

DOI: 10.12737/article\_59a93b08ccf406.05266017

Донченко О.М., канд. техн. наук, проф.,  
Дегтев И.А., канд. техн. наук, проф.,  
Тарасенко В.Н., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВАЖНЕЙШАЯ РОЛЬ РАСТВОРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В СОПРОТИВЛЕНИИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ СИЛОВОМУ СЖАТИЮ

vell.30@mail.ru

*Приведено объяснение сложного деформативно-прочностного состояния раствора горизонтальных швов в каменной кладке при силовом сжатии. Показаны основные причины их резкой структурной неоднородности, вызывающей изгиб и снижение прочности камня на сжатие. Приведена аналитическая зависимость структурной неоднородности растворной постели от прочности раствора на сжатие и растяжение.*

**Ключевые слова:** *структурная неоднородность, эффективность работы камня в кладке, изгиб камня, напряженно-деформированное состояние.*

**Введение.** Уже давно ученых, исследователей, строителей и проектировщиков интересует проблема неудовлетворительного использования высокой прочности на сжатие традиционного керамического и силикатного кирпича в каменной кладке, работающей в условиях силового сжатия. Общеизвестно, что даже в кладке, сжимаемой на опорных гранях однородно-равномерным сжатием, прочность кирпича, определенная при центральном сжатии стандартного образца, используется всего лишь в пределах 25–35 % и только в исключительных случаях может достигать 55–60 %.

**Основная часть.** Объяснить это отрицательное явление только неудовлетворительным качеством кладки и непрофессиональностью каменщиков невозможно. Действительно, от профессионализма каменщика и тщательности его отношения к работе зависит многое, но только этим подобное явление объяснить не удастся. Давно установлено, что прочность кладки при работе каменщика средней квалификации приводит к использованию прочности кирпича в кладке до 30–35 %, при высокой квалификации исполнителя – уже к 35–40 %, а при устройстве растворной постели под «рамку» – к использованию прочности кирпича на 40–45 %. Самая высокая относительная прочность кирпича (в пределах 55–60 %) достигается при вибрировании кладки, которую можно эффективно осуществить только в заводских условиях.

Еще менее существенное влияние на прочность кладки и, естественно, на эффективность использования прочности кирпича оказывает система перевязки швов. Экспериментально доказано, что снижение прочности кладки при центральном сжатии при 6-рядной (американской) и

4-рядной (проф. Л.И. Онищик) системах по сравнению с цепной находится в пределах, соответственно, 2–3 и 3–4 %. В таких же пределах находится и снижение прочности кладки при неудовлетворительном заполнении вертикальных швов раствором.

Следовательно, в недостаточно эффективном использовании кирпича даже при идеальном центральном сжатии кладки виноват строительный раствор горизонтальной постели. Получается, что растворная постель снижает прочность кладки. Пробовали испытывать на центральное сжатие кладку, сложенную насухо без раствора из высококачественного по размерам и параллельности граней кирпича. И, действительно, в этих опытах эффективность кирпича достигла 75–80 %. Но высокие продуваемость, промерзание и водопроницаемость такой кладки раз и навсегда установили необходимость устройства кладки на растворных швах для строительства гражданских зданий.

Путей решения и благополучного выхода из создавшегося положения два: либо прекратить поиски создания и производства кирпича высокой прочности, либо начать интенсивные исследования возможности улучшения воздействия горизонтальной растворной постели на трещиностойкость и сопротивление кирпича сжатию. Отечественные исследователи [1, 4, 5] в связи с необходимостью строительства огромных объемов жилья в большей мере пошли по пути первого направления и не стремились получать кирпич высокой прочности на сжатие. Поэтому в нормах России до сих пор фигурирует, как максимум, кирпич марки М 300, в то время, как за рубежом, в Западной Европе и США для строительства производят высокопрочный кирпич ма-

рок М 600–700 и даже 800. Там повышение прочности кладки ищут не в улучшении свойств растворной постели, а в абсолютном увеличении прочности раствора, и переходят от традиционных (цементных) растворов на полимерцементные марок М 300–400, что естественно обходится весьма затратно.

Поэтому в течение длительного времени в России и странах СНГ не прекращаются исследования [2–4, 6–8] напряженно-деформированного состояния (НДС) растворной постели на всех стадиях работы кладки – от ее создания и до исчерпания сопротивления при силовом сжатии. В результате этих исследований установлены следующие общие и уже не дискуссионные внешние и внутренние отличительные особенности структуры раствора горизонтальной постели:

- резкая структурная неоднородность по всей плоскости кирпича;
- отсутствие на некоторых значительных участках кирпича тесного соприкосновения с раствором и соответственно нужного контакта;
- сцепления и адгезии;
- наличие на некоторых значительных участках кирпича в контактной поверхности раствора явно наблюдаемых протяженных пустот.

Действительно, проведенные исследования свидетельствуют, что по длине растворной постели даже в пределах одного кирпича плотность раствора изменяется в очень широких пределах – от обычных в 1,5 до 2,0 – 2,25 раз. Естественно, что также должна изменяться и величина начального модуля деформаций  $E$  этих участков раствора, а, следовательно, и жесткость, деформация и отпор растворного основания под отдельными участками площади кирпича, что должно вызывать возможность его изгиба в кладке, нагруженной силовым сжатием.

О таком возможном и, скорее всего, обязательном изгибе кирпича свидетельствуют значительные участки отсутствия его контакта с раствором и протяженные пустоты последнего по площади. По данным различных исследователей опирание кирпича на растворную постель обычно не превышает и 30–35 % его площади.

Проведенные в последние 35 лет объемные исследования сопротивления кладки из керамического и силикатного кирпича прочностью М100–250 на различных видах раствора на центральное и внецентренное сжатие под руководством авторов [2–4, 6, 7] убедительно свидетельствуют о реальном изгибе кирпича перед появлением в нем мелких трещин, развивающихся в дальнейшем в магистральные и разделяющие кладку на отдельные вертикальные ветви вплоть до исчерпания ее сопротивления.

Что же приводит обычно достаточно качественный и хороший традиционный строительный раствор в такое неудовлетворительное неоднородно-структурное состояние? По мнению большинства исследователей – это постоянная значительная структурная деформативно-прочностная неоднородность раствора горизонтальной постели. И если для растворов не высокой прочности, типа известковых или смешанных со значительным количеством глины и извести, она не столь существенна, то для смешанных растворов с малым количеством глины и извести, но с большим количеством цемента, она становится преобладающей. И, естественно, максимальная неоднородность присуща всем чисто цементным растворам.

Обычно в научно-технической литературе утверждается, что подобная значительная структурная деформативно-прочностная неоднородность горизонтальной растворной постели в каменной кладке вызывается:

- существенной неоднородностью неодовлетворительного перемешивания строительного раствора;
- негоризонтальностью укладки смежных по высоте рядов кирпича и различием в связи с этим высоты горизонтальных швов по длине кирпича;
- недостаточной параллельностью граней кирпича;
- наличием под и над кирпичом вертикальных растворных швов;
- различной степенью прижатия и уплотнения раствора вследствие укладки кирпича методами «вприжим» и «вприсык»;
- различной и высокой степенью отсоса влаги из раствора сухим кирпичом.

По нашему мнению, некоторые из вышеперечисленных факторов являются сопутствующими, а главная причина заключается в значительной инфильтрации воды из не набравшего прочность раннего раствора сухим кирпичом. Обычно хорошие каменщики – профессионалы перед укладкой кирпича на стену держали кирпич в ведре с водой, что делало кладку качественной или перед укладкой смачивали грани кирпича влажной тканью, уверяя, что только обеспыливают его, но на самом деле, тем самым уменьшали инфильтрацию влаги из раствора. И во многом были правы!

Общеизвестно, что твердение и изменение прочности строительных растворов во времени происходит в результате сложных физико-химических процессов взаимодействия вяжущих веществ с водой. В процессе твердения цемента и его составляющих происходит гидролиз (разло-

жение водой) и гидратация клинкерных минералов, составляющих цемент. Наиболее полное объяснение процессов твердения цемента и раствора было дано акад. А.А. Байковым, развитым в трудах акад. П.А. Работнова.

По теории А.А. Байкова процесс твердения цемента проходит в три периода: подготовительный (растворения), схватывания (коллоидации) и твердения (кристаллизации).

В первый период вода вступает в химическую реакцию с поверхностными веществами раствора и этот период продолжается, пока вода не превратится в насыщенный раствор. Во втором периоде твердые продукты этой реакции выделяются в виде мельчайших частиц, образуя коллоидный гель, представляющий студнеобразную массу из связанной воды и мельчайших кристаллов, обладающий склеивающей способностью. Третий период характерен интенсивным процессом кристаллизации и переходом части геля в кристаллический сросток, в основном и определяющий механическую прочность и деформативность твердеющего раствора.

Но прочность и деформативность раствора в кладке зависят не только от свойств вяжущего, его состава, температуры твердения и т.п., но, в первую очередь, и от абсорбционных свойств камня, определяющих ту или иную величину и скорость изменения водного баланса в растворе. В раннем возрасте раствора камень существенно отсасывает из него воду и совершенно искажает привычную картину химического процесса вышеприведенных периодов.

Абсорбционные свойства камня тоже зависят от его плотности, пористости и структуры; и даже для камня одного и того же вида весьма различны на отдельных его участках. Естественно, что такое различие абсорбционных свойств на отдельных участках камня приводит к различной прочности и деформативности твердеющего под ним раствора. В тоже время, количество воды, отсасываемой из раствора камнем, зависит от вододерживающей способности раствора. Наиболее легко, как известно, отдают воду цементные растворы и растворы с малым содержанием извести или глины без вододерживающих добавок. Быстро теряя воду и подвижность, цементные растворы не могут равномерно распределять её по объему постели шва, вследствие чего в ней создаются разные по плотности, прочности, жесткости и деформативности отдельные локальные участки.

Выше приведенные явления характерны для работы традиционных кладок с кирпичом и искусственными камнями на строительных растворах и убедительно свидетельствуют об изгибе

камня в центрально сжатой кладке и хорошо подтверждаются результатами многочисленных исследований, в том числе и проведенных авторами [2 – 6]. Изгиб кирпича вызывает его растяжение, прочность на которое у него на порядок меньше прочности на сжатие. Вот именно растяжение и снижает эффективность использования кирпича в кладке, работающей на сжатие.

Но этим растягивающие напряжения в кирпиче не ограничиваются. Общеизвестно, что за счет большой деформативности строительные растворы в центрально сжатой кладке растягивают кирпич в поперечных направлениях. И эти напряжения в действительности оказываются достаточно большими. Их следует устанавливать не при помощи обычного приема в виде соотношения начальных модулей деформации кирпича и раствора  $n = E_k/E'_p$ , а из действительного положения при исчерпании прочности кладки – из соотношения в виде:  $n = E_k/E'_p$ , где начальный модуль деформации кирпича сохраняет свое постоянное значение  $E_k = const$ , так как напряжения в этот момент не превышают и 70 % его прочности на сжатие и он практически деформируется линейно, а раствора  $E'_p$ , деформирующегося явно нелинейно – уменьшается в 5–10 раз с увеличением его коэффициента поперечных деформаций (Пуассона) в 2–3 раза, вплоть до 0,5 по сравнению с начальным значением в 0,15 – 0,20.

**Заключение.** Таким образом, находящийся в сложном пространственном напряженно-деформированном состоянии кирпич одновременно испытывает внецентренное сжатие, изгиб и растяжение. Именно наличие значительных растягивающих напряжений и приводит к существенному недоиспользованию в кладке высоких прочностных свойств кирпича. А раствор в горизонтальной постели, наоборот, работает в сложных условиях трехстороннего сжатия, что существенно повышает его прочность и снижает деформативность по сравнению с испытаниями в стандартных образцах.

И если физика этих явлений очевидна и хорошо понятна, то установление действительных значений НДС камня и раствора на всех стадиях работы кладки аналитическими зависимостями детерминированных законов практически невозможно, так как абсолютное большинство причин изгиба и растяжения камня в кладке имеет случайный (стохастический) характер, и они могут быть определены только вероятностными методами.

**Выводы.** Однако, уже сейчас на основании проведенных нами многочисленных экспериментов можно качественно установить, что большей неоднородностью обладают цементные растворы

высокой прочности. Что же касается ее количественной оценки, то она может быть отражена предложенной авторами эмпирической зависимостью:

$$\gamma = 1 + \pi^4 \frac{R_c R_p}{E_p},$$

где  $R_c$  и  $R_p$  – прочности кирпича на сжатие и растяжение соответственно, установленные в стандартных образцах.

По этой зависимости неравномерность модуля деформаций раствора  $\gamma$  марки М 10 равняется 1,5, а марки М 200 – достигает 2,15, что хорошо подтверждается в экспериментах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болотин В.В. Методы теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1982. 351 с.
2. Донченко О.М., Дегтев И.А. Эффективные строительно-технологические решения и материалы для массового гражданского строительства // В сб.: Инновации в отраслях народного хозяйства, как фактор решения социально-экономических проблем современности. Сб. докладов и материалов Международной научно-практической конференции. Институт непрерывного образования, Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства. 2011. С. 32–36.
3. Донченко О.М., Пащенко Ж.Н. Современное состояние теории сопротивления и методов расчета кладки из искусственных камней // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 19–21.
4. Донченко О.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н. Прочность и деформативность каменной кладки при силовом сжатии. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 138 с.
5. Онищик Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. М.: ОНТИ, 1937. 291 с.
6. Поляков С.В. Длительное сжатие кирпичной кладки. М.: Госстройиздат, 1959. 183 с.
7. Донченко О.М., Дегтев И.А. Деформации каменной кладки при центральном кратковременном сжатии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 44–46.
8. Донченко О.М., Дегтев И.А., Ежеченко Д.А., Кривчиков А.Н., Сердюкова А.А., Алешин Ю.И. Исследование прочности нормального сцепления по неперевязанному сечению кладки из бетонных и керамзитобетонных камней СКЦ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 77–80.
9. Дегтев И.А., Донченко О.М., Тарасенко В.Н. Разработка целесообразных технологических приемов изготовления каменных конструкций // В сб.: Научно-технические технологии и инновации. Сб. докл. Международной научно-практической конференции. 2016. С. 2–25.

**Donchenko O.M., Degtev I.A., Tarasenko V.N.**

### THE CRUCIAL ROLE OF THE MORTAR COMPONENT IN THE RESISTANCE OF THE MASONRY COMPRESSION FORCE

*Given the results of the hard deformation-stress condition of the mortar of the horizontal joints in the masonry in the force compression. Shows the main causes of their dramatic structural heterogeneity, causing bending and reduce the strength of rock in compression. The analytical dependence of the structural heterogeneity of the mortar bed from the strength of the solution for compression and tension.*

**Keywords:** *structural heterogeneity, the efficiency of the stone in the masonry, stone bending, stress-strain state.*

**Донченко Олег Михайлович**, кандидат технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Дегтев Илья Алексеевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры архитектурных конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: konststrah@mail.ru

**Тарасенко Виктория Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурных конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: vell.30@mail.ru