

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИЙ КЛАДКИ ИЗ ВЫСОКОПУСТОТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ И КИРПИЧА ПРИМЕНительно К НАРУЖНЫМ СТЕНАМ ИЗ МНОГОСЛОЙНОЙ КЛАДКИ

3.1 История выпуска пустотелых керамических камней в России

Одним из путей снижения веса наружных стен и улучшения их теплотехнических характеристик является применение в них кладки из пустотелых керамических камней и кирпича.

Кладка из пустотелых керамических кирпича и камней может обладать довольно высокими теплотехническими характеристиками, достаточными в ряде случаев для выполнения стены из однослойной кладки без применения эффективного утеплителя.

Помимо этого, кладка из пустотелых керамических кирпичей и камней может использоваться и в многослойных стенах с устройством слоя утеплителя с наружной стороны стены или между двумя слоями кладки (о конструкциях многослойных стен с эффективным утеплителем подробнее см. в главе 10).

История применения пустотелых керамических материалов для кладки стен насчитывает в России многие годы. Так, при реконструкции Большого Кремлевского Дворца (БКД) в Москве, возведенного в 1839–1849 годах по проекту архитектора К.А. Тона, в кладке наружных стен были обнаружены пустотелые керамические элементы, напоминающие горшки (рис. 3.1.1; 3.1.2). Из них на известковом растворе выполнялась кладка внутренней части стены (забутовка). Делалось это для облегчения наружных стен, улучшения их теплотехнических характеристик. Кладка из таких же пустотелых элементов выполнялась для заполнения пазух сводов (рис. 3.1.3). Сегодня для этих целей применяется, как правило, керамзит.

В XIX — начале XX века кладка из пустотелых керамических кирпичей получила достаточно широкое распространение в основном в южных и западных губерниях России. Так, на Петербургском казенном заводе изготавливался кирпич с пустотностью 26% [3.1]. Высоким качеством изделий отличался пустотелый кирпич, выпускавшийся Усть-Тосненским кирпичным заводом, заводом при станции Ксанка Закавказской железной дороги [3.1]. В больших объемах выпускались пустотелый кирпич и

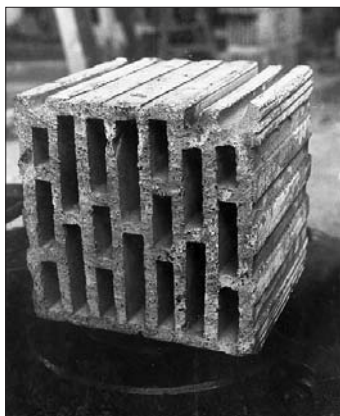


Рис. 3.1.4 Керамический камень для строительства Дворца Советов в Москве. Испытания ЦНИПС (ЦНИИСК) 1938 г.

камни на Украине. После окончания гражданской войны выпуск пустотелой керамики практически прекратился, и только в тридцатые годы было налажено относительно массовое ее производство в Украине.

При строительстве Дворца Советов, который предполагалось возвести на месте храма Христа Спасителя в Москве, должны были применяться пустотелые камни, имевшие форму куба с размерами ребра 30 см (рис. 3.1.4). Пустотность их составляла 57 и 66%. Кладка из этих камней служила заполнением в каркасе, как это делалось в высотных зданиях в США.

Отметим, что США в конце 20—х годов были единственной страной, где проводились полномасштабные исследования прочности и деформаций кладки из пустотелых керамических камней. Номенклатура выпускаемых в США камней была очень большой (рис. 3.1.5) [3.3].

По ряду причин здание Дворца Советов не было возведено, а идея использования кладки из высокопустотной керамики в качестве заполнения каркаса была частично воплощена при строительстве в 50—е годы высотных зданий в Москве (МГУ, МИД и другие).

Конструкции керамических камней, выпускаемых в то время в США и Европе, значительно отличались друг от друга. Если в США высокопустотные камни использовались в основном в качестве заполнения каркасов, где требовалось максимально облегчить кладку, то в Европе стены выполняли функцию как ограждающих, так и несущих конструкций. Поэтому здесь преобладали кирпич и камни с вертикальным расположением пустот, что позволяло получать не только удовлетворительные теплотехнические характеристики стен, но и достаточную прочность кладки.

В 1945 году в СССР были утверждены технические условия на камни с горизонтальными пустотами высотой 14 см. Угловой камень имел вертикальные пустоты (рис. 3.1.6) [3.4]. До 50—х годов XX века СССР в основном выпускались кирпичи и камни с горизонтальным расположением пустот. В ЦНИИПС были предложены новые типы камней и кирпича с вертикальными пустота-

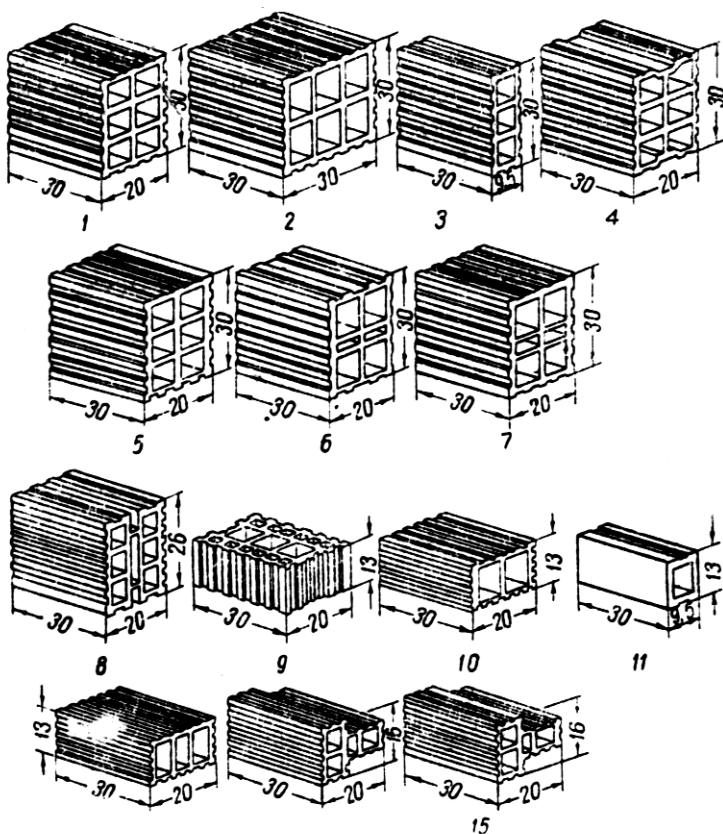


Рис. 3.1.5 Керамические камни, выпускаемые в США в 1936 году [Kidder Parker Architect's and Bilder's Hanlbook]

ми. Пустотность кирпичей составляла 27–30%. При этом отличительной особенностью этих кирпичей явилось то, что они имели большое количество (до 105) отверстий, благодаря чему значительно улучшались теплотехнические характеристики стен. Толщина наружных стенок предлагалась 15 мм, внутренних — 5–7 мм. Вместе с тем такие кирпичи не нашли широкого распространения из-за сложности их производства.

В 1952 году Мосгорисполком были утверждены шесть типов пустотелых керамических камней: три с вертикальными и три с горизонтальными пустотами. Предполагалось вести кладку из камней двух типов, когда «тычки» выполнялись из камней с семью поперечными пустотами, а «ложки» — из камней с продольными пустотами. В этом случае сопротивление стены теплопередаче было бы наибольшим. Однако из-за сложности в орга-

низации комплексной поставки в условиях тотального дефицита заводы перешли на выпуск только семищелевых камней (3.1.6 а). На многие годы этот тип камня стал основным. Для лицевого слоя кладки широко использовались также пустотелые керамические камни с крупными вертикальными и горизонтальными пустотами, кирпич со щелевыми отверстиями и некоторые другие виды кирпича и камней (рис. 3.1.6 б).

В середине 60–х годов прошлого столетия производство пустотелой керамики было налажено в основном только в Москве, Киеве и Таллине и от общего объема выпуска кирпича она составила не более 5%.

В 70–е годы была предпринята очередная попытка широкого внедрения кладки из высокопустотных керамических камней и кирпича. Для этой цели в Италии было закуплено оборудование для организации производства таких изделий в г.Норское под Ярославлем (рис. 3.1.7). Выпускавшиеся камни имели пустотность до 70%. Впоследствии форма и размеры камня изменялись, однако принятая форма пустот так и осталась далекой от оптимальной (3.1.8, 3.1.9). Пустоты имели большие размеры, что затрудняло кладку из таких камней. В 1979 году был организован выпуск кирпичей с горизонтальными пустотами (рис.3.1.10), что способствовало улучшению технологии кладки.

Несколько позже с целью ограничения попадания раствора в пустоты на ряде заводов был начат выпуск керамических камней и кирпича пластического формования с вертикальными и горизонтальными пустотами пустотностью 28–35% (заводы в Голицыно Московской области, «Победа» в Ленинградской области, в г. Норское Ярославской области, г. Ревда Свердловской области и др.). Эти кирпичи и камни выпускались на импортном оборудовании (болгарском, итальянском, французском и др.). Качество их было достаточно высоким, хотя из-за увеличения ширины пустот с 12 до 16 мм, а в ряде случаев и 20 мм проблема попадания раствора в пустоты стала более актуальной по сравнению с широко применявшимися камнями и кирпичом пустотностью до 27% (рис. 3.1.9–3.1.12). Совершенствовались форма и размеры пустот камней, изменялся и процент пустотности — 40% (рис.3.1.12).

В ЦНИИСК (Ломова Л.М. и др.) в конце 80–х — начале 90–х годов совместно с НИИСФ (Ананьев А.И.) и ВНИИСТРОМ им. Будникова (Кондратенко В.А., Скрылев В.А.) были проведены комплексные исследования кладки из крупноформатных керамических камней с размерами $38 \cdot 18 \cdot 13,8$ см с пустотностью около 45%. Выпуск этих камней был освоен на Новокубанском

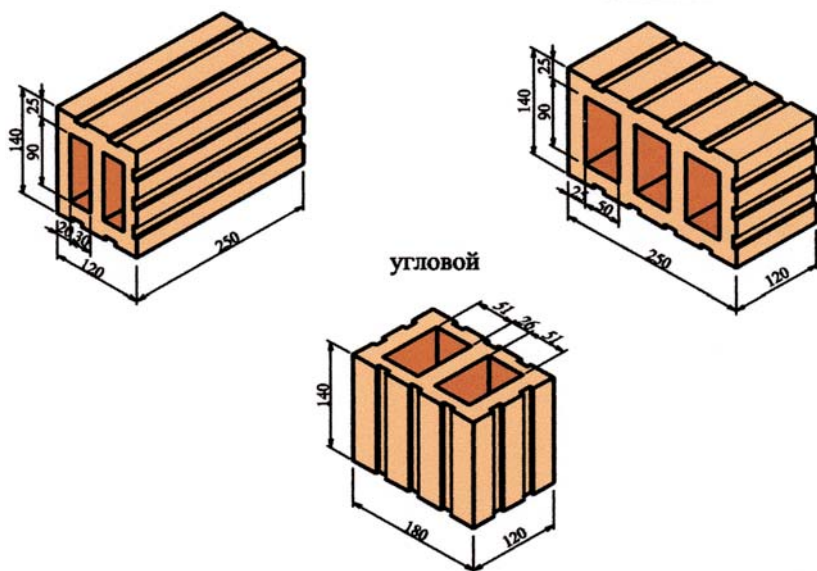


Рис. 3.1.6 а Пустотелые кирпичи двойной высоты, выпускавшиеся в СССР с 1945 года [3.5]

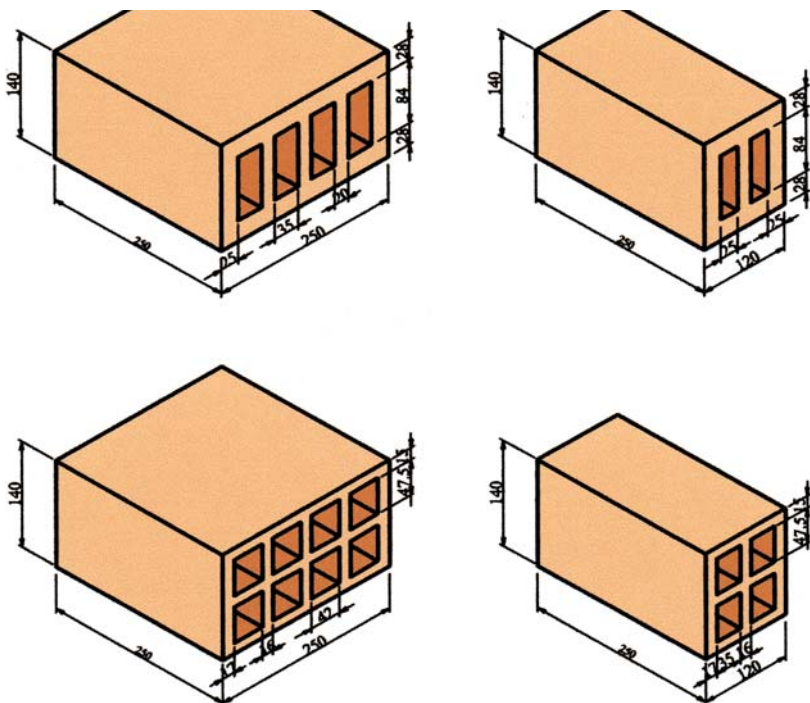


Рис. 3.1.6 б Керамические камни с горизонтальными пустотами, выпускавшиеся в СССР в 1950–е годы [3.6]

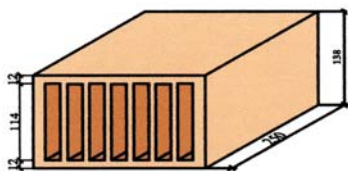


Рис. 3.7 Камень с 7-ю пустотами Норского комбината (пустотность 50.9%), 1979 г.

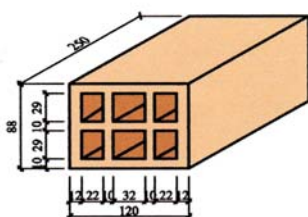


Рис. 3.8 Кирпич с шестью горизонтальными пустотами Норского комбината (пустотность 41,7 %), 1979 г.

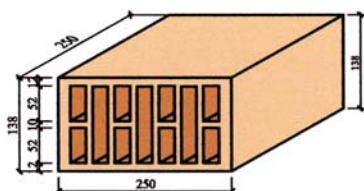


Рис. 3.9 Камень высотой 138 мм с 11-ю горизонтальными пустотами Норского комбината (пустотность 44,6%).

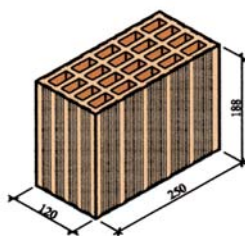


Рис. 3.10 Камень керамический с 20-ю вертикальными пустотами (пустотность 40,5%) Норского комбината, 1986 г.

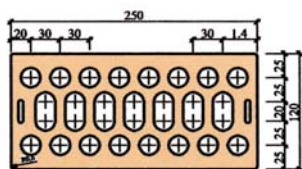


Рис. 3.11 Кирпич с вертикальными пустотами (пустотность 34%) Норского комбината, 1986 г.

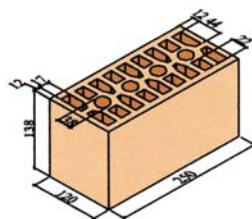


Рис. 3.12 Керамический камень с пустотностью 42%, выпускавшийся на заводе "Победа" (1987 г.).

заводе керамических стеновых материалов.

Определенный прорыв в массовом производстве керамических камней с более оптимальной формой пустот произошел на Петербургском заводе «Победа—Кнауф». Выпускаемые там с 1997 года по немецкой технологии камни большого формата $51 \cdot 25 \cdot 21,9$ см из поризованной керамики имели процент пустотности более 50% (рис. 3.1.14).



Рис. 3.1.13 Камни из поризованной керамики марки RAUF завода кирпичного объединения «Победа ЛСР» (бывший завод «Победа Knauf» в г. Санкт-Петербург)

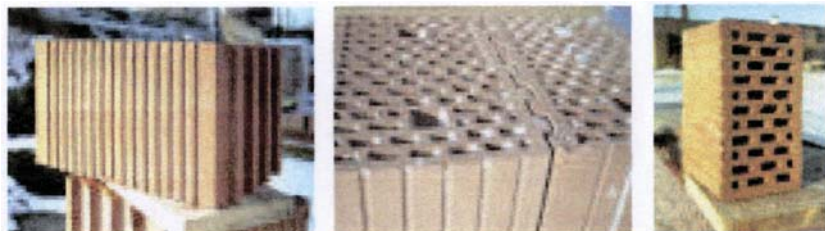


Рис. 3.1.14 Кирпич и камни из поризованной керамики кирпичного завода «Самарский комбинат керамических материалов»



Рис. 3.1.15 Керамические блоки из поризованной керамики марки Поротерм фирмы «Винербергер Кирпич» (д. Кипрево, Киржачского района, Владимирской области)

Испытания кладки из этих камней, выполненные в ЦНИИСК [3.5], показали возможность применения их в российских условиях в несущих и самонесущих стенах многоэтажных зданий. В НИИСФ были изучены теплофизические свойства камня и теплозащитные качества наружных стен, возводимых из крупноформатных камней в сочетании с лицевым слоем из пустотелого кирпича [3.6]. Благодаря довольно рациональной форме и количеству пустот, а также пористой керамике сопротивление теплопередаче таких стен толщиной в один камень с облицовкой в полкирпича при общей толщине стены 64 см составляет более 3,17 Вт/(м⁰С), что является достаточным для многих регионов России.

Однако и здесь возникают определенные сложности, связанные со снижением теплотехнических характеристик стены вследствие попадания в пустоты раствора и сложностью заполнения вертикальных швов. При экспериментальном определении ко-

эффициента теплопроводности вертикальные швы между камнями раствором не заполнялись, а замазывались пластилином, что должно было имитировать закрытие швов штукатуркой.

В настоящее время завод кирпичного объединения «Победа ЛСР» (бывший завод «Победа Knauf») в г. Санкт–Петербурге выпускает поризованные керамические блоки под маркой RAUF (рис. 3.1.13). Аналогичные по свойствам блоки под маркой СККМ с 2006 года выпускает кирпичный завод «Самарский комбинат керамических материалов» (рис. 3.1.14), кирпичный завод фирмы ООО «Винербергер Кирпич» выпускает поризованные керамические блоки под маркой Поротерм» (рис. 3.1.15) (д. Кипрево, Киржачского района, Владимирской области). Завод запущен в 2007 году.

Помимо мелкоразмерных камней у нас делались попытки организовать массовое производство высокопустотных камней, аналогичных выпускаемым французской фирмой «Серик». Так, в Ленинграде в конце 80–х годов было организовано опытное производство крупноразмерных камней высотой более 1 м. Однако и это начинание не получило широкого распространения.

Приведенные в [3.7] кирпич и камни (рис. 3.1.16) являются во многом не столько оптимальными по своей конструкции, сколько изделиями, выпуск которых был более или менее освоен.

3.2. Оптимизация конструкции керамических камней

3.2.1. Параметры оптимизации

Выбор сечения пустотелых камней и кирпича, а также типа кладки из них часто производится по различным, порою противоречащим друг другу критериям. Так, технологи сечение пустот в камне в первую очередь пытаются назначать с точки зрения экономии материала изделия и технологичности его изготовления. При этом форма пустот и их количество во многих случаях не являются оптимальными с точки зрения теплотехники. Эти параметры не всегда могут быть удовлетворены из–за ограниченности технологической базы.

Помимо этого существуют и определенные требования по обеспечению необходимых прочностных и деформационных свойств кладки из кирпича и камня, технологичности ее возведения, долговечности, которые могут также вступать в противоречие с требованиями технологов по производству изделий и тепло-

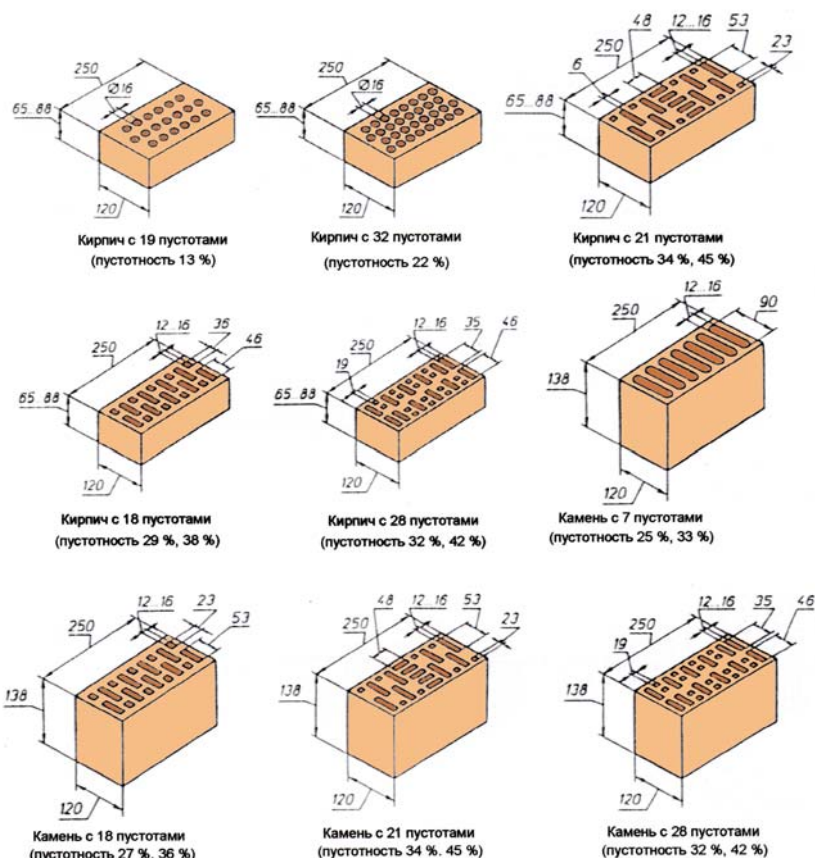


Рис. 3.1.16 а Рекомендуемые формы и размеры экструзионных изделий [3.9]

техников. Поэтому задача оптимизации сечения камня по всем названным ниже параметрам стояла всегда:

- теплотехническим характеристикам кладки;
- технологичности изготовления изделия;
- прочности и упругих свойств кладки;
- долговечности кладки;
- технологичности выполнения кладки.

3.2.2. Сопротивление стен теплопередаче

Так как одной из основных функций наружной стены является обеспечение требуемых сопротивлений теплопередаче и паропроницанию, то остановимся кратко на этих вопросах.

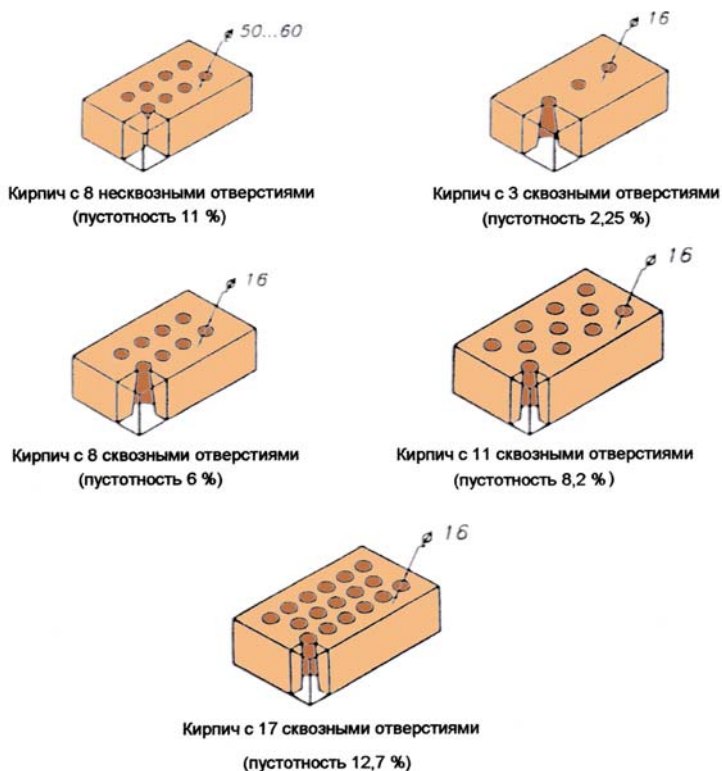


Рис. 3.1.16 б Кирпич прессованный

Известно, что сопротивление кладки из керамических камней и кирпича обеспечивается в первую очередь количеством, формой и размером пустот, плотностью материала черепка. Чем больше пустот встречается на пути теплового потока, тем выше сопротивление кладки теплопередаче. При этом длина «мостиков холода», образуемых стенками из керамики, должна быть как можно больше, а толщина как можно меньше.

Казалось бы, таким требованиям более или менее отвечает кирпич с поперечными щелевыми пустотами. Такие кирпичи и камни, имеющие до одиннадцати пустот, широко выпускаются нашими заводами. При укладке такого кирпича в стену «тычком» (рис. 3.2.1 б), сопротивление теплопередаче будет действительно высоким. Однако реально кирпичи в стене с целью обеспечения перевязки их между собой укладываются как «тычком», так и «ложком». При расположении же кирпича с поперечными щеле-

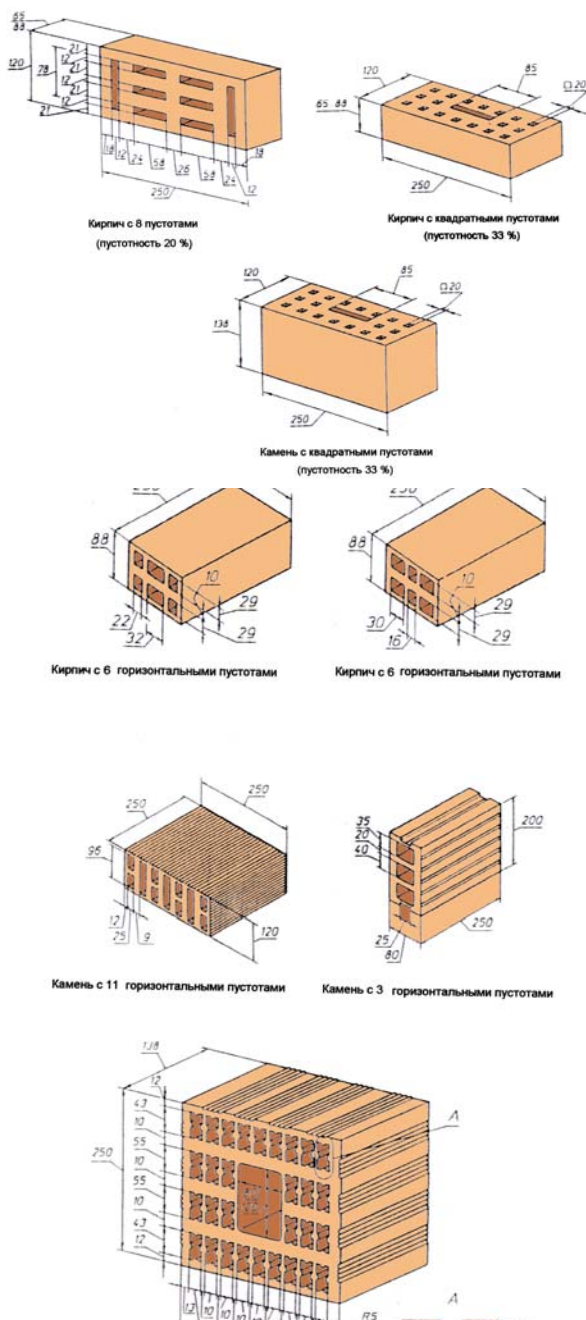
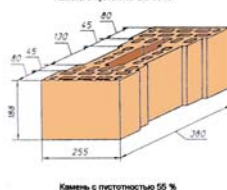
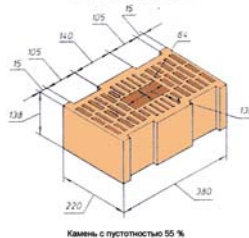
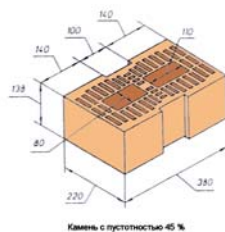
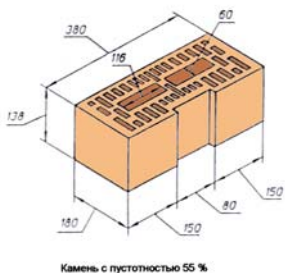
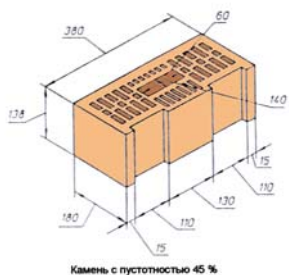


Рис. 3.1.16 в Кирпич и камни экструзионные



мни укрупненные для кладки стен толщиной в один к

Рис. 3.1.16 г Камни укрупненные для кладки толщиной в один камень [3.9]

Рис. 3.1.16 д Камни укрупненные для кладки стен толщиной в один камень [3.9]

видными пустотами «ложком» (рис. 3.2.1 а), его сопротивление теплопередаче будет значительно ниже, чем в положении «тычком». Так в кладке толщиной 51 см с шестирядной перевязкой более 62% кирпичей расположены с точки зрения теплотехники нерационально. В массивных стенах высокое сопротивление теплопередаче могло бы быть достигнуто при применении в качестве «ложковых» кирпичей с продольными щелевыми пустотами и в качестве «тычковых» — с поперечными.

В стенах, где толщина слоя кладки 12 см (например, наружный слой многослойной облегченной кладки), кирпичи укладываются только «ложком» и применение кирпичей с поперечными щелевыми пустотами становится особенно нерациональным (рис. 3.2.1 а, б).

Понятно, что при применении вентилируемой воздушной прослойки для наружного слоя кладки, который практически не влияет на сопротивление стены теплопередаче, форма пустот с этой точки зрения становится не актуальной.

Для стен с невентилируемой воздушной прослойкой наружный слой кладки толщиной в полкирпича участвует в общем соп-

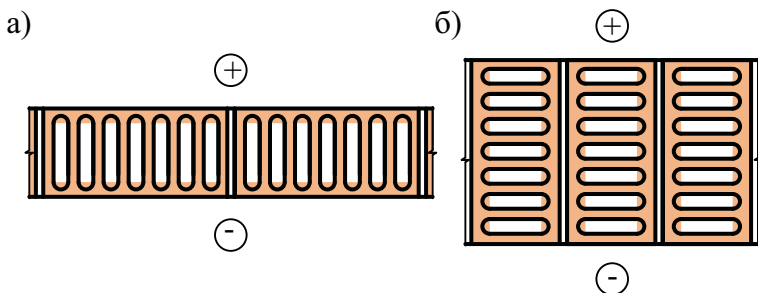


Рис. 3.2.1 а, б а – нерациональное расположение щелевых пустот в камне с точки зрения теплотехники; б – рациональное расположение пустот в камне с точки зрения теплотехники

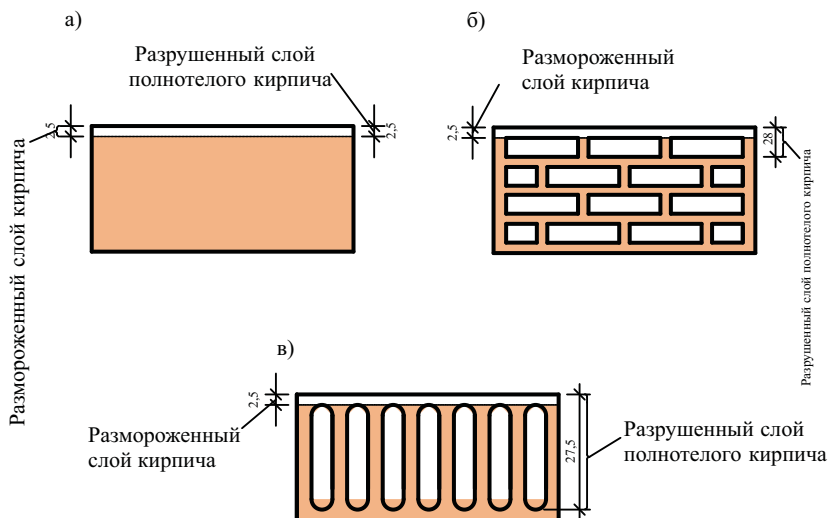


Рис. 3.2.2 Иллюстрация разрушения кирпича при размораживании его лицевого слоя на глубину 10 мм в зависимости от формы пустот: а – полнотелый кирпич; б – кирпич с продольными щелевыми пустотами; кирпич с поперечными щелевыми пустотами

противлению стены теплопередаче и для этой цели более подходят кирпич и камни с продольными щелевыми пустотами, сдвинутыми относительно друг друга (рис. 3.3.3.) (см. стр. ???).

Как отмечалось выше, для основного слоя стены перспективным представляется выпуск камней с вертикальными пустотами, выполненными в виде сдвинутых относительно друг друга щелей или ромбов. За рубежом их выпуск освоен уже не один десяток лет. В России в последнее время также появился ряд заводов, выпускающих такие камни (см. выше, рис. 3.1.14; 3.1.15; 3.1.16). Обладая высоким сопротивлением теплопередаче за счет большого количества пустот и увеличения длины стенок, являющихся

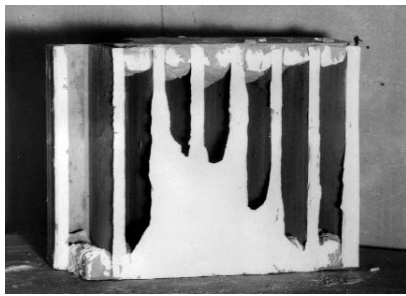
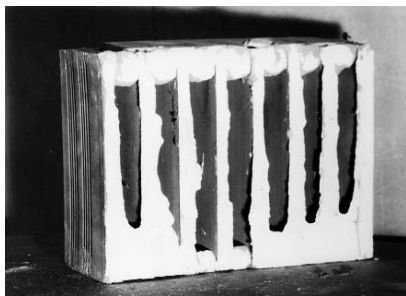


Рис. 3.2.3 Иллюстрация попадания раствора в пустоты камня. Показано сечение камня по пустотам

«мостиком холода», а также пористой керамике, такие камни вполне подходят для однослойной кладки толщиной 64 см. Стены из них могут быть как самонесущими, так и ненесущими. Основным недостатком кладки из крупноформатных камней является сложность заполнения вертикальных швов раствором, что может значительно снизить теплотехнические характеристики стены. При необходимости повышения сопротивления теплопередаче ($R > 3,0 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) кладка из этих камней может использоваться в качестве внутреннего несущего или самонесущего слоя двух— или трехслойных стен с эффективным утеплителем.

3.2.3. Технологичность изготовления изделий

Стремление получить в кирпиче или камне как можно больше пустот приводит к необходимости уменьшения толщины стенок, что не всегда удается. Чаще всего толщина стенок составляет не менее 10–12 мм, а ширина пустот не менее 12 мм.

3.2.4. Прочностные и деформационные характеристики кладки

Прочностные и деформационные характеристики кладки во многом зависят от процента пустотности, формы и направления пустот, прочности черепка. Очевидно, что прочность кирпича на сжатие и изгиб снижается с увеличением процента пустотности при прочих равных условиях (прочности черепка, габаритах кирпича). Кроме того, кладка из кирпича и камней с горизонтальными пустотами, а также с крупными пустотами при более чем 40% пустотности разрушается хрупко. Это должно учитываться снижением расчетного сопротивления, что в несущих и самонесущих стенах может привести к перерасходу материалов.

На прочность кирпича на изгиб большое влияние оказывает

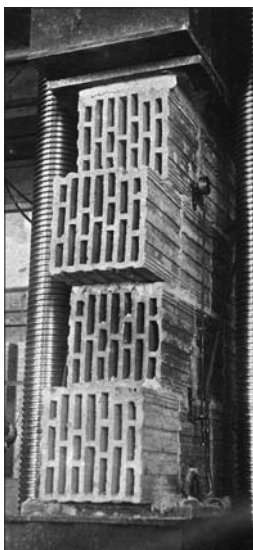


Рис. 3.3.1 Испытание кладки из керамического камня с горизонтальными пустотами для строительства Дворца Советов в Москве, испытания В.А. Камейко, 1938 г.



Рис. 3.3.2 Образцы кладки из керамического камня с горизонтальными пустотами для строительства Дворца Советов в Москве. Испытания В.А. Камейко, 1938 г.

не только процент пустотности, но и размер, форма и направление пустот. Так, при поперечных щелевых пустотах прочность кирпича на изгиб заметно снижается, что в свою очередь может привести к снижению прочности кладки на сжатие.

При крупных вертикальных пустотах заметно снижается эффективность армирования горизонтальными сетками, прочность на смятие.

Все эти факторы должны учитываться при выборе конструкции камня и кладки из него.

3.2.5. Долговечность кладки

Размораживание наружного слоя кладки происходит вследствие попеременного воздействия положительных и отрицательных температур в сочетании с увлажнением стены. В свою очередь увлажнение стены происходит вследствие прямого увлажнения дождевыми и тальными водами, подсоса влаги из основания, а также за счет влаги, образующейся вследствие конденсата водяных паров, проходящих сквозь стену со стороны помещения.

Размораживание кладки из пустотелых кирпича или камня будет происходить быстрее, чем кладки из полнотелых элементов. Это оказывается верным даже при одинаковой морозостойкости пустотелых и полнотелых кирпичей. Так, размораживание, кладки на глубину 1 см приведет к разрушению кладки на такую же глубину при полнотелом кирпиче и на 2–3 см — при расположении пустот вдоль стены и почти

на всю толщину кирпича — с щелевыми пустотами при их расположении поперек стены (рис. 3.2.2).

В местах, где кладка из пустотелой керамики находится в насыщенном водой состоянии, при ее замораживании возможен разрыв кирпича.

Менее долговечна кладка из пустотелой керамики также в местах, где возможны механические воздействия.

В силу сказанного толщина наружных стенок кирпича или камня не должна быть менее 12 мм, однако превышение этой величины нежелательно с точки зрения теплотехники.

3.2.6. Технологичность выполнения кладки

Основным тормозом на пути широкого внедрения кладки из высокопустотной керамики являлось попадание большого количества раствора в пустоты (рис. 3.2.3), что с одной стороны вело к его перерасходу, а с другой — снижало теплотехнические характеристики стены, сводя во многом на нет преимущества пустотелых элементов.

Было установлено, что при ширине щелевых вертикальных пустот более 12 мм попадание раствора становится особенно значительным (рис. 3.2.3). Для уменьшения попадания раствора предлагалось делать пустоты зигзагообразными.

Для кладки из керамики с шириной пустот 20 мм и более придумывались самые различные способы: применение специальных совков с гребенкой для раскладки раствора, заклейка пустот бумажной лентой, укладка мелких сеток, применение жестких растворов, клея, заполнение пустот утеплителем и т.д. Однако широкого применения эти способы у нас не нашли. В частности, при использовании клея вместо раствора толщина горизонтальных швов должна составлять не более 1–3 мм, что требует высокой точности изготовления камней. В наших условиях допуски при изготовлении керамических камней, как правило, оказывались значительно выше.

При кладке из крупноразмерных камней с вертикальными пустотами, а также кирпича или камня с горизонтальными пусто-

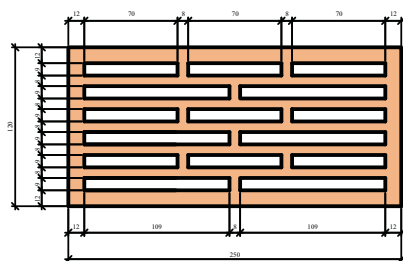


Рис. 3.3.3 Рекомендуемый тип кирпича с пустотами для многослойной кладки на гибких связях при неветилируемых воздушных прослойках

тами возникают сложности с заполнением раствором вертикальных швов. Некачественное их заполнение приводит к резкому снижению теплотехнических характеристик стены.

Подводя итог сказанному, можно сделать следующие выводы для кладки, выполняемой на растворе:

- оптимальная ширина пустот, если они не заполняются утеплителем, должна составлять не более 12 мм;
- рациональной формой пустот является ромб или щели, направленные вдоль плоскости стены для крупноразмерных камней и кирпича для кладки массивных стен толщиной в 25 см и более, и продольные щели для кирпича и камня при кладке стен толщиной в полкирпича.
- для лицевого слоя наружных стен толщина наружных стенок кирпича или камня должна быть не менее 12 мм.

3.3. Краткий обзор экспериментальных исследований прочности и деформаций кладки из пустотелых керамических камней и кирпича

В СССР первые исследования кладки из пустотелых керамических камней были проведены в 1938 году в ЦНИПС Главстройпрома В.А.Камейко под руководством Л.И. Онищика [3.8]. Испытывались камни, предназначенные для строительства Дворца Советов в г. Москве (рис.3.3.1).

Аналогом испытываемых камней послужили камни, выпускаемые в США (рис.3.4). Вместе с тем, опытами, проведенными в США, было установлено, что на зависимость между прочностью кладки и прочностью отдельных камней влияют форма и количество пустот, материал, из которого изготовлены камни. Все это потребовало проведения экспериментальных исследований кладки, выполненной из отечественных камней.

Образцы кладки имели размеры $30 \cdot 90 \cdot 125$ и $30 \cdot 90 \cdot 320$ см. На центральное сжатие было испытано 13 типов образцов кладки по 3 образца каждого типа. Фотографии образцов кладки приведены на рис.3.3.1, 3.3.2.

В результате исследований были сделаны выводы о том, что временное сопротивление сжатию кладки в зависимости от прочности раствора может быть описано предложенными Л.И. Онищиком зависимостями, полученными для кладки из полнотелого кирпича с подстановкой в них соответствующих эмпирических

коэффициентов. То же относится и к определению зависимости между напряжениями и деформациями кладки.

Было проведено также сравнение графиков зависимости прочности кладки из отечественных камней с данными исследований США. Хотя авторы и не делают этого вывода, из результатов видно, что прочность кладки по опытам США в большинстве своем выше. Наиболее вероятным объяснением этому служит тот факт, что качество поставленного для испытаний отечественного камня было низким, толщина стенок значительно колебалась. В то же время проведенные тогда и впоследствии исследования показали, что качество кладки, которое во многом зависит от соблюдения геометрических размеров камней, влияет на прочность.

Впоследствии большой вклад в экспериментальные исследования кладки из пустотелых камней и кирпича внес сотрудник ЦНИПС—ЦНИИСК А.С. Дмитриев [3.4; 3.9 и др.].

На основании проведенных исследований были получены для каждого вида кладки эмпирические коэффициенты, входящие в формулы Л.И. Онищика для определения прочности и деформаций кладки.

С конца 50—х годов прошлого столетия был осуществлен переход к массовому крупнопанельному и блочному домостроению и выпуск мелкоштучных стеновых материалов (кирпича, камней) в значительной степени сократился. Исследования кладки также сократились.

В конце 70—х годов наметилось возрождение кирпичных заводов. Как говорилось выше, в г. Норское под Ярославлем был построен завод с итальянским и болгарским оборудованием для изготовления высокопустотных керамических камней и кирпича. Под руководством В.А. Камейко были выполнены экспериментальные исследования кладки из различных видов камней и кирпича, к которым в конце 70—х—80—х годов подключился и автор (см. главу 4, раздел 3.4).

Как отмечалось выше, основная проблема в применении этих камней состояла в том, что они имели большие пустоты, в которые при кладке попадало много раствора (рис. 3.2.3). Этим ухудшались теплотехнические характеристики стены, происходил перерасход раствора, снижалась производительность труда. Кроме того, геометрические размеры камней не выдерживались, отклонения в одной партии изделий от заданных величин могли составлять более 1 см. Это приводило к увеличению толщины швов, которые и без того было трудно заполнить.

Как отмечалось, в ЦНИИСК в конце 80—х — начале 90—х го-

дов совместно с НИИСФ и ВНИИСТРОМ им. Будникова были проведены комплексные исследования кладки из крупноформатных керамических камней с размерами 380 · 180 · 138 мм с пустотностью около 45% Новокубанского завода керамических стеновых материалов.

Проведенные впоследствии в ЦНИИСК [3.5] и в НИИСФ [3.6] испытания керамических камней Петербургского завода «Победа—Кнауф» способствовали более широкому применению крупноразмерных керамических камней в России.

3.4. Экспериментальные исследования прочности и деформаций кладки из высокопустотных камней и кирпича с горизонтальными пустотами

3.4.1. Специфика применения пустотелых керамических камней и кирпича в многослойных стенах

Как отмечалось, наружные стены из многослойной облегченной кладки могут быть двух основных видов: с гибким и жестким соединением слоев. При гибком соединении слоев наружный слой может быть несущим, самонесущим и ненесущим. В последнем случае он устанавливается на перекрытие или специальные уголки, балки (подробнее см. главу 10).

К кладке наружного ненесущего слоя предъявляются следующие основные требования:

- небольшой вес;
- хорошее качество поверхности;
- технологичность возведения;
- достаточная долговечность;
- при отсутствии вентилируемых воздушных зазоров обеспечение достаточного сопротивления теплопередаче.

Если наружный слой является самонесущим или несущим, добавляется требование обеспечения достаточной несущей способности. При жестком соединении слоев с помощью вертикальных или горизонтальных диафрагм должна быть обеспечена совместная работа слоев.

При опирании стен на перекрытия особенно важно снижение веса стены. Это может быть достигнуто за счет применения кирпича и камней с большим процентом пустотности (более 40%). В этом случае кладка из кирпича и камня с горизонтальными пустотами является более технологичной по сравнению с кладкой из

кирпича с вертикальными пустотами, так как в этом случае упрощается устройство горизонтальных растворных швов. В то же время прочность кладки из таких камней и кирпича является вполне достаточной для возведения самонесущих стен высотой в несколько этажей.

Кроме того, кладка из камней с горизонтальными пустотами может быть использована в многослойных стенах и при жестком соединении слоев горизонтальными или вертикальными диафрагмами, выполненными из кирпича с вертикальными пустотами.

Ниже описываются исследования прочности и деформаций кладки из керамических камней и кирпича с горизонтальными пустотами, проведенные автором в ЦНИИСК под руководством В.А. Камейко еще в конце 70-х и в середине 80-х годов прошлого столетия. На основе этих исследований, а также исследований других авторов были уточнены прочностные и деформационные характеристики кладки из керамических камней и кирпича с горизонтальными пустотами, предложены конструкции однослойных и многослойных стен и варианты их использования. Исследование кладки из этих материалов в многослойных стенах приводится в главе 4.

3.4.2. Экспериментальные исследования прочности и деформаций кладки из керамического кирпича толщиной 88 мм с горизонтальными пустотами (пустотностью 41,7%)

Описание конструкций кладки и опытных образцов

В 1979–1980 годах автором под руководством В.А. Камейко были проведены исследования кладки из керамического кирпича с шестью горизонтальными пустотами Норского комбината [3.10, 3.11].

Учитывая большие затруднения, возникающие при кладке из высокопустотной керамики с вертикальным расположением пустот вследствие сложности устройства горизонтальных швов, в 1979 году на Норском комбинате был начат выпуск кирпичей (рис. 3.1.8) с шестью горизонтальными пустотами (с пустотностью 42%). Кирпич имел размеры $120 \cdot 250 \cdot 88$ мм. Толщина горизонтальных стенок составляла 10 мм, вертикальных — 12 и 10 мм. Пустоты были с размерами $29 \cdot 22$ мм и $29 \cdot 32$ мм. Имея хорошее качество наружной поверхности, кирпич мог использоваться как в качестве лицевого, так и в основном слое стены. Для лучше-

го обеспечения теплотехнических характеристик стены кирпич с продольными пустотами укладывался вдоль стены. Перевязка слоев осуществлялась кирпичом с вертикальными пустотами (с пустотностью 34%), выпуск которого также должен был начинаться на Норском комбинате. Перевязочный кирпич имел размеры $120 \cdot 250 \cdot 88$ мм (рис. 3.1.11).

На рис. 1.1.16 показана конструкция стены толщиной 51 см, выполнявшейся из кирпича с шестью горизонтальными пустотами с перевязкой кирпичом с вертикальными пустотами.

Прочность шестипустотного кирпича на сжатие, изгиб и срез составила соответственно 8,6, 4,0 и 2,6 МПа. У кирпича с вертикальными пустотами эти показатели были соответственно равны 26,4, 2,2 и 2,4 МПа.

Для получения прочностных и деформационных характеристик кладки было проведено четыре серии испытаний. Общее количество образцов составило 23.

Образцы первой серии представляли собой столбы сечением в плане $0,25 \cdot 0,51$ м и высотой 1,1 м. Перевязка осуществлялась в четверть кирпича. Чертеж образца приведен на рис. 3.4.1.

Образцы второй серии имели размер в плане $0,51 \cdot 0,51$ м и высоту 1,5 м. Перевязка в трех образцах осуществлялась кирпичом с вертикальными пустотами и в других трех образцах — полнотелым кирпичом. Была принята шестирядная система перевязки. Чертеж образца дан на рис. 3.4.2.

Образцы третьего типа представляли из себя панели с размерами $1,8 \cdot 1,8$ м. Кладка выполнялась из кирпича с горизонтальными пустотами с перевязкой кирпичом с вертикальными пустотами. Перед выполнением испытаний на сжатие на этом образце исследовались также теплотехнические характеристики стены. Фотографии образцов приведены на рис. 3.4.3—3.4.4.

Для оценки влияния армирования на увеличение прочности кладки были выполнены испытания образцов типа II, но с укладкой в них горизонтальных сеток.

Методика проведения испытаний

Образцы испытывались на центральное сжатие в гидравлическом прессе. По торцам образцы оснащались стальными плитами толщиной по 20 мм, подлитыми на цементно—песчаном растворе состава 1:1.

Измерение деформаций осуществлялось индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Нагрузка прикладывалась эта-

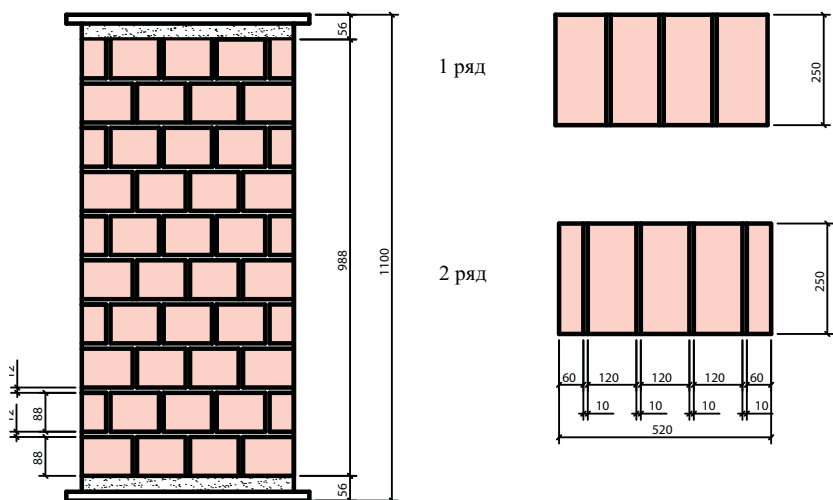


Рис. 3.4.1 Образец кладки, тип I, из керамического кирпича высотой 88 мм, с шестью горизонтальными пустотами Норского завода. Испытания автора, 1979 г.

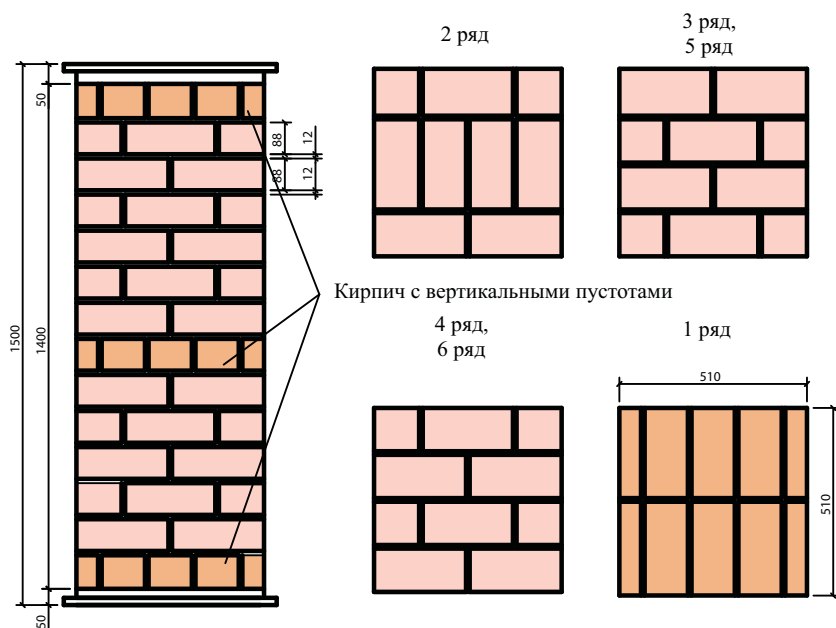


Рис. 3.4.2 Образец кладки, тип II, из керамического кирпича высотой 88 мм, с шестью горизонтальными пустотами Норского завода. Испытания автора, 1979 г.



Рис. 3.4.3 Характер разрушения образца кладки П2 из шестипустотного керамического кирпича с перевязочным кирпичом с вертикальными пустотами Норского комбината. Испытания автора, 1980 г.

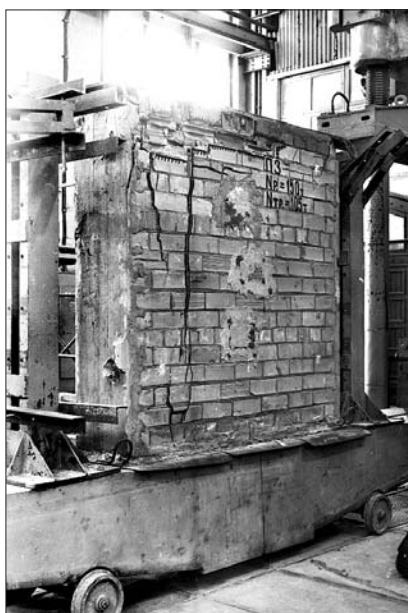
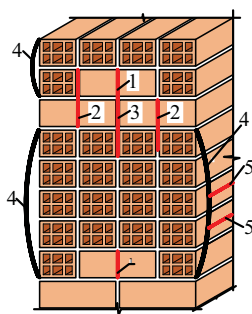


Рис. 3.4.4 Характер разрушения образца кладки П3 из шестипустотного керамического кирпича с перевязочным кирпичом с вертикальными пустотами Норского комбината. Испытания автора, 1980 г.



Последовательность разрушения:

Появление 1-ой трещины в перевязочном кирпиче

Появление 2-ой трещины в перевязочном кирпиче

Распространение трещин по вертикальным швам

Выпучивание наружных стенок.

Образование горизонтальных трещин на фасе

Рис. 3.4.5 Характер разрушения кладки типа II из керамического кирпича с шестью горизонтальными пустотами

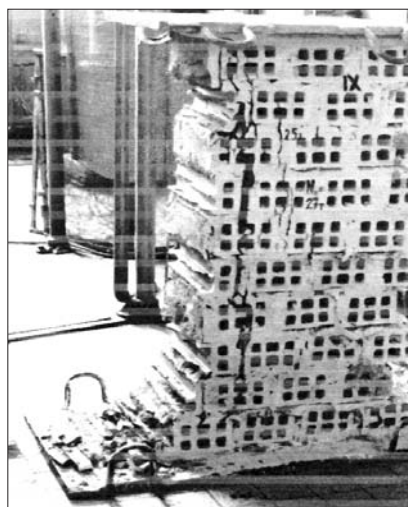


Рис. 3.4.6 Образец кладки с размерами 0,25 x 0,51 x 1,0 м из керамического кирпича высотой 88 мм с шестью горизонтальными пустотами Норского завода после испытаний на сжатие. Испытания автора, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1979 г.

пами, приблизительно равными $1/10$ от разрушающей нагрузки. После каждого этапа следовала выдержка при постоянной нагрузке в течение трех минут. Контроль прочности раствора в кладке осуществлялся испытанием на сжатие кубов с размерами $7,1 \cdot 7,1 \cdot 7,1$ см, выполненных из раствора одного замеса с раствором образца.

Характер разрушения образцов

Разрушение образцов всех типов, за исключением Па (кладка с армированием), происходило хрупко. Первые трещины появлялись при уровне нагрузки N , в среднем равном $0,8$ от разрушающей. Это выше, чем в кладке из полнотелого кирпича.

В образцах типа II первые трещины появились первоначально в перевязочных кирпичах с вертикальными пустотами ($N_{тр} / N_p = 0,8$), а затем уже в кирпичах с горизонтальными пустотами. При этом на фасадной части стены появились сначала горизонтальные трещины в результате выпучивания наружных стенок (рис. 3.4.5).

Анализируя характер разрушения кладки, можно видеть, что ***для всех типов образцов образование трещин в кирпичах с горизонтальными пустотами происходило преимущественно вдоль пустот.*** Заметим, что и при испытании на сжатие отдельных кирпичей их разрушение также происходило преимущественно с образованием трещин, идущих вдоль пустот. Фотографии некоторых образцов, сделанные после испытаний, показаны на рис. 3.4.4, 3.4.6.

В крупноразмерных образцах типа III, представляющих из себя фрагменты стен с размерами $1,9 \cdot 1,9$ м, на фасадной части стены помимо горизонтальных трещин, вызываемых выпучиванием наружных стенок кирпича с горизонтальными пустотами, были и вертикальные, проходящие на всю высоту стены. Последнее отличает характер разрушения образцов (тип III) от столбов, какими являлись образцы кладки типа I и II.

В столбах с армированной кладкой (IIa) характер разрушения в целом был похож на наблюдавшийся в столбах типа II, являющихся их аналогами. Первые трещины в образцах появились практически при тех же величинах вертикальных напряжений, что и в образцах типа II, выполненных на прочных растворах. Благодаря тому, что прочность армированных образцов оказалась в $1,45$ раза выше, чем у неармированных, относительный уровень обжатия кладки в момент появления первых трещин оказался там ниже и был равен $N_{тр} / N_p = 0,5$.

Прочность кладки

На рис. 3.4.7 изображены графики зависимости прочности кладки от прочности раствора. Там же показана кривая, построенная по формуле Онищика для кладки из пустотелого кирпича. Характер кривых отличен от кривой для кладки из полнотелого кирпича той же марки (М75). Для кладки из полнотелого кирпича характерно постепенное нарастание прочности кладки R с увеличением прочности раствора R_2 . У исследуемых кладок наблюдалось быстрое нарастание прочности кладки R_2'' при небольших значениях R_2'' и более медленное нарастание прочности кладки, начиная с некоторой величины прочности раствора. Для кладки типа I $R_2'' = 2,5$ МПа и для кладки типа II $R_2'' = 5,0$ МПа.

Вместе с тем, кривая зависимости прочности кладки от прочности раствора для образцов кладки типа II является средней между кривыми для образцов кладки типа I и кладки из полнотелого кирпича. Это объясняется тем, что в кладке типа II поперечные деформации и деформации среза воспринимались в первую очередь перевязочным кирпичом (в трех образцах это был кирпич с вертикальными пустотами и в трех полнотелый кирпич). В еще большей степени сдерживанию поперечных деформаций кладки и срезу кирпича, как и в кладке из полнотелого кирпича, способствует ее армирование горизонтальными сетками. Прочность армированной кладки оказалась выше на 45%, чем в аналогичной кладке типа II.

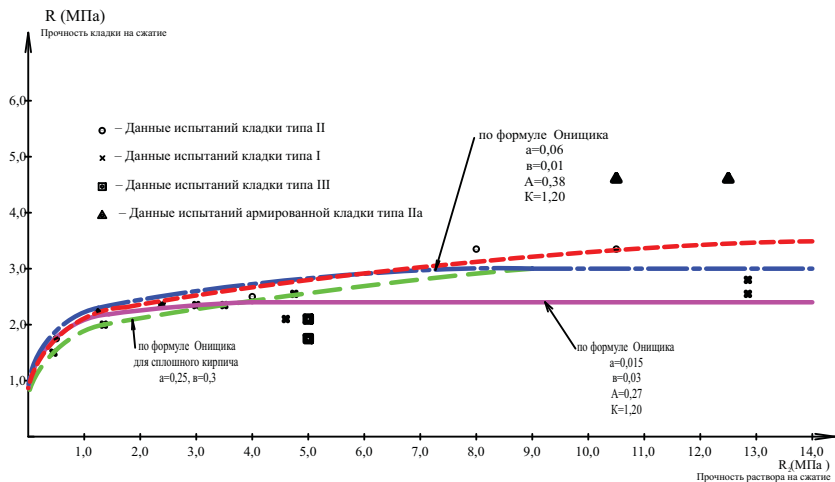


Рис. 3.4.7 Графики зависимости прочности кладки R от прочности раствора R_2

Как отмечалось, *кладка из кирпича с горизонтальными пустотами по сравнению с кладкой из полнотелого кирпича имеет следующие основные отличия:*

- *более хрупкий характер разрушения;*
- *на фасаде стены происходит образование трещин не только вертикальных, но и горизонтальных;*
- *рост прочности кладки с увеличением прочности раствора начиная с его некоторой величины $R_2 \geq R_2''$ происходит незначительно;*
- *более низкие значения прочности кладки.*

Несмотря на указанные отличия, зависимость прочности кладки из кирпичей с горизонтальными пустотами R от прочности раствора R_2 оказалось возможным описать формулой Л.И. Онищика [1.6], [3.12], выведенной им для кладки из полнотелого кирпича:

$$R = k \cdot A \cdot R_1 \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2R_1}}\right) \cdot \eta, \quad (3.1)$$

где R_1 – прочность кирпича на сжатие;

η – коэффициент, зависящий от вида раствора (для прочных растворов $\eta=1$);

k – коэффициент, учитывающий квалификацию каменщика («рука каменщика»), принятый для данной серии испытаний, равным 1,2 (первоначально в формуле Л.И. Онищика этот коэффициент отсутствовал и был введен В.А. Камейко).

Конструктивный коэффициент A , входящий в формулу (3.1), показывает процент использования прочности на сжатие кирпича в кладке. Так как максимальная прочность может быть достигнута при стремлении прочности раствора к очень большой величине, то, полагая $R_2 = \infty$, из формулы (3.1) получим:

$$A = \frac{R_{\max}}{kR_1}. \quad (3.2)$$

Как отмечалось, с увеличением прочности раствора прочность кладки типа I практически не превышала величины $R = 2,4$ МПа начиная с $R_2 \geq R_2' = 2,5$ МПа. Кладка типа II превосходила величину $R = 3,34$ МПа начиная с $R_2 \geq R_2'' = 5,0$ МПа не более чем на 4%.

Исходя из этого, получим для кладки типа IA = 0,24 и для кладки типа II A = 0,32.

По опытным данным были определены входящие в формулу (3.1) коэффициенты « a » и « b ». Для кладки без перевязки тычковым кирпичом (тип I) $a = 0,015$; $b = 0,03$. Для кладки с перевязкой тычковыми кирпичами (тип II) $a = 0,06$ $b = 0,01$.

Упругие свойства кладки

На рис. 3.4.8, 3.4.9 приведены кривые зависимости относительных вертикальных деформаций кладки ε от вертикальных напряжений σ . На рис. 3.4.10 построен обобщенный график зависимости предельных деформаций кладки типов I, II, III. Из него видно, что для всех типов кладок при прочности раствора больше 0,5 МПа средние предельные деформации составляют 1,5–1,7 10^{-3} . Это позволяет говорить о том, что для кладки на относительно прочных растворах ($R_2 \geq R_2''$) существует некоторая предельная величина вертикальных деформаций $\varepsilon_{пр.}$, равная в среднем 1,5 10^{-3} .

Для кладки определялись начальные модули упругости E_0 и упругая характеристика кладки α . [1.5]. Начальные модули упругости определялись из условия отсутствия значительных пластических деформаций при величинах напряжений менее 20% от временного сопротивления по формуле:

$$E_0 = E_{0,2} = \frac{\sigma_{0,2}}{\varepsilon_{0,2}}, \quad (3.3)$$

где $\sigma_{0,2}$ и $\varepsilon_{0,2}$ — соответственно, вертикальные напряжения и деформации в кладке при величине вертикальной нагрузки 20% от разрушающей.

Л.И.Онищиком [3.11], [3.12], [1.6] была установлена линейная зависимость между модулем упругости кладки и ее прочностью при сжатии:

$$E_0 = \alpha \cdot R, \quad (3.4)$$

где α — коэффициент пропорциональности, названный им упругой характеристикой кладки.

На рис. 3.4.11 изображены экспериментальные кривые зависимости упругой характеристики α от прочности раствора. Там же нанесена кривая, построенная по данным СНИП для кладки из керамических камней 138 мм с вертикальными пустотами. Упругая характеристика кладки без перевязочного кирпича (типа I) оказалась выше, чем у кладки с перевязочными кирпичами (ти-

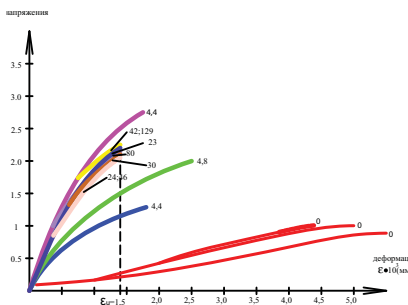


Рис. 3.4.8 а Графики σ – ϵ в зависимости от прочности раствора R_2 для образцов кладки типа I из керамического кирпича с шестью горизонтальными пустотами

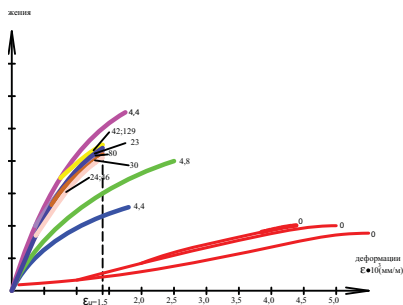


Рис. 3.4.8 б Графики σ – ϵ в зависимости от прочности раствора R_2 для образцов кладки типа II из керамического кирпича с шестью горизонтальными пустотами

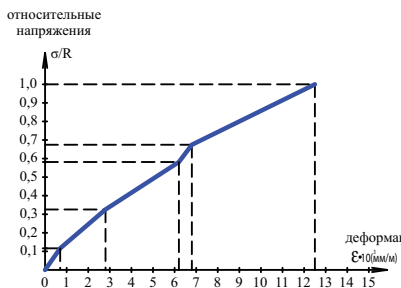


Рис. 3.4.9 График σ/R – ϵ для панелей из керамического кирпича с шестью горизонтальными пустотами

па II), которая практически совпадает с нормативной кривой. Объяснением тому служит то, что модули упругости обоих типов кладок отличаются незначительно. В то же время прочность кладки типа I ниже, отсюда и коэффициент пропорциональности α выше.

Таким образом, величину начального модуля упругости кладки с перевязочным кирпичом рекомендуется определять по формуле Л.И. Онищика (3.4) при упругой характеристике $\alpha = 1000$. Для кладки типа II (без перевязочного кирпича) α рекомендуется принимать равной 1500.

Выводы

1. **Разрушение кладки из кирпичей с горизонтальными пустотами близко к хрупкому.** На прочность кирпича и кладки оказывает большое влияние наличие продольных трещин в кирпиче.

В этой связи рекомендуется расчетное сопротивление кладки сжатию принимать с понижающим коэффициентом 0,6 по сравнению с кладкой из полнотелого кирпича, что нашло свое отражение в Пособии к СНиП [1.6].

2. *Прочность кладки может быть определена по формуле Л.И. Онищика (3.1) с подстановкой в нее полученных из эксперимента значений коэффициентов а и в.*

3. *В связи с тем, что прочность кладки R практически не увеличивается с ростом прочности раствора начиная с $R_2 = 5$ МПа, применение растворов с прочностью выше указанной не рекомендует-ся.* В случае применения для кладки растворов $R_2 > 5$ МПа в расчете принимается $R_2 = 5$ МПа.

4. Начальный модуль упругости кладки для растворов $R_2 > 2,5$ МПа рекомендуется определять при $\alpha = 1000$ по формуле:

$$E_0 = \alpha \cdot R = 1000 \cdot R ,$$

где R — предел прочности кладки на сжатие.

4. *Сетчатое армирование способствует повышению прочности кладки не менее чем на 40%.*

3.4.3. Экспериментальные исследования прочности и деформаций кладки из 11-пустотного керамического камня (пустотностью 44,6 %) с размерами 250 · 250 · 142 мм.

Цель работы

Исследования выполнялись в 1985—1986 годах. Целью работы была разработка конструкций комбинированной кладки, выполняемой из высокопустотных камней с облицовкой их кирпичом с вертикальными пустотами как с одной, так и с обеих сторон стены. Соединение облицовочных слоев должно было выполняться вертикальными и горизонтальными диафрагмами (подробнее см. раздел 4.2).

Для этого необходимо было получить первоначально прочностные и деформационные характеристики кладки, выполненной из кирпича с вертикальными пустотами и отдельно из керамических камней.

Описание конструкций кладки и опытных образцов

Камень выполнялся с размерами 250 · 250 · 142 мм и имел одиннадцать горизонтальных пустот. Пустотность камня состав-

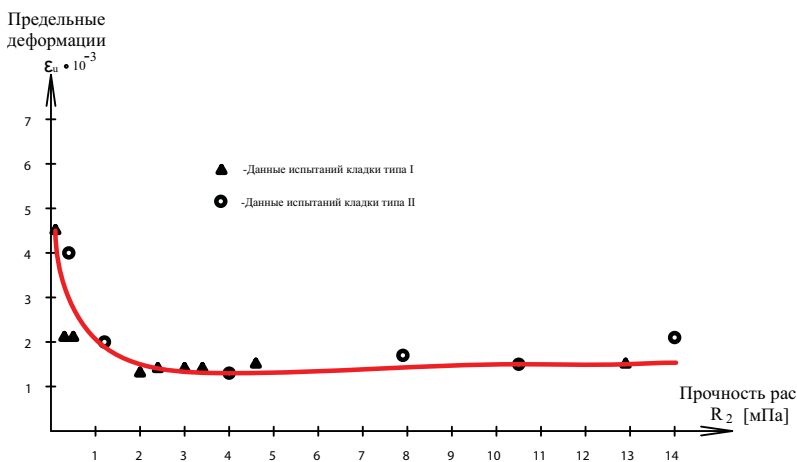


Рис. 3.4.10 Зависимость предельных вертикальных деформаций ϵ_v от прочности раствора R_2 кладки из керамического кирпича с шестью горизонтальными пустотами Норского завода

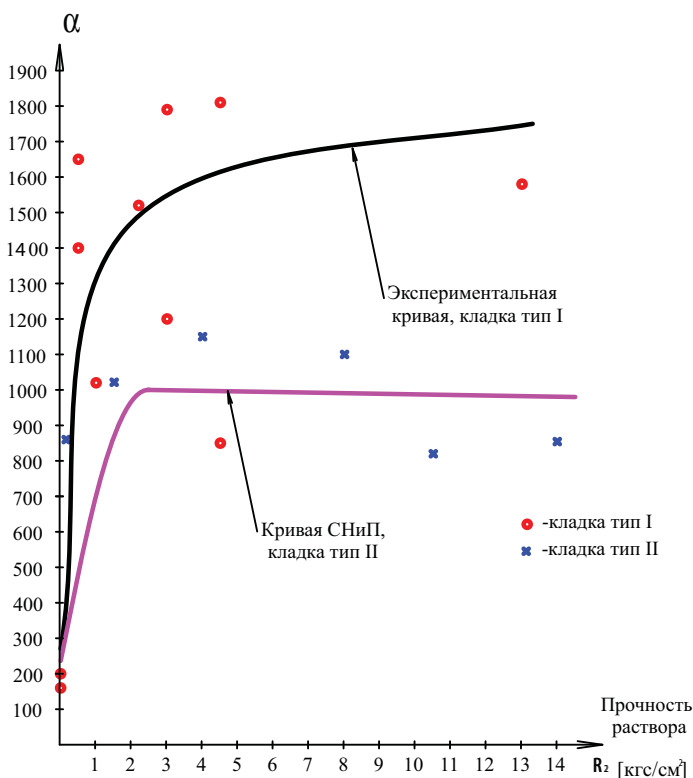


Рис. 3.4.11 Зависимость упругой характеристики кладки от прочности раствора R_2 для кладки из керамического кирпича с шестью горизонтальными пустотами Норского завода

ляла 44,6%. Общий вид камня представлен на рис. 3.1.10.

Прочность камня на сжатие равнялась 8,1 МПа. Было проведено две серии испытаний. В первой серии было испытано шесть образцов кладки на растворах прочностью 5,07 и 8,1 МПа. Образцы представляли собой столбы с размерами $0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,7$ м (рис. 3.4.12). Во второй серии испытывалось три образца с размерами $0,25 \cdot 0,38 \cdot 0,93$ м. Основное их отличие от образцов первой серии состояло в том, что они имели большие габариты и кладка в них выполнялась с перевязкой вертикальных швов. Фотографии образцов после их испытания приведены на рис. 3.4.12–3.4.14. Образцы испытывались на центральное сжатие. Методика испытаний была принята аналогичной испытаниям кладки из кирпича с горизонтальными пустотами.

Характер разрушения образцов

Разрушение образцов происходило хрупко. Первые трещины в образцах первой серии появились при уровне нагрузки $N_{тр}$, равном в среднем около 0,84 от разрушающей, а в отдельных образцах момент образования трещин совпал с моментом разрушения образца. В образцах второй серии в одном из них при нагрузке 0,91 от разрушающей появилась первая трещина. Два других образца разрушились без образования до момента разрушения видимых трещин. Трещины и разрушение образцов происходило вдоль пустот.

Прочность кладки

По результатам испытаний построен график зависимости прочности кладки R_2 от прочности раствора R_2 (рис. 3.4.15 а). Как и для кладки из кирпича с шестью горизонтальными пустотами, здесь наблюдается лишь незначительное увеличение прочности кладки с ростом прочности раствора начиная с некоторой величины $R_2'' = 5,0$ МПа. Величина конструктивного коэффициента A , характеризующего процент использования прочности камня в кладке, равна приблизительно 0,35.

Упругие свойства кладки

Кривые зависимости вертикальных деформаций кладки ε от относительного уровня обжатия кладки приведены на рис. 3.4.15 б.

По ним была получена упругая характеристика кладки α , рав-

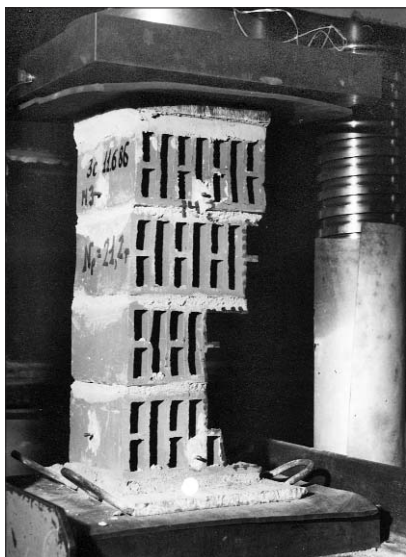


Рис. 3.4.12 Образец кладки типа I из керамических камней высотой 142 мм, с 11-ю горизонтальными пустотами после испытаний на сжатие. Испытания автора, ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, 1986 г.



Рис. 3.4.13 Образец кладки типа I из керамических камней высотой 142 мм, с 11-ю горизонтальными пустотами после испытаний на сжатие. Испытания автора, ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, 1986 г.



Рис. 3.4.14 Образец кладки типа II из керамических камней высотой 120 мм Норского комбината с горизонтальными пустотами (пустотность 44,6%) после испытаний на сжатие. Испытания автора, ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, 1986 г.

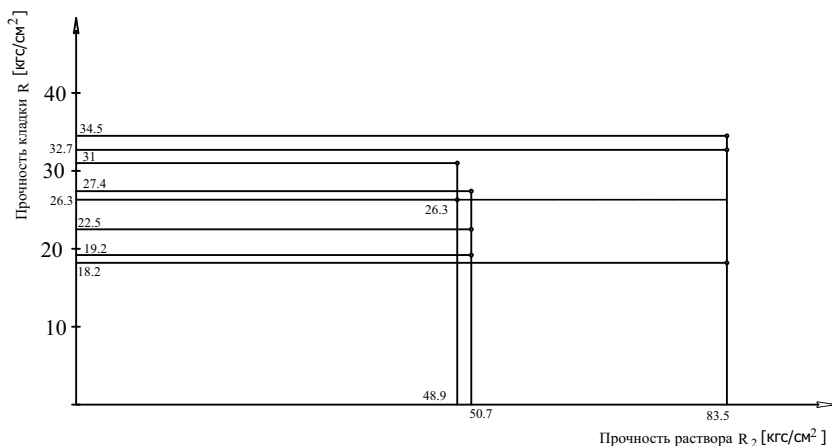


Рис. 3.4.15 а График зависимости прочности R от прочности R_2 для кладки с 11-и пустотными керамическими камнями с горизонтальными пустотами Норского завода

ная 1200 для образцов на растворе прочностью 8,35 МПа и 1400 — для образцов на растворе прочностью 5,07 МПа. Для кладки типа II $\alpha = 1000$. Среднее значение α может быть принято равным 1200.

Выводы

- Разрушение кладки происходило хрупко, первые трещины появились не ранее чем при $\sigma > 0,82R$.
- Начальный модуль упругости кладки может определяться при $= 1200$.
- Конструктивный коэффициент кладки $A = 0,35$.
- При прочности раствора $R'' \geq 6$ МПа прочность кладки практически не возрастает.

3.4.4. Анализ проведенных экспериментальных исследований кладки из высокопустотных керамических камней и кирпича с горизонтальными пустотами

Анализ приведенных в настоящей работе и выполненных другими авторами исследований показал следующее. По характеру работы при сжатии кладка из пустотелых керамических камней и кирпича с горизонтальными пустотами значительно отличается от кладки из полнотелого кирпича или кирпича и камня с вертикальными пустотами.

Разрушение кирпича и камня с горизонтальными пустотами в

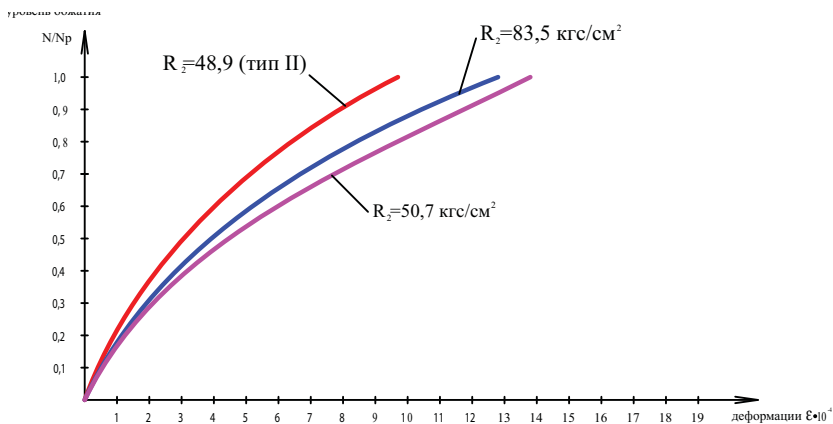


Рис. 3.4.15 б График зависимости вертикальных деформаций от относительного уровня обжатия N/N_p кладки из камней с 11-ю горизонтальными пустотами Норского комбината

кладке происходит вдоль пустот, а не поперек кирпича. Это объясняется следующим.

Кирпич в кладке находится в условиях сложного напряженного состояния. Как было показано в исследованиях Л.И. Онищика [3.12], в результате неоднородности горизонтальных растворных швов, неровной поверхности кирпича последний разрушается в кладке в первую очередь от изгиба и среза. Кроме того, вследствие различий в деформационных характеристиках кирпича и раствора кирпич растягивается в горизонтальной плоскости. Вертикальные напряжения по постели кирпича (горизонтальному шву) распределены неравномерно, особенно, в случае с пустотелым кирпичом. На рис. 3.4.16 приведены фотографии кирпича и камня с горизонтальными пустотами, которые были обжаты в прессе. Между плитой пресса и раствором, которым были выровнены горизонтальные поверхности кирпича (камня), была проложена красящая лента. Хорошо видно, что вертикальные напряжения распределены практически только вдоль вертикальных стенок камня.

В кладке, где качество горизонтальных швов по сравнению с описанным выше опытом гораздо ниже, а вертикальные стенки смежных по высоте кирпичей (камней) смещены относительно друг друга, неравномерность распределения напряжений на отдельных участках оказывается еще выше.

В значительной степени разрушению кирпичей вдоль пустот способствует также меньшая площадь поперечного сечения на единицу длины кирпича вдоль пустот, нежели поперек. В резуль-



Рис. 3.4.16 Распределение вертикальных напряжений по горизонтальной поверхности кирпича (камня), полученное после обжигания кирпича (камня) в прессе с прокладкой красящей ленты между плитой прессы и образцом. Испытания автора, ЦНИИСК им Кучеренко, 1979 г

тате и прочность кирпича на срез и растяжение по этому направлению также ниже. Кроме того, выполненными исследованиями было установлено, что прочность черепка, выпиленного из его стенок и полок, отличается по разным направлениям [3.13]. Для оценки степени анизотропии высокопустотного кирпича пластического формования автором были проведены испытания на сжатие фрагментов стенок, выпиленных из различных частей кирпича. Испытания проводились в гидравлическом прессе с использованием специального центровочного приспособления. Всего было испытано 49 образцов, выпиленных из четырех кирпичей. Среднее значение прочности на сжатие по направлению вдоль пустот составило 38,6 МПа и поперек пустот — 27,3 МПа. Таким образом, прочность на сжатие стенок кирпича по направлению поперек пустот оказалась ниже на 30% прочности стенок вдоль пустот.

При слабых растворах несколько большую роль играет растяжение кирпичей в результате различной деформативности кирпича и раствора. Так как прочность кирпича на растяжение поперек пустот ниже, чем вдоль пустот, то это также способствует разрушению вдоль пустот.

Несущая способность кладки из большинства керамических камней и кирпича с горизонтальными пустотами является достаточной для возведения из нее стены высотой не менее 9–12 этажей. Ясно, что несущая способность такой кладки будет достаточной и для кладки лицевого слоя, устанавливаемого на перекрытия с поэтажной разрезкой.

Достаточно высокая несущая способность может быть и у кладки, облицованной кирпичом с горизонтальными пустотами.

В разделе 4.2 приведены данные исследований многослойных стен с внутренним слоем из камней с горизонтальными пустота-

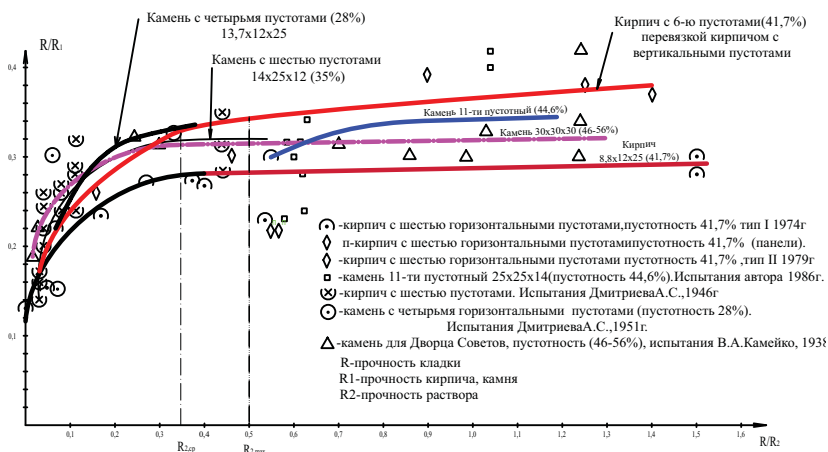


Рис. 3.4.17 График зависимости относительной прочности кладки из кирпича и камней с горизонтальными пустотами R/R_1 от относительной прочности раствора R_2/R_1

ми, которые также показали возможность их использования в несущих и самонесущих стенах высотой до 5–9 этажей.

На рис. 3.4.17 приведены сводные графики зависимости относительной прочности кладки от относительной прочности раствора. Помимо испытанных автором кладок для сравнения были использованы также результаты испытаний кладок из кирпича и камня с горизонтальными пустотами, выполненными в разное время в ЦНИИСК В.А. Камейко и С.А. Дмитриевым. Для возможности сравнения графиков, прочности раствора и кладки здесь определялись относительно прочности кирпича или камня на сжатие. Это обосновывается тем, что любой из построенных графиков можно описать формулой Л.И. Онищика [3.12], [1.6] (формула 3.1) с подстановкой в нее соответствующих эмпирических коэффициентов.

Видно, что у большинства графиков прочность кладки, начиная с некоторой прочности раствора, возрастет очень незначительно. Это говорит о том, что для этого вида кладок применение растворов, прочность которых выше некоторой предельной величины R'' , нецелесообразно. Для большинства рассмотренных кладок значение R_2''/R_1 находится в пределах 0,3–0,5 от R_2''/R_1 при среднем значении около 0,35.

Предельные величины вертикальных деформаций для кладки данного типа при прочности раствора больше 1,5 МПа практически также не уменьшаются с ростом прочности раствора. Для большинства рассмотренных кладок, выполненных без перевяз-

ки полнотелым кирпичом или с вертикальными пустотами, величина предельных вертикальных деформаций не превысила $1,5 \cdot 10^{-3}$.

В отличие от кладки из полнотелого кирпича разрушение исследованных кладок происходило хрупко. В отдельных образцах разрушение происходило без образования видимых трещин.

Последнее обстоятельство учитывается введением к расчетному сопротивлению кладки коэффициента условий работы, равного 0,6 [1.6].