами). Однако высокое содержание воды увеличивает количество пор и снижает клеящие способности геля.

Цементные растворы отличаются способностью легко отдавать влагу. Будучи помещенными на сухое пористое основание (ряды камней), эти растворы могут отдавать воду даже в большем количестве, чем это необходимо для оптимального протекания процессов твердения вяжущего. Кроме того, такие растворы быстро теряют подвижность (особенно в слоях, непосредственно прилегающих к кирпичу) и не могут равномерно и одинаково плотно заполнить занимаемый ими объем. Вследствие этого в образцах образуются разные по прочности и деформативности участки, неблагоприятно влияющие на работу образцов под нагрузкой. С увеличением влажности основания (камней) скорость отсоса воды из раствора постепенно падает, благодаря чему улучшаются условия для уплотнения и отвердения раствора, что вызывает повышение его прочности.

Большинство кладочных камней представляют собой капиллярно-пористую структуру, то есть способную поглощать воду из раствора. Твердение раствора в швах в абсорбирующей среде приводит к снижению водоцементного отношения, что повышает его прочность.

Причем увеличение влажности кирпича вначале содействует повышению прочности раствора, а затем – его заметному снижению.

Отмеченное улучшение условий твердения раствора имеет место до тех пор, пока увеличение влажности основания не вызовет обратное явление: такое ослабление абсорбционных свойств кирпича, когда кирпич уже не сможет отобрать из раствора нужного для оптимальных условий твер-

дения цемента количества влаги. При полном насыщении кирпича водой, скорость абсорбции равна нулю.

Прочность цементно-известковых жестких растворов по мере увеличения влажности основания повышается. Такие растворы не только не отдают кирпичу влагу, а отбирают ее.

Известковые растворы обладают высокой водоудерживающей способностью. В связи с этим увеличение влажности основания приводит к снижению прочности раствора.

Твердение раствора сопровождается процессом его усадки, наиболее интенсивной в начальной стадии. При твердении на плотном основании, наибольшую усадку дают известковые растворы, наименьшую – цементные. Однако при твердении на пористом основании с высокой абсорбционной способностью (кирпич) результат оказывается противоположным. Объясняется данное явление разной водоудерживающей способностью цементного и известкового растворов.

Различная скорость твердения раствора на различных участках шва, вызванная:

- непостоянство абсорбционных свойств камня по постели, вызванная технологией производства (обжиг);
- непостоянство свойств раствора по плоскости шва;
- неравномерность обжата каменщиком раствора и колебания в толщине шва.

В результате отдельные участки шва, отвердевшие быстрее, приобретают повышенную жесткость, что приводит к неравномерной усадке и к нарушению контакта между кирпичом и раствором. Данные эффекты наиболее проявляются для цементных растворов.

7) Влияние «руки каменщика», коэффициент запаса прочности кладки

Квалификация каменщика существенным образом влияет на конечную прочность кладки.

Позволим себе привести данные сравнительного анализа прочности кладок, выполненных каменщиками различной квалификации, проведенного в Центральном научно-исследовательском институте промышленных зданий (ЦНИПС) при установлении норм проектирования. За нормативную прочность (вошедшую в нормы) была принята прочность кладки, которую выполнил лабораторный каменщик П. Шмачилин, обладавший

сравнительно низкой квалификацией. Если ввести некоторый коэффициент γ , отражающий квалификацию каменщика, и принять для прочности кладки выполненной указанным каменщиком $\gamma = 1$, то по результатам сравнительного анализа наибольшую прочность показала кладка, выполненная опытным каменщиком Самариным ($\gamma = 1,95$), наименьшую – выполненная молодым каменщиком Моруговым, прошедшим четырехмесячную подготовку ($\gamma = 0,93$).

Таким образом прочность кладки различалась более чем в 2 раза; в реальных же условиях различия могут быть еще существеннее.

Стоит отметить, что кроме непосредственно квалификации каменщика, на конечную прочность кладки оказывает влияние ряд других технологических факторов, например, способ расстилания раствора, что влияет на форму шва, наличие в ней пустот и, следовательно, на однородность растворной постели.

Положительным образом сказывается быстрые темпы кладки, когда под действием веса вышележащей кладки еще не затвердевший раствор уплотняется и образовавшиеся вследствие удаления части воды поры заполняются растворной массой. Удаление же воды в более поздний период образует пустые поры, которые, с одной стороны напрямую уменьшают прочность раствора, а с другой – ускоряют процесс высыхания раствора, что вызывает преждевременное прекращение процессов твердения и роста прочности раствора. Обжатие кладки до отвердения раствора также сглаживает неоднородность растворной постели в швах.

Очевидно, что при проектировании каменных конструкций невозможно предугадать квалификацию того каменщика, который будет выполнять кладку, темпы строительства и множество других технологических факторов. При анализе существующих кладок по визуальным признакам можно выявить качество кладки, однако вопрос определения коэффициента γ остается открытым.

Стоит еще раз отметить, что в качестве нормативной прочности кладки принята прочность кладки, выполненная каменщиком невысокой квалификации, то есть в реальных условиях при ведении кладки опытным каменщиком и при соблюдении необходимых технологических требований, прочность кладки может оказаться существенно выше.

2.1.5. Деформационные характеристики кладки при центральном сжатии

Как известно, основные деформационные характеристики материалов определяются по результатам их испытаний (для хрупких материалов – на сжатие) и анализа кривой деформаций, устанавливающей зависимость между напряжениями σ и относительными деформациями ϵ (зависимость σ – ϵ).

Кладка является упругопластическим материалом не следующим закону Гука, то есть зависимость σ – ϵ для нее криволинейна (рис. 2.19). Причем для камня зависимость σ – ϵ близка к линейной, для раствора же она криволинейна.

Кроме этого, раствор более деформативнее камня (остаточные относительные деформации после разрушения при сжатии для раствора в среднем в 10 раз больше чем для камня). То есть при испытании на сжатие образцов кирпича и раствора одинаковой формы и приложении к ним нагрузки равной интенсивности раствор получит существенно большее укорочение, чем камень.

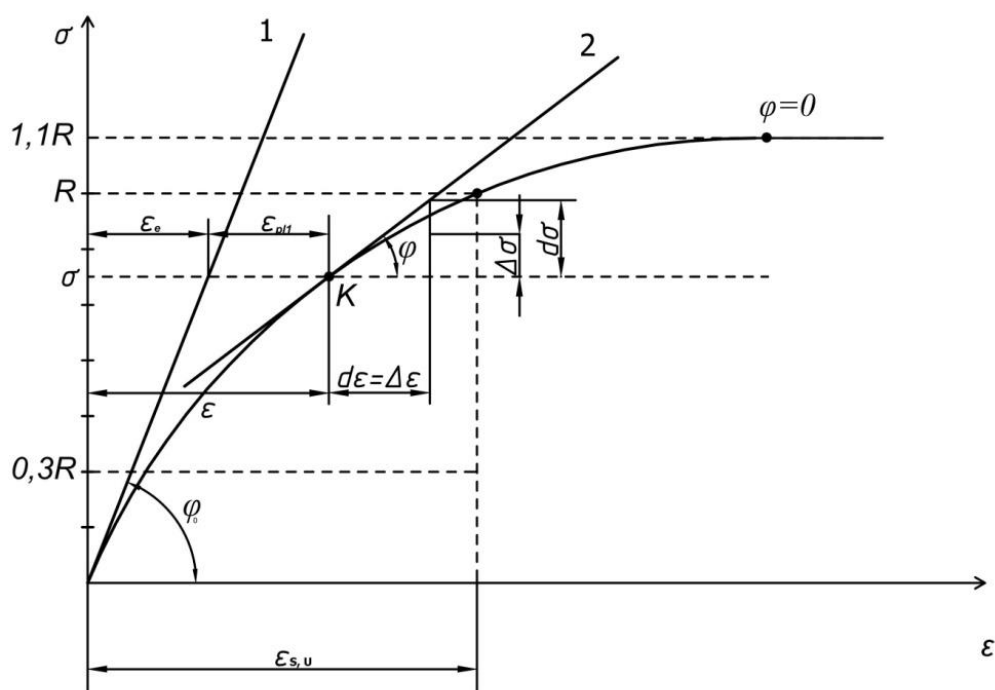


Рис. 2.19. Кривая деформирования кладки:
1 – прямая упругих деформаций (касательная к точке 0);
2 – касательная к точке K с заданным напряжением

Таким образом, упругопластические свойства кладки обусловлены, прежде всего, наличием данных свойств у раствора.

Стоит отметить, что наиболее подвержены деформациям верхняя и нижняя грани постели горизонтальных швов, где не создается полного контакта с выше- и нижерасположенным камнями из-за наличия воздушных промежутков между раствором и камнем (рис. 2.20). Причиной появления воздушных промежутков являются, в первую очередь, следующие факторы:

- неоднородность растворной постели, вызванная технологическими факторами (см. выше);

- усадка свежего раствора в горизонтальных швах на отдельных участках (см. выше), которая наиболее интенсивно развивается в слоях, непосредственно примыкающих к камню и, кроме прочего, носит неравномерный характер.

Наибольшая потеря влаги наблюдается в слоях, непосредственно примыкающих к камню, то есть на тех участках, которыми обеспечивается прочность сцепления.

В итоге, при сжатии давление от вышележащего кирпича на раствор в шве и от раствора на нижележащий кирпич передается через отдельные площадки (бугорки раствора). Далее происходит смятие указанных площадок и постепенное закрытие воздушных промежутков (что и приводит к повышенным деформациям); затем в работу включаются все большие участки горизонтальных швов.

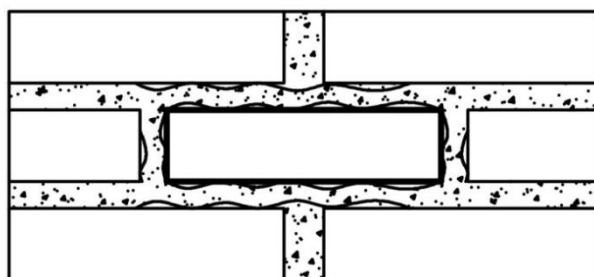


Рис. 2.20. Схема деформирования раствора в кладке на границе с камнем (передача давления через бугорки раствора)

Проанализируем деформационные характеристики кладки:

1) Модуль деформации / упругости

Как известно, модуль деформации E материалов определяется как тангенсу угла наклона касательной к кривой деформаций в точке с заданным напряжением σ (рис. 2.19), который для материалов с криволинейной зависимостью σ – ϵ будет переменным:

$$E = \operatorname{tg} \varphi = \frac{d\sigma}{d\epsilon} . \quad (2.10)$$

Модуль деформации, равный тангенсу угла наклона к кривой деформаций в точке, соответствующей началу координат (или тангенс угла наклона к кривой при бесконечно малой интенсивности напряжений), называется начальным модулем деформации E_0 , или модулем упругости (рис. 2.19): $E_0 = \operatorname{tg} \varphi_0$.

Модуль деформации E является переменной величиной; в то же время модуль упругости E_0 – величина постоянная для определенной кладки.

Однако введение в расчет модуля упругости оправдано только при небольшой интенсивности напряжений, когда кривая деформации изменяется по линейному закону (кладка даже при незначительных напряжениях имеет криволинейный характер, однако заметный отход от линейного закона происходит при превышении интенсивности напряжений в среднем $0,3 \cdot R_u$).

Профессором Л. И. Онищиком была предложена эмпирическая зависимость, которая связывает модуль деформации E с модулем упругости E_0 :

$$E = E_0 \cdot \left(1 - \left(\frac{\sigma}{R} \right)^k \right) , \quad (2.11)$$

где σ – напряжение, при котором определяется E .

Как видно из зависимости (2.10), при нулевой интенсивности напряжений ($\sigma = 0$) модуль деформации E равен модулю упругости E_0 .

Величину $R' = 1,1 \cdot R_u$ профессор Онищик, проводя аналогию с пластичными материалами, назвал фиктивным пределом текучести кладки, который, учитывая хрупкий характер ее разрушения, не может быть достигнут. Действительно, при напряжениях $\sigma = 1,1 \cdot R_u$ модуль деформации $E = 0$, то есть деформации растут при постоянных напряжениях, что в пла-

стичных материалах и называется текучестью. Однако разрушение кладки наступает при напряжениях $R' < 1,1 \cdot R_u$.

Коэффициент k зависит от особенностей различных растворов (для цементных растворов относительно высокой прочности можно принять $k = 1$, для сложных и известковых растворов $k < 1$). Для удобства дальнейшего интегрирования коэффициент k был принят равным единице. В итоге, учитывая что $R' = 1,1 \cdot R_u$, получим:

$$E = E_0 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{1,1 \cdot R_u} \right). \quad (2.12)$$

Из анализа кривых (рис. 2.21), построенных по зависимостям (2.11) и (2.12) можно отметить, что упрощенная зависимость (2.11) дает достаточно хорошее приближение к зависимости (2.12) при относительно высокой интенсивности напряжений σ , при которой определяется E . При этом для кладок, выполненных на цементном растворе, графики совпадают.

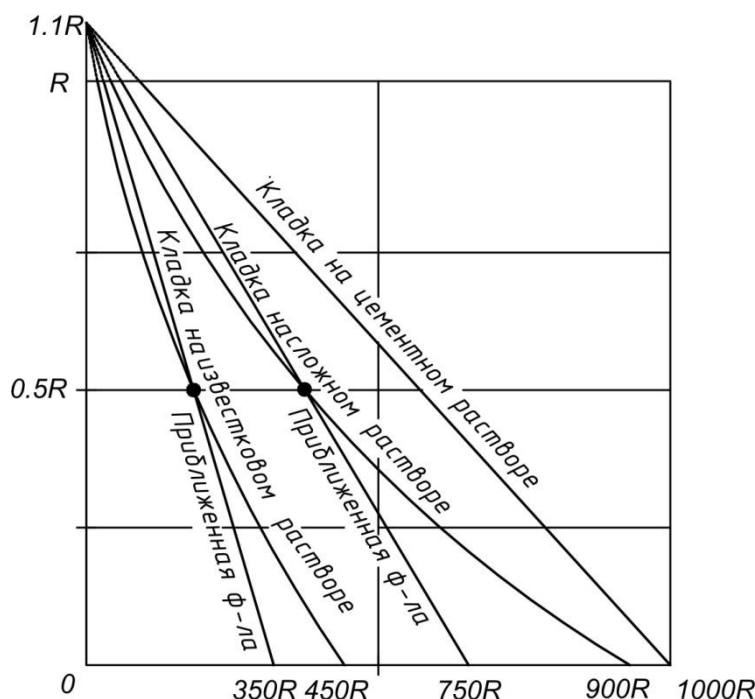


Рис. 2.21. Спрямление кривых, выражающих изменение модулей упругости по приближенной формуле

Кроме этого, модуль упругости E_0 пропорционален временному сопротивлению кладки R_u :

$$E_0 = \alpha \cdot R_u. \quad (2.13)$$

Коэффициент пропорциональности α , или так называемая упругая характеристика кладки, зависит, в первую очередь, от прочности раствора и вида кладки. Для практических расчетов коэффициенты α сведены в таблицу, приведенную в Таблице 16 СП 15.13330.2012 [14].

Вычисление значения модуля деформации по зависимости (2.11) применяется в тех случаях, где в расчете участвуют приращения деформаций, например при решении задач устойчивости; значения деформаций при этом вычисляют по зависимости (2.13), приведенной ниже.

Для практических расчетов значения модуля деформации E допускается принимать по следующим упрощенным зависимостям:

- $E = 0,5 \cdot E_0$ – при ведении расчетов, когда интенсивность напряжений в кладке приближается к предельным.
- $E = 0,8 \cdot E_0$ – при ведении расчетов, когда интенсивность напряжений в кладке существенно меньше, чем в предельном состоянии (в этом случае модуль деформации меняется сравнительно мало).

2) Относительная линейная деформация

В общем случае значение полной относительной деформации кладки может быть представлено как сумма:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_{pl1} + \varepsilon_{pl2},$$

где ε_e – упругая деформация кладки;

ε_{pl1} – пластическая деформация кладки, возникающая при кратковременной нагрузке или деформация ползучести в процессе загрузки (продолжительность в среднем один час, то есть время испытания кладки);

ε_{pl2} – пластическая деформация кладки, возникающая при длительно действующей нагрузке или деформация ползучести за время постоянного обжата (более одного часа).

Приравняв правые части (3.10) и (3.12) получим:

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

откуда

$$d\varepsilon = \frac{d\sigma}{E_0 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{1,1 \cdot R_u} \right)}.$$

Проинтегрировав последнее выражение, получим выражение для вычисления относительных линейных деформаций кладки:

$$\varepsilon = -\frac{1,1 \cdot R_u}{E_0} \ln \left(1 - \frac{\sigma}{1,1 \cdot R_u} \right). \quad (2.14)$$

Вышеприведенные зависимости соответствуют режиму кратковременного нагружения кладки, то есть без учета деформаций ползучести за время постоянного обжатия:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_{pl1}.$$

Для практических расчетов, деформацию кладки с учетом линейной ползучести (то есть при $\sigma \leq 0,5 \cdot R_u$) можно вычислить по следующей зависимости:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_{pl1} + \varepsilon_{pl2} = \varepsilon_e + \varepsilon_{pl} = \varepsilon_e \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon_{pl1}}{\varepsilon_e} \right) = \nu \cdot \frac{\sigma}{E_0}, \quad (2.15)$$

где σ — напряжение, при котором определяется ε .

$\nu = 1 + \frac{\varepsilon_{pl1}}{\varepsilon_e}$ — коэффициент ползучести зависящий от вида кладки (коэффициенты ν приведены в п. 6.24 СП 15.13330.2012).

Модуль упругости E_0 при постоянной и длительной нагрузке с учетом ползучести следует уменьшать путем деления его на коэффициент ползучести ν .

2.1.6. Расчет кладки при центральном сжатии

Работа элементов каменных конструкций при центральном сжатии встречается относительно редко. К подобным случаям можно отнести внутренние стены и столбы, при условии, что приведенный эксцентриситет приложения суммарной равнодействующей от нагрузок, приходящих на данные элементы, равен нулю. Однако и при несоблюдении данного условия многие конструкции можно условно рассматривать как центрально-сжатые (например, тяжело нагруженные стены и столбы нижних этажей; элементы, на которые нагрузка приходит через центрирующие прокладки и т.п.).

Во всех подобных случаях можно считать, что сжимающие напряжения распределены неравномерно только в сечениях, непосредственно при-

мыкающих к площадке передачи давления; ниже распределение приобретает равномерный характер, что и принимается в расчетах.

Разрушение элементов, работающих на сжатие (рис. 2.22), происходит в зависимости от их гибкости λ : либо вследствие потери устойчивости ($\sigma = \sigma_{кр.}$) – для гибких (высоких) элементов, либо вследствие потери несущей способности ($\sigma = R_u$) – для элементов малой гибкости (коротких).

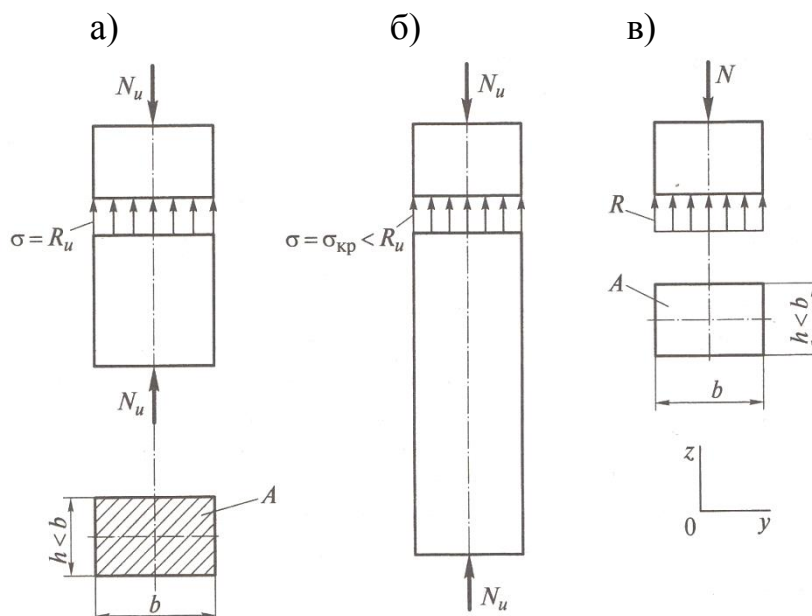


Рис. 2.22. К расчету центрально-сжатого элемента:

а – короткий элемент; б – гибкий элемент; в – расчетная схема

Продольный изгиб в расчетах на сжатие учитывается посредством коэффициента продольного изгиба φ , который зависит от гибкости элемента λ . При этом расчетная высота элемента l_0 при определении коэффициента продольного изгиба φ принимается в зависимости от условий его сопряжения на опорных участках (рис. 2.23):

- при шарнирно-неподвижном опирании $l_0 = H$;
- при упругом верхнем и жестком нижнем опирании: $l_0 = 1,5 \cdot H$ – для однопролетных зданий, $l_0 = 1,25 \cdot H$ – для многопролетных зданий;
- для свободно стоящих конструкций $l_0 = 2,0 \cdot H$;
- для конструкций с частично защемленными опорными сечениями – с учетом фактической степени защемления, но в любом случае $l_0 \geq 0,8 \cdot H$.

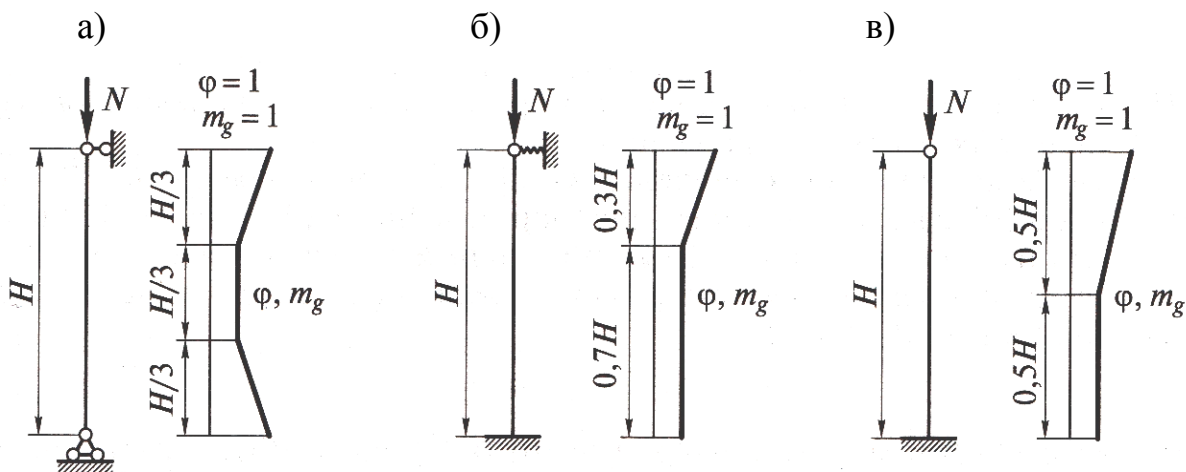


Рис. 2.23. Коэффициенты φ и m_g по высоте сжатых стен и столбов:
а – шарнирно опертых на неподвижные опоры; б – защемленных
внизу и имеющих верхнюю упругую опору; в – свободно стоящих

При расчете стены многоэтажного здания с жесткой конструктивной схемой (наиболее часто встречаемый случай расчета), ее расчетная схема может быть принята в виде вертикальной неразрезной многопролетной балки или плиты с неподвижными в горизонтальном направлении опорами в уровне перекрытий. Однако, в целях упрощения расчета допускается рассматривать стену как расчлененную по высоте на однопролетные вертикальные балки с шарнирными опорами в уровне опирания перекрытий.

Расчет по несущей способности элементов, работающих при центральном сжатии, производят из условия равновесия внешних и внутренних равнодействующих усилий, действующих в наиболее опасном сечении элемента:

$$N \leq N_u,$$

где N – суммарная равнодействующая от усилий, действующих в сечении элемента (продольная сила), кН;

N_u – минимальная несущая способность сечения с учетом продольного изгиба элемента, кН.

Минимальная несущая способность элемента при центральном сжатии

$$N_u = m_g \cdot \varphi \cdot R \cdot A,$$

где m_g – коэффициент, учитывающий влияние длительной нагрузки и принимаемый: равным единице при $h \geq 30$ см (для прямоугольного сплошного сечения) или $i \geq 8,7$ см (для любого сечения) и по зависимости (3.16) – в противных случаях;

φ – коэффициент продольного изгиба, принимаемый по Таблице 19 СП 15.13330.2012 [14] в зависимости от упругой характеристики α и гибкости элемента $\lambda_i = l_0/i$ (для прямоугольного сплошного сечения – соотношения $\lambda_h = l_0/h$) при его расчетной высоте l_0 ;

R – расчетное сопротивление кладки сжатию, МПа;

A – площадь сечения элемента, м²;

h – меньший размер прямоугольного сечения элемента, м;

i – наименьший радиус инерции сечения элемента, м;

l_0 – расчетная высота элемента, принимаемая в зависимости от условий его сопряжения на опорных участках (при неподвижном шарнирном опирании $l_0 = H$), м;

H – фактическая высота элемента (расстояние между перекрытиями или другими горизонтальными опорами), м.

Коэффициент m_g при $h \leq 30$ см (для прямоугольного сплошного сечения) или $i \leq 8,7$ см (для произвольного сечения) определяется по зависимости:

$$m_g = 1 - \eta \cdot \frac{N_g}{N} \cdot \left(1 + \frac{1,2 \cdot e_{g0}}{h} \right), \quad (2.16)$$

где η – коэффициент, принимаемый по Таблице 21 СП 15.13330.2012 [14] в зависимости от гибкости элемента, вида камня и процента продольного армирования ($\eta < 1$);

N_g – продольная сила от длительных нагрузок, кН;

e_{0g} – эксцентриситет от действия длительных нагрузок (при центральном сжатии принимается равным нулю), м.

Значения коэффициентов φ и m_g для различных сечений по высоте элемента определяют в соответствии со схемами, представленными на рис. 2.23.

В стенах, ослабленных проемами, при расчете простенков коэффициент φ принимается:

- по гибкости стены – при расчете простенка из плоскости стены;
 - по гибкости простенка – при расчете простенка в плоскости стены;
- при этом высота простенка принимается равной высоте проема.

В месте пересечения продольных и поперечных стен (при условии их надежной перевязки) при расчете участков, расположенных на расстоянии H от пересечения, значения коэффициентов φ и m_g допускается принимать равными единице для всех сечений по высоте участков.

2.2. Особенности работы и расчет кладки при внецентренном сжатии

Работа элементов каменных конструкций при внецентренном сжатии встречается наиболее часто. К подобным случаям можно отнести наружные столбы и стены (в том числе наиболее нагруженные их участки - простенки), а также внутренние столбы и стены, при условии, что приведенный эксцентриситет приложения суммарной равнодействующей от нагрузок, приходящих на данные элементы, отличен от нуля. Внецентренное сжатие может быть вызвано совместным действием вертикальной и горизонтальной (например, боковым давлением грунта на стену подвала или действием ветрового давления на вышележащие стены) нагрузками.

Как показывают опыты, внецентренно-сжатые каменные элементы разрушаются при значительно больших нагрузках, чем это получается при расчете их по формулам сопротивления материалов (в среднем в 1,5-2 раза). Данное обстоятельство объясняется тем, что кладка является упруго-пластическим материалом, в котором напряжения по сечению распределяются не по линейному закону, как у упругих материалов.

Распределение напряжений зависит от величины эксцентриситета $e_0 = M/N$ (рис. 2.24): при небольших эксцентриситетах поперечное сечение элемента полностью сжато, но неравномерно; с увеличением эксцентриситета в сечении появляются не только сжимающие, но и растягивающие напряжения.

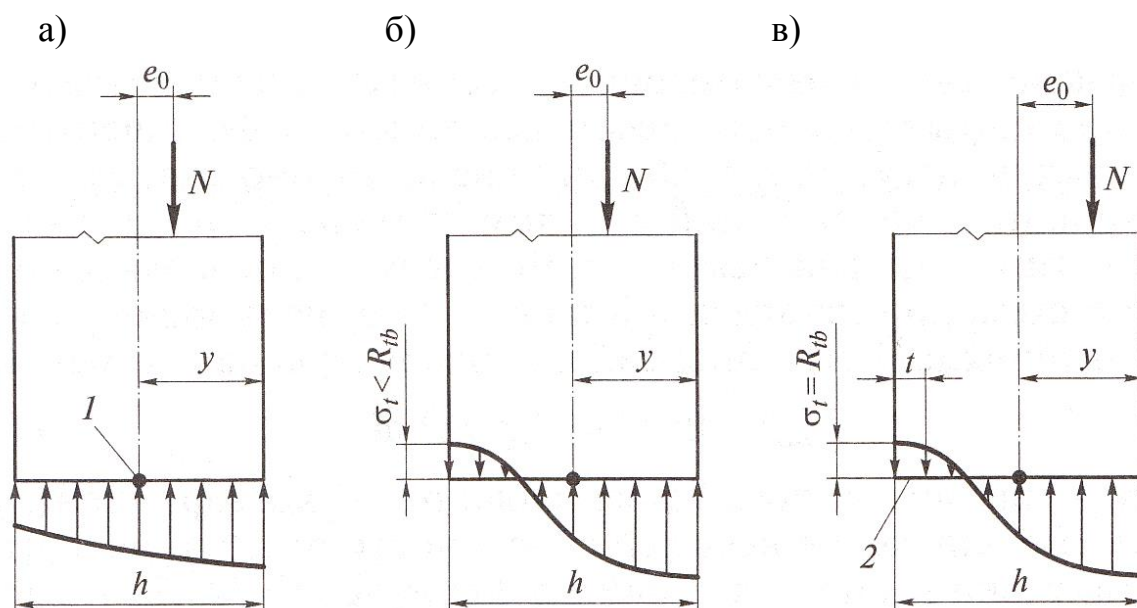


Рис. 2.24. Виды эпюр напряжений при внецентренном сжатии кладки:
а – все сечение сжато; б – в сечении появились растягивающие напряжения; в – в сечении появилась трещина; 1 – центр тяжести сечения;
2 – трещина; t – глубина трещины

При расчете внецентренно сжатых элементов пользуются следующими допущениями (рис. 2.25):

- растянутая зона элемента полностью исключается из работы;
- напряжения в сжатой зоне кладки принимаются равномерно распределенными (прямоугольная эпюра сжимающих напряжений взамен криволинейной);
- неравномерность распределения напряжений по сечению учитывается введением при расчете коэффициента ω .

Стоит отметить, что при внецентренном сжатии продольный изгиб более существенен, чем при центральном (тем более, чем больше величина эксцентриситета).

Также как и при расчете на центральное сжатие, при расчете стены многоэтажного здания с жесткой конструктивной схемой (наиболее часто встречаемый случай расчета), стену рассматривают как расчлененную по высоте на однопролетные вертикальные балки с шарнирными опорами в уровне опирания перекрытий.

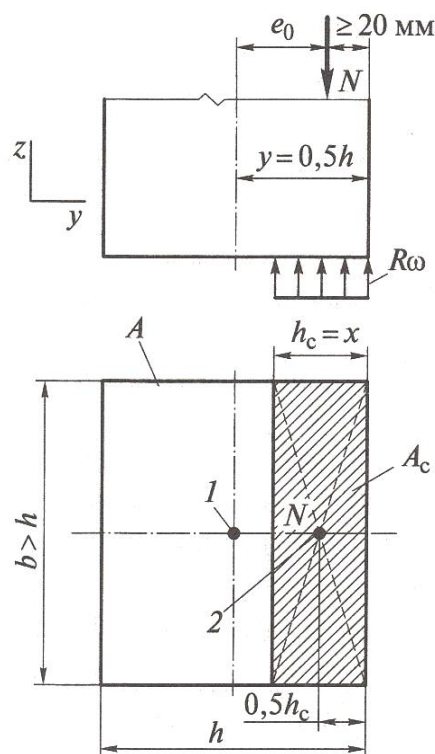


Рис. 2.25. Расчетная схема для внецентренно сжатого элемента по несущей способности:
 1 – центр тяжести всего сечения;
 2 – центр тяжести сжатой зоны сечения

При этом, нагрузка, действующая на стену каждого этажа на уровне низа перекрытия, состоит из нагрузок от конструкций вышерасположенных этажей $\sum P_i$, приложенных при постоянной толщине стены по высоте центрально, и нагрузки от перекрытия рассматриваемого этажа P , приложенной с эксцентриситетом e_0 .

Далее два вида нагрузок приводят к одной приведенной нагрузке $P_{пр}$, приложенной с приведенным эксцентриситетом e . Эксцентриситет e вычисляют из условия, что нагрузка $P_{пр}$ будет вызывать в рассчитываемом элементе изгибающий момент той же величины, что и нагрузка P , приложенная с эксцентриситетом e_0 .

Расчет по несущей способности элементов, работающих при внецентренном сжатии, производят из условия равновесия внешних и внутренних равнодействующих усилий, действующих в наиболее опасном сечении элемента:

$$N \leq N_u ,$$

где N – суммарная равнодействующая от усилий, действующих в сечении элемента (продольная сила) и приложенная с приведенным эксцентриситетом e , кН;

N_u – минимальная несущая способность сечения с учетом продольного изгиба элемента, длительности действия нагрузки и эффекта обоймы, кН.

Минимальная несущая способность элемента при внецентренном сжатии:

$$N_u = m_g \cdot \varphi_{\square} \cdot R \cdot A_c \cdot \omega ,$$

где m_g – коэффициент, учитывающий влияние длительной нагрузки и принимаемый: равным единице при $h \geq 0,30$ м (для прямоугольного сечения) или $i \geq 8,7$ см (для любого сечения) и по зависимости (3.16) – в противных случаях;

$\varphi_{\square}$ – среднее арифметическое коэффициентов продольного изгиба для всего сечения элемента и его сжатой части ($\varphi_{\square} = (\varphi + \varphi_c)/2$);

φ – коэффициент продольного изгиба элемента (при учете полного сечения), принимаемый по Таблице 19 СП 15.13330.2012 [14] в зависимости от упругой характеристики α и гибкости элемента $\lambda_i = l_0/i$ (соотношения $\lambda_h = l_0/h$ – для прямоугольного сплошного сечения) при его расчетной высоте l_0 .

φ_c – коэффициент продольного изгиба элемента (при учете только сжатой части сечения), принимаемый по Таблице 19 СП 15.13330.2012 [14] в зависимости от упругой характеристики α и гибкости элемента $\lambda_i = H/i_c$ (соотношения $\lambda_{hc} = H/h_c$ – для прямоугольного сплошного сечения) при его фактической высоте H ;

ω – коэффициент, учитывающий, что при внецентренном сжатии менее загруженная часть кладки сдерживает поперечные деформации более загруженной и, тем самым, несколько повышает ее несущую способность. Определяется по Таблице 20 СП 15.13330.2012 [14] (представлена в Приложении 1) в зависимости от вида кладки и сечения элемента;

R – расчетное сопротивление кладки сжатию, МПа;

A_c – площадь сжатой части сечения элемента (для прямоугольного сечения $A_c = A \cdot (1 - 2 \cdot e/h)$), m^2 .

Для прямоугольного сечения:

$$N_u = m_g \cdot \varphi_{\square} \cdot R \cdot A \cdot (1 - 2 \cdot e/h) \cdot (1 + e/h), \text{ где } e = (N' / N'') \cdot (3h - 2a)/6,$$

- где
- A – площадь полного сечения элемента, м^2 ;
 - h – высота сечения элемента (размер стороны сечения, расположенный параллельно плоскости действия изгибающего момента), м ;
 - h_c – высота сжатой части сечения элемента: $h_c = h - 2 \cdot e$, м ;
 - l_0 – расчетная высота элемента, принимаемая в зависимости от условий опирания и сопряжения с горизонтальными элементами (при неподвижном шарнирном сопряжении $l_0 = H$), м ;
 - H – фактическая высота элемента (расстояние между перекрытиями или другими горизонтальными опорами), м ;
 - a – глубина опирания перекрытия, непосредственно опирающегося на рассчитываемый элемент, м ;
 - e_0 – эксцентриситет продольной силы N' относительно центра тяжести сечения: $e_0 = h/2 - a/3$, м ;
 - e – приведенный эксцентриситет продольной силы N'' : $e = M / N''$, м ;
 - M – изгибающий момент, возникающий от действия продольной силы N' , приложенной с эксцентриситетом e_0 : $M = N' \cdot e_0$, $\text{кН} \cdot \text{м}$;
 - N' – равнодействующая (продольная сила) нагрузок от перекрытия, непосредственно опирающегося на элемент с эксцентриситетом e_0 ($N' = N - N''$), кН .
 - N'' – равнодействующая (продольная сила) нагрузок от вышележащих конструкций за исключением нагрузки от перекрытия, непосредственно опирающегося на элемент ($N'' = N - N'$), кН .

При расчете стен толщиной 25 см и менее к эксцентриситету продольной силы e добавляется эксцентриситет e_v , значение которого принимается равным:

- 2 см – для несущих стен;
- 1 см – для самонесущих стен, а также для отдельных слоев трехслойных несущих стен.

Наибольшая величина эксцентриситета (с учетом случайного) в элементах без продольного армирования в растянутой зоне не должна превышать:

- в стенах толщиной более 25 см и столбах: для основных сочетаний нагрузок – $0,9y$, для особых – $0,95y$;

- в стенах толщиной 25 см и менее: для основных сочетаний нагрузок – $0,8y$, для особых – $0,85y$.

В любом случае расстояние от точки приложения силы до более сжатого края сечения для несущих стен и столбов должно быть не менее 2 см.

Элементы, работающие на внецентренное сжатие, должны быть рассчитаны на центральное сжатие в плоскости, перпендикулярной к плоскости действия изгибающего момента, когда ширина их поперечного сечения $b < h$.

2.3. Особенности работы и расчет кладки при местном сжатии

Под местным сжатием понимается работа кладки, когда нагрузка передается не по всему поперечному сечению равномерно, а через некоторую его часть A_c , называемую площадью смятия

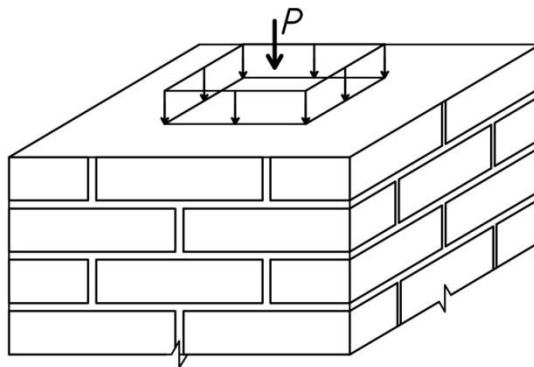


Рис. 2.26. Работа кладки на местное сжатие

Наиболее часто необходимость в расчете на местное сжатие встречается при передаче нагрузок на каменные элементы от перекрытий / покрытий, конструкций лестниц и т.п. через балки, прогоны или фермы. В этом случае отношение грузовой площади, с которой собирается нагрузка, к площади смятия существенна, и, соответственно, существенна интенсивность напряжений сжатия под площадкой смятия.

Также необходимость в расчете на местное сжатие возникает для кладки под плитами перекрытий / покрытий, перемычками, а также в ряде

других случаев, например, при опирании на кладку конструкций, выполненных из более прочных материалов.

Прочность кладки непосредственно под площадкой смятия оказывается выше прочности, если бы нагрузка передавалась через всю площадь равномерно. Объясняется это явление сдерживанием поперечных деформаций, создаваемой кладкой, расположенной вокруг площадки смятия (рис. 2.27). То есть создается так называемый эффект обоймы и кладка под площадкой смятия работая в продольном направлении на сжатие, в поперечном направлении также испытывает сжимающие усилия. Причем прочность тем выше, чем меньше отношение площади смятия A_c к площади всего сечения (большой эффект обоймы).

Таким образом, в работу на местное сжатие кладка, расположенная под так называемой расчетной площадью A .

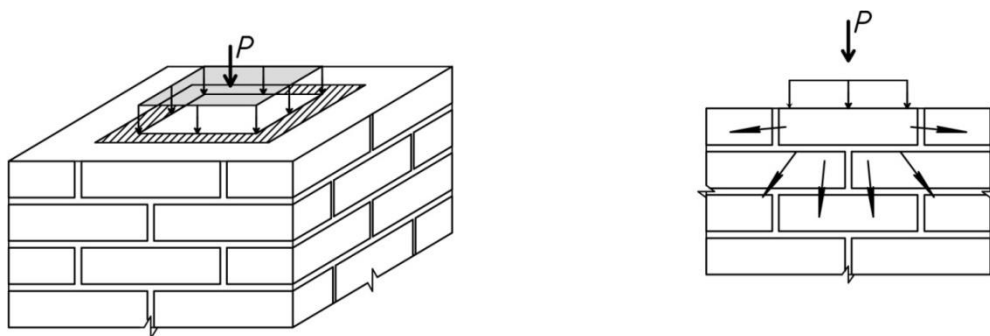


Рис. 2.27. сдерживание поперечных деформаций кладки (эффект обоймы)

Расчетное сопротивление кладки при местном сжатии

Естественным образом прочность кладки под площадкой смятия должна зависеть от прочности кладки без учета эффекта обоймы, а также от местоположения нагрузки, что определяет расчетную площадь (например, при приложении нагрузки на край стены, уже нельзя ожидать всестороннего эффекта обоймы).

Расчетное сопротивление кладки при местном сжатии R_c определяется по формуле Баушингера, которая учитывает вышеотмеченное:

$$R_c = \xi \cdot R = \sqrt[3]{\frac{A}{A_c}} \cdot R,$$

$$\xi = \sqrt[3]{\frac{A}{A_c}} \leq \xi_1,$$

где R – расчетное сопротивление кладки при центральном сжатии;
 A_c – площадь смятия, на которую передается нагрузка;
 A – расчетная площадь, значение которой зависит от схемы приложения местной нагрузки и вида кладки. Наиболее часто встречаемые схемы, а также общие правила определения рабочей площади A , представлены в п.7.16 и на рисунке 9 СП 15.13330.2012 [14].
 ξ_1 – коэффициент, учитывающий особенности работы кладки в зависимости от схемы приложения местной нагрузки и вида кладки, а также вклад местной нагрузки в общую. Значения коэффициентов ξ_1 представлены в Таблице 22 СП 15.13330.2012 [14].

Расчет кладки на местное сжатие

Расчет кладки на местное сжатие производят из условия равновесия внешних сил и внутренних усилий.

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

где N_c – продольная сжимающая сила от местной нагрузки;
 R_c – расчетное сопротивление кладки при местном сжатии;
 ψ – коэффициент полноты эпюры давления от местной нагрузки. В большинстве расчетных случаев эпюру давления можно свести либо к равномерной ($\psi=1$), либо к треугольной ($\psi=0,5$);
 $d = 1,5 - 0,5 \cdot \psi$ – коэффициент, учитывающий повышение местной прочности при неравномерном распределении давления по площадке смятия за счет усиления эффекта обоймы. Видно, что при равномерной эпюре давления $d=1,0$, при треугольной $d=1,25$. Указанный эффект не учитывается ($d=1$), при расчете кладок, изготовленных из пустотелых бетонных или сплошных камней и блоков из крупнопористого и ячеистого бетонов; крупноформатных керамических камней.

Таким образом, произведение $\psi \cdot d$ отражает особенности местной передачи давления.

При одновременном действии местной нагрузки и основной (вес вышележащей кладки и конструкций на нее опирающихся) расчет производят отдельно на местную нагрузку и на сумму местной и основной нагрузок; значения коэффициента ξ_1 при этом принимаются различными для каждого из расчетов.

2.4. Особенности работы кладки при центральном растяжении, изгибе и срезе

Если при центральном сжатии сцепление кирпича и раствора практически не оказывает влияние на прочность кладки, то при растяжении, срезе и изгибе оно имеет существенное значение. Поэтому в начале данного раздела рассмотрим вопросы, связанные со сцеплением.

2.4.1. Сцепление кирпича и раствора

Сцепление кирпича и раствора создается в результате сложных физико-химических процессов, протекающих при твердении раствора в швах, и зависит от ряда факторов, первостепенными из которых можно назвать:

а) Клеящая способность раствора, зависящая от адгезионных и когезионных свойств раствора, которые определяются:

- составом раствора и минералогическим составом вяжущего, водовязущим отношением и плотностью раствора;
- возрастом раствора, температурно-влажностными условиями твердения;
- степенью шероховатости и чистотой поверхности кирпича.

Адгезия подразделяется на специфическую и механическую; первая получается за счет химической связи, вторая – за счет проникновения раствора внутрь пор и шероховатости кирпича.

б) Степень полноты контакта раствора с кирпичом, которая определяется величиной усадки раствора в швах, зависящей от его вододерживающей способности и других факторов. Большая усадка вызывает значительные усадочные напряжения, которые могут свести на нет адгезионные способности.

Кроме приведенных, сцепление также зависит от других факторов, например, – от увлажнения и влагопоглощения кирпича. Увлажнение кирпича до некоторого оптимального значения приводит к значительному повышению прочности сцепления. При влажности кирпича, близкой к его полному насыщению водой, наблюдается большое снижение сцепления.

Стоит отметить, что адгезией определяется не только прочность сцепления, но и прочность раствора при сжатии, поэтому опосредовано прочность сцепления определяется через прочность раствора при сжатии R_2 .

1) Характеристики сцепления

В зависимости от направления действия усилий относительно растворного шва, различают два вида сцепления (рис. 2.28):

- нормальное S , когда направление действия усилий перпендикулярно шву;
- касательное или тангенциальное T , когда направление действия усилий параллельно шву.

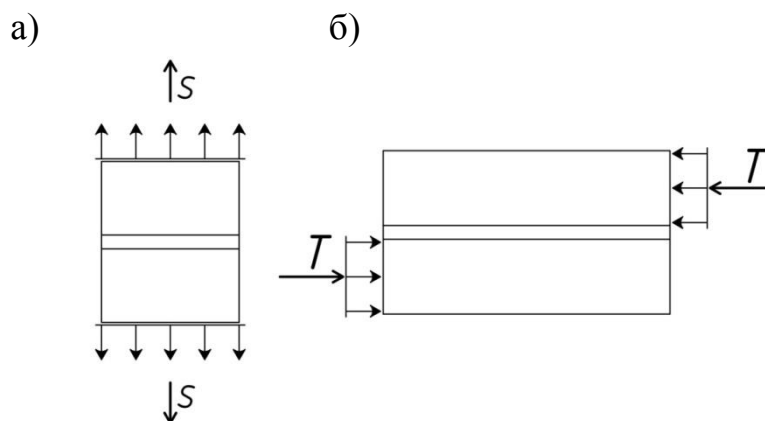


Рис. 2.28. Нормальное (а) и касательное (б) сцепления

Причем, как нормальное S , так и касательное T сцепления зависят от одних и тех же факторов.

Из экспериментальных данных были получены зависимости для определения S и T :

$$S = \frac{3}{1 + \frac{4}{R_2}}, \quad (2.16)$$

$$T = \frac{6}{1 + \frac{4}{R_2}}. \quad (2.17)$$

Стоит отметить, что данные зависимости носят средний характер; по экспериментальным данным $T=[1,3\div 2,5]S$; в нормативной документации, как видно из (2.16) и (2.17), принято $T=2S$.

Также стоит отметить, что зависимости (2.16) и (2.17) определяют прочность сцепления только в зависимости от прочности раствора сжатию, не учитывая при этом состав раствора, водовяжущее отношение, абсорбционные свойства камня и множество других факторов, от которых может зависеть сцепление.

Из анализа графиков зависимости сцепления от прочности раствора на сжатие (рис. 2.29) видно, что даже при относительно прочных растворах (М100-М200) сцепление продолжает нарастать с увеличением прочности раствора, хотя скорость нарастания падает. Однако в нормативной документации повышение сцепления с возрастанием раствора при $R_2 > 5$ МПа не учитывается. Это вызвано трудностью учета влияния на сцепление множества факторов (см. выше), каждый из которых может существенно изменить величину сцепления.

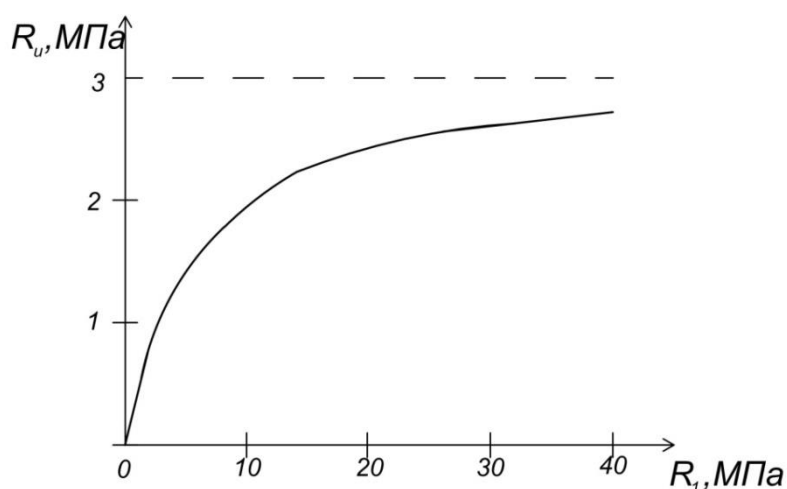


Рис. 2.29. Зависимость нормального сцепления S от прочности раствора при сжатии R_2

Сложным влиянием на сцепление множества факторов, а также низким значением сцепления для относительно молодых кладок, можно объясняется тот факт, что нормативная литература не допускает проектирование конструкций, в которой сопротивление каменной кладки каким-либо усилиям обусловлено только сцеплением.

Сцепление существенно зависит от водоудерживающей способности раствора и абсорбционных свойств камня. Наибольшая потеря влаги

наблюдается в слоях, непосредственно примыкающих к камню, то есть на тех участках, которыми обеспечивается прочность сцепления.

Прочность нормального сцепления кирпича с раствором S определяется путем испытаний на осевое растяжение в соответствии с ГОСТ 24992-81 [19] (рис. 2.30):

- при определении прочности сцепления в построечных условиях испытанию подлежит фрагмент кладки, из которого «изымают» кирпич;
- при определении прочности сцепления в лабораторных условиях испытанию подлежат образцы, выполненные из двух целых кирпичей (каменей) или из двух равных их половинок.

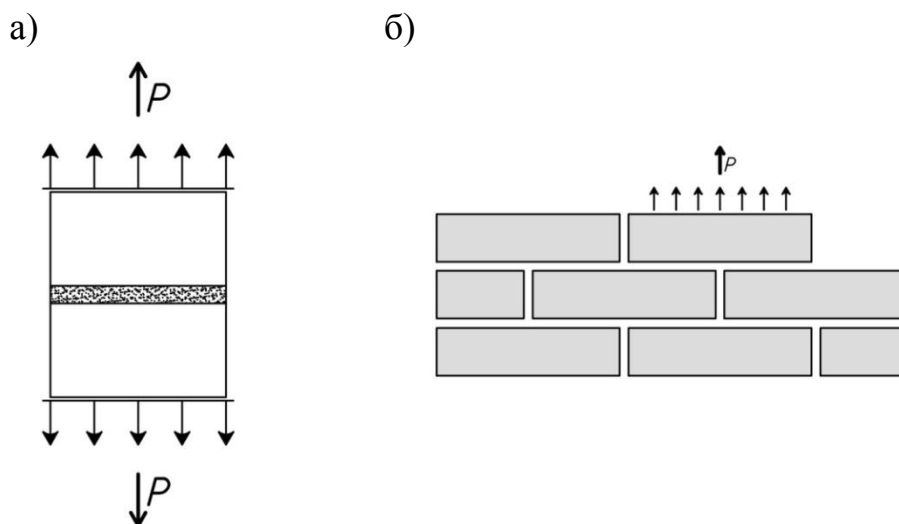


Рис. 2.30. Схема испытания нормального сцепления кирпича с раствором:

- а – при определении сцепления в построечных условиях;
- б – при определении сцепления в лабораторных условиях

Предел прочности нормального сцепления образца (МПа):

$$\sigma_{\text{раст}} = \frac{P}{F}.$$

где P – максимальная нагрузка, при которой происходит отрыв, кН;

F – среднеарифметическое значение площади отрыва (брутто), м².

За предел прочности нормального сцепления S (МПа) принимается среднее арифметическое значение результатов испытаний установленного числа образцов.

Предел прочности касательного сцепления вычисляется по зависимости $T = 2S$.

2) Некоторые особенности сцепления раствора с кирпичом:

а) Сила сцепления раствора с кирпичом неодинакова в горизонтальных и вертикальных швах. В вертикальных швах из-за свободной усадки раствора при его твердении, сцепление раствора с одной из боковых поверхностей кладки ослабевает или нарушается полностью; также может произойти нарушение структуры самого раствора. В горизонтальных швах усадка также имеет место быть, однако из-за общей осадки кладки от веса вышележащих конструкций, сцепление не только падает, но и увеличивается.

По этой причине при анализе работы кладки (например, на растяжение, изгиб и срез) пренебрегают сопротивляемостью вертикальных швов.

б) Величины S и T сильно зависят от возраста кладки. В основу нормативных положены значения этих величин в возрасте 28 суток. Стоит отметить, что в старых кладках сцепление раствора с кирпичом может оказаться прочнее самих раствора и кирпича, причем на отдельных участках сцепление может быть нарушено полностью (например, на участках, подвергающихся природно-климатическим воздействиям).

Поэтому при необходимости учета действительного сцепления раствора с кирпичом в эксплуатируемых кладках (например, при анализе восприятия растягивающих усилий, которые могут возникнуть после реконструкции здания) нужно проведение дополнительных испытаний.

2.4.2. Центральное растяжение кладки

Сопротивление кладки осевому растяжению существенным образом зависит от направления действия усилий по отношению к горизонтальным растворным швам. Выделяют, соответственно, прочность кладки при осевом растяжении по неперевязанному сечению (рис. 2.30, а), когда усилия растяжения перпендикулярны горизонтальным растворным швам, и по перевязанному сечению (рис. 2.30, б), когда усилия растяжения параллельны горизонтальным швам.

Растяжение кладки по перевязанному сечению имеет место, например, в стенах инженерных сооружениях, таких как резервуаров, силосов и т.п.

Проектирование конструкций, в которых кладка работает на растяжение по неперевязанному сечению, нормативная документация не допускает (обоснование приведено выше). Однако опосредовано растяжение по

неперевязанному сечению имеет место при работе кладки на внецентренное сжатие при больших эксцентриситетах.

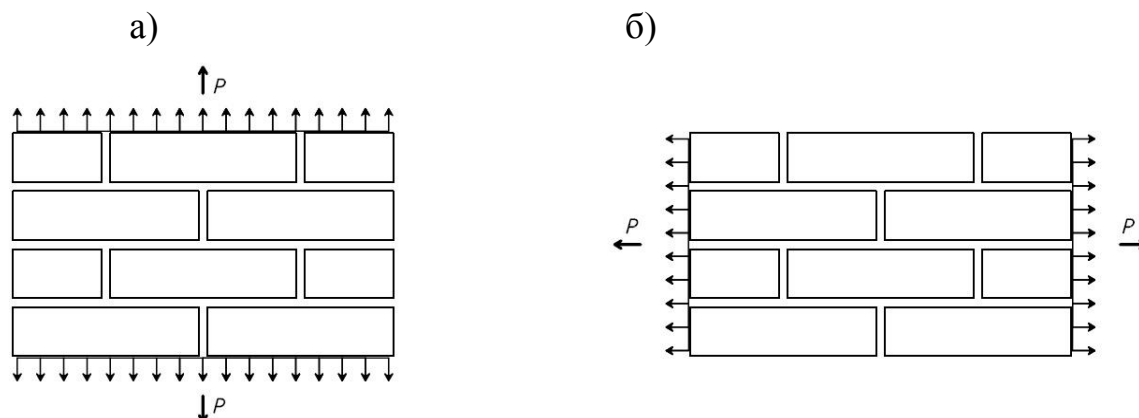


Рис. 2.30. Растяжение кладки по неперевязанному (а) и перевязанному (б) сечениям

1) *Растяжение по неперевязанному сечению (усилия растяжения перпендикулярны горизонтальным растворным швам).*

Разрушение кладки при растяжении по неперевязанному сечению характеризуется развитием трещин, которые могут образоваться (рис. 2.31):

- по плоскости соприкосновения раствора с камнем (рис. 2.31, а), когда сцепление ниже прочности кирпича и раствора растяжению. Данный вариант характерен для большинства случаев, особенно для относительно молодых кладок, для которых сцепление кирпича с раствором мало;

- по раствору горизонтального шва (рис. 2.31, б), когда прочность раствора растяжению ниже прочности кирпича растяжению и ниже сцепления. Данный вариант более характерен для старых кладок (возникновение растяжения в этом случае может быть вызвано перераспределением усилий, например, после реконструкции здания или в результате неравномерных осадок);

- по кирпичу (рис. 2.31, в), когда прочность кирпича растяжению ниже прочности раствора растяжению и ниже сцепления. Данный вариант встречается редко и характерен для старых кладок;

- по поверхности (рис. 2.31, г), пересекающей два или три перечисленных ранее сечения, когда отмеченные прочности соизмеримы.

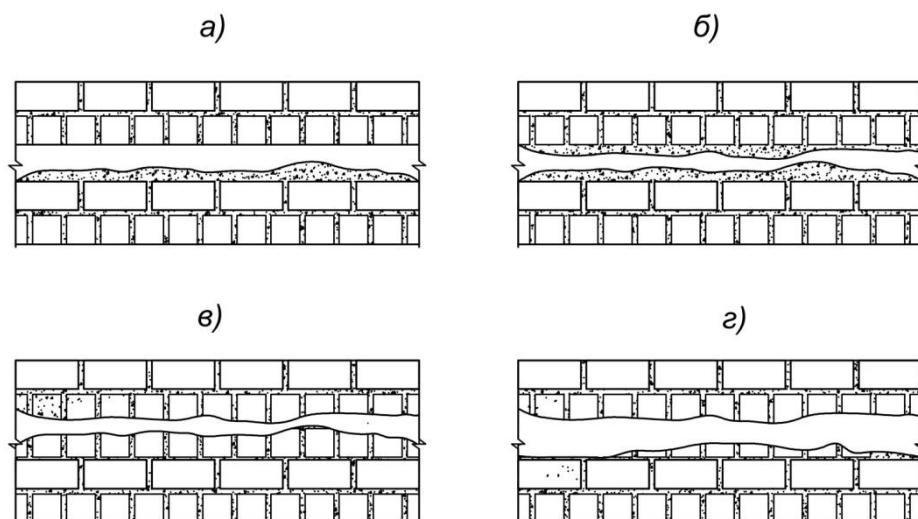


Рис. 2.31. Разрушение кладки при растяжении по неперевязанному сечению:

- а – по плоскости соприкосновения раствора с камнем;
 б – по раствору горизонтального шва;
 в – по кирпичу
 г – по раствору вертикального шва

Таким образом, для молодых кладок прочность на растяжение по неперевязанному сечению определяется, прежде всего, нормальным сцеплением кирпича с раствора, которое, как было отмечено выше, крайне мало. Поэтому нормативная литература не допускает проектирование элементов каменных конструкций, работающих на растяжении по неперевязанному сечению.

Однако при необходимости учета прочности при растяжении по неперевязанному сечению (например, при анализе работы старой кладки после реконструкции здания или сооружения), в Таблице 11 [14] приведены соответствующие расчетные сопротивления R_t . При этом:

$$R_t = k \cdot S,$$

где $k = 0,5$ – коэффициент запаса;

S – среднее значение нормального сцепления кирпича с раствором.

2) *Растяжение по перевязанному сечению (усилия растяжения параллельны горизонтальным швам).*

Разрушение кладки при растяжении по перевязанному сечению характеризуется развитием трещин, которые, в большинстве случаев, проходят

по горизонтальным и вертикальным растворным швам с образованием зубчатой или косой штрабы (сечения 1-1 и 2-2 на рис. 2.32).

Также, при низкой прочности кирпича относительно сцепления и прочности раствора растяжению, а также при существенной массе сооружения трещина может проходить по плоскости, пересекающей вертикальные растворные швы и камни (сечение 3-3 на рис. 2.32). Данный вариант более характерен для старых кладок (возникновение растяжения в этом случае может быть вызвано перераспределением усилий, например, после реконструкции здания или в результате неравномерных осадок).

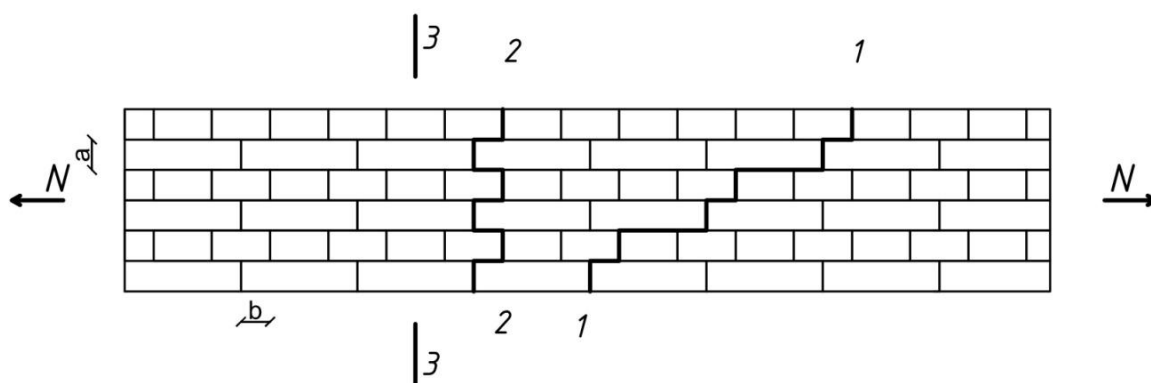


Рис. 2.32. Разрушение кладки при растяжении по неперевязанному сечению

В любом из описанных вариантов сопротивлением вертикальных швов пренебрегают по причинам, приведенным выше. Таким образом, сопротивление растяжению обусловлено:

а) При развитии трещин по зубчатой и косой штрабе (по швам) – сопротивлением горизонтальных растворных швов, что, для относительно молодых кладок, определяется касательным сцеплением кирпича с раствором.

Стоит отметить, что сопротивление развитию трещин в данном случае зависит как от касательного сцепления, так и от величины нормальных напряжений, однако последние не учитываются.

В итоге, сопротивление растяжению можно подсчитать как сумму сопротивлений срезу всех горизонтальных площадок, через которые проходит трещина. Введем понятие глубины перевязки v – отношение глубины перевязки b к высоте ряда кладки a (рис. 2.32).

Тогда прочность кладки при осевом растяжении по перевязанному сечению:

$$R_t = v \cdot T,$$

где v – глубина перевязки;

T – среднее значение касательного сцепления кирпича с раствором.

Коэффициент v зависит от системы перевязки кладки: при цепной перевязки $v = 1$; при многорядной перевязке, если не учитывать тычковые ряды, $v = 2$. В нормативной документации, при $b > a$ принято $v = 1$; для бутовой кладки, у которой правильная перевязка отсутствует $v = 0,7$.

б) При развитии трещины по плоскому сечению – сопротивлением камня на растяжение:

$$R_t = v' \cdot R_{\text{раст}},$$

где $v' = 0,5$ – коэффициент влияния вертикальных швов;

$R_{\text{раст}}$ – среднее значение предела прочности камня при растяжении.

2.4.3. Срез кладки

Сопротивление кладки срезу существенным образом зависит от направления действия усилий по отношению к горизонтальным растворным швам. Выделяют, соответственно, прочность кладки при срезе по неперевязанному сечению (рис. 2.33, б), когда усилия среза параллельны горизонтальным растворным швам, и по перевязанному сечению (рис. 2.33, а), когда усилия среза перпендикулярны горизонтальным растворным швам.

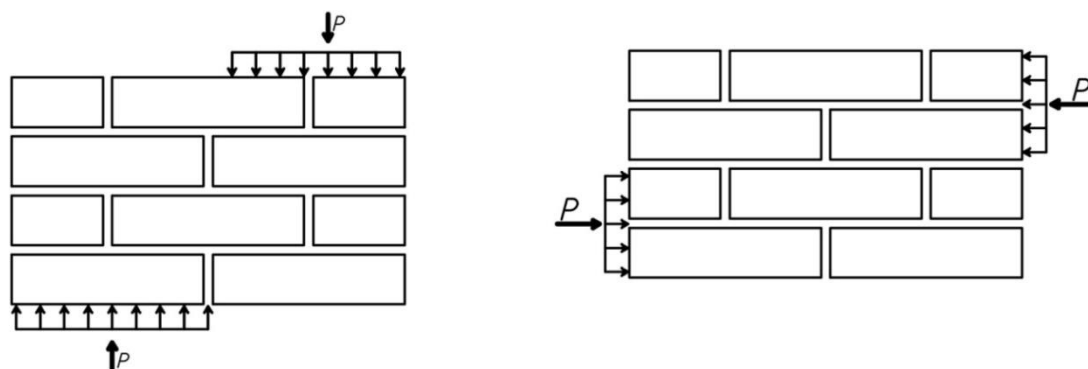


Рис. 2.33. Срез кладки по перевязанному (а) и неперевязанному (б) сечениям

Срез кладки по перевязанному сечению имеет место, например, на пересечении несущих и ненесущих стен при условии наличия перевязки между стенами.

Срез кладки по неперевязанному сечению имеет место, например, в стенах от распора опирающихся на них сводчатых перекрытий в пятовых сечениях (характерно для старых зданий).

1) Срез по неперевязанному сечению (усилия среза параллельны горизонтальным растворным швам).

Разрушение кладки при срезе по неперевязанному сечению как правило происходит по горизонтальному шву (рис. 2.34). Сопротивляемость шва срезу при этом обусловлено касательным сцеплением камня с раствором и зависит от напряжений сжатия.

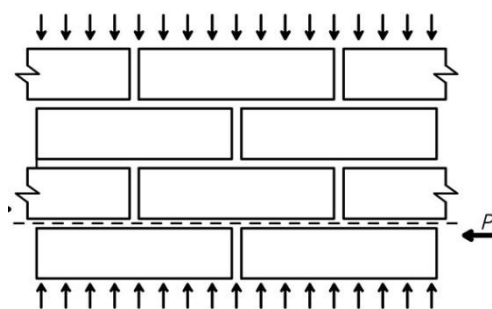


Рис. 2.34. Разрушение кладки при срезе по неперевязанному сечению

В итоге, предел прочности кладки при срезе можно определить с помощью закона Кулона:

$$R_{sq} = T + \mu \cdot \sigma_0,$$

где R_{sq} – коэффициент запаса;

T – среднее значение предела прочности камня при растяжении МПа;

μ – коэффициент трения между кирпичом и раствором;

σ – Интенсивность сжимающих напряжений, МПа

2) Срез по перевязанному сечению (усилия среза перпендикулярны горизонтальным растворным швам).

Разрушение происходит по плоскому сечению (рис. 2.35); сопротивление кладки обусловлено сопротивлением камня срезу:

$$R_{sq} = R_{cp}.$$

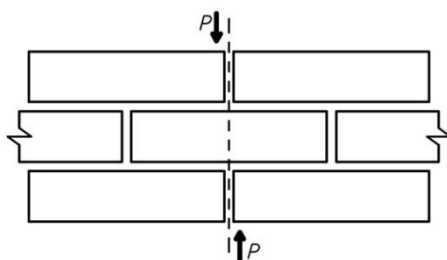


Рис. 2.35. Разрушение кладки при срезе по перевязанному сечению

Стоит отметить, что расчетное сопротивление определяется без учета ослабления вертикальными швами. Поэтому расчет должен производиться не по полному сечению, а по фактическому сечению камня (по сечению кладки за вычетом вертикальных швов).

2.4.4. Изгиб кладки

Изгиб кладки по перевязанному сечению имеет место, например, в кладке, расположенной над прямолинейными перемычками или рандбалками при их относительно малой жесткости. При изгибе кладки по перевязанному шву трещина может развиваться или по зубчатому сечению или по косой штрабе.

Изгиб кладки по неперевязанному сечению имеет место, например, в заглубленных относительно уровня дневной поверхности стенах (стены подвалов) и в стенах, на которые опираются сводчатые конструкции (от усилия распора). Однако данные явления учитываются посредством повышения эксцентриситета при расчете кладки на внецентренное сжатие.

При изгибе кладки по неперевязанному сечению трещина развивается по плоскости соприкосновения раствора с камнем (рис. 2.36), то есть сопротивление кладки изгибу обусловлено, в первую очередь, нормальным сцеплением раствора с кирпичом, прочность которого мала (см. выше).

Поэтому проектирование конструкций, в которых кладка работает на изгиб по перевязанному сечению (за исключением отмеченных случаев), нормативная документация не допускает.

В любом случае разрушение кладки при изгибе происходит вследствие разрушения растянутой зоны.

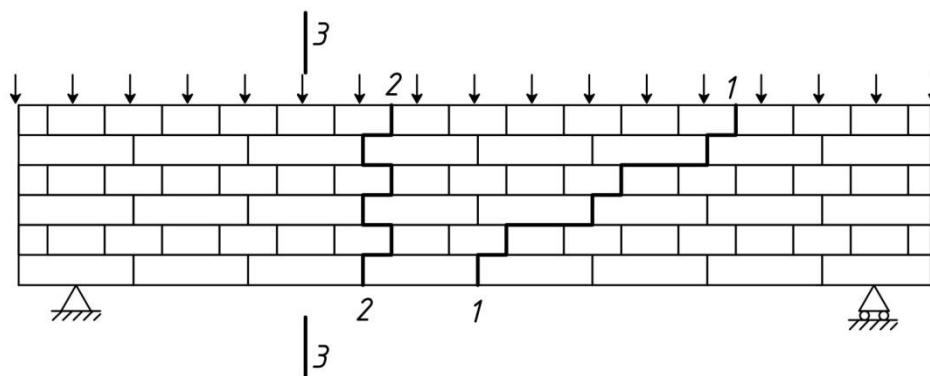


Рис. 2.36. Разрушение кладки при изгибе

Расчетное сопротивление кладки при изгибе (растяжении при изгибе) и главным растягивающим напряжениям при изгибе

Кладка является упруго-пластичным материалом, и эпюра напряжений в поперечном сечении элемента криволинейная. Следовательно, крайних напряжений в сечении будут принимать меньшие значения, чем рассчитанные по формулам сопротивления материалов. Данное обстоятельство учитывается введением поправочного коэффициента, вводимого в значения расчетного сопротивления. Принимается, что расчетное сопротивление кладки при изгибе R_{ib} (растяжению при изгибе) на 33-50% выше расчетного сопротивления при осевом растяжении R_t . Аналогичное значение принимают расчетное сопротивление кладки главным растягивающим напряжениям при изгибе R_{tw} .

Выделяют:

- расчетное сопротивление растяжению при изгибе (главным растягивающим напряжениям при изгибе) по перевязанному сечению и по перевязанному сечению, проходящему по косой штрабе (определяется в зависимости от марки раствора);
- расчетное сопротивление растяжению при изгибе (главным растягивающим напряжениям при изгибе) по перевязанному сечению, проходя-

щему по зубчатому сечению (определяется в зависимости от марки раствора);

- расчетное сопротивление растяжению при изгибе (главным растягивающим напряжениям при изгибе) по перевязанному сечению, проходящему по камню (определяется в зависимости от марки камня).

Расчет кладки на изгиб

Расчет каменных элементов на изгиб по нормальным сечениям производят по известной формуле сопротивления материалов (отход от линейной зависимости напряжений по сечению учтен, как отмечено выше, в значениях расчетных сопротивлений):

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

где M – расчетный изгибающий момент от внешних нагрузок;

W – момент сопротивления расчетного сечения кладки при упругой ее работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мещеряков Ю. Г. Бетоны и строительные растворы: учеб. пособие / Ю. Г. Мещеряков, С. В. Федоров – СПбГАСУ - СПб., 2009.
2. Демьянова В. С. Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов / В. С. Демьянова, В. И. Калашников, Н. М. Дубошина и др. – М.: АСВ, Пенза: ПГАСА, 1999.
3. Горчаков Г. И. Строительные материалы. - М.: Высш. Школа. 1981.
4. Барабанщиков Ю. Г. Строительные материалы и изделия. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
5. Строительные материалы: учебник / Под общей ред. В. Г. Микульского. – М.: Изд-во АСВ, 2000.
6. Мещеряков Ю.Г. Строительные материалы / Ю. Г. Мещеряков, С. В. Федоров. – СПб, 2013.
7. Кропотов В. Н., Зайцев А. Г., Скавронский Б.И. - М., «Высшая школа», 1973.
8. Кинд В. А. Строительные материалы / В. А. Кинд, С. Д. Окорочков. - Госстройиздат. Л-М. 1934.
9. Корнеев В. И., Зозуля П. В. Словарь «Что» есть «что» в сухих смесях. СПб.: НП «Союз производителей сухих строительных смесей», 2005.
10. Чумадова Л. И. Строительные материалы. Свойства и методы испытания бетона: учеб. пособие / Л. И. Чумадова, А. А. Парийский, И. Б. Соколов, А. В. Чурилло. - СПбГТУ, 2000.
11. Информационные материалы фирм.
12. ГОСТ 6133-99 "Камни бетонные стеновые. Технические условия"
13. ГОСТ 27005-86 "Бетоны легкие и ячеистые. Контроль плотности"
14. СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции. - М., 2012.
15. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. М., 1985.
16. ГОСТ 5802-85. Растворы строительные. Методы испытаний. - М., 1986.

17. ГОСТ 530-2007. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. М., - 2007.
18. ГОСТ 379-95. Кирпич и камни силикатные. Технические условия. - М., 1995.
19. ГОСТ 24992-81. Конструкции каменные. Метод определения прочности сцепления в каменной кладке. - М., 1981 г.
20. Чумадов Л. И., Чумадова Л. И. Совершенствование методов тепловой обработки железобетонных изделий. "Строительство и архитектура Ленинграда" 1973, №2.
21. Запорожец И. Д., Парийский А. А., Окороков С. Д., Чумадова Л. И. К вопросу о температурной функции тепловыделения бетона. Бетон и железобетон., 1978, №6
22. Чумадова Л. И. Свойства и методы испытаний бетонной смеси: уч. пособие / Чумадова Л. И., Парийский А. А. - СПб. Изд. СПбГТУ, 2000.
www.Skachate.ru/geografiya/
23. Чумадова Л. И. и др. Свойства и методы испытаний бетона :уч. пособие. - СПб. : Изд. СПбГТУ, 2000. (www.skachate.ru/geografiya/)
24. Чумадова Л. И. Некоторые вопросы подбора штукатурных составов. В сб. статей семинара: Штукатурные составы для наружной отделки стен из газобетона. - СПб. Изд. СПбГПУ. 2010. (www.tehlit.ru)