

УДК 624.012.82

Б.С. Соколов – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН

E-mail: sokolov@kgasu.ru

А.Б. Антаков – кандидат технических наук, доцент

К.А. Фабричная – ассистент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЯ КЛАДОК ИЗ ПУСТОТЕЛОГО КИРПИЧА 1,4 НФ С ТЕРМОВКЛАДЫШЕМ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РАСТВОРНЫХ ШВАХ

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты исследований каменных кладок из пустотного керамического кирпича с термовкладышем в горизонтальных растворных швах, улучшающих теплотехнические свойства конструкций. Целью исследований является разработка методики расчета на основе теории силового сопротивления анизотропных материалов при сжатии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каменная кладка, прочность, пустотный керамический кирпич, термовкладыш, теория.

B.S. Sokolov – doctor of technical science, professor, corresponding member of the RAACS

A.B. Antakov – candidat of technical science, associate professor

K.A. Fabrichnaya – assistant

Kazan State University of Architecture and Engineering

RESEARCH OF HOLLOW BRICK MASONRY WITH THERMAL INSULATION IN MORTAR BED

ABSTRACT

In this article researches of hollow ceramic brick masonry with the thermo insulation in mortar bed improving thermo resistance of structures are resulted. The purpose of research is working out a design procedure, based on the theory of power resistance of anisotropic materials at compression.

KEYWORDS: masonry, strength, hollow ceramic brick, thermal insulation, the theory.

При кладке наружных стен, кроме обеспечения несущей способности, выдвигается еще одно важное требование – высокое термическое сопротивление. Этим требованиям соответствуют производимые с недавнего времени на предприятиях РТ керамические пустотелые кирпичи и камни, отличающиеся достаточно высокими прочностными и теплотехническими показателями. При кладке, как правило, применяется обычный цементно-песчаный раствор, однако его технические тепловые показатели в несколько раз хуже, чем свойства самих кирпичей и блоков, поэтому их сочетание в кладке приводит к значительному снижению теплоизоляционных свойств ограждающей конструкции.

Негативное воздействие обычного кладочного раствора можно снизить несколькими способами:

1. Пониженный расход раствора за счет применения специальной конструкции кирпичей паз-гребень;
2. Использование легкого (теплоизоляционного) кладочного раствора;
3. Использование прерывистого постельного шва.

Первый способ реализован во всей номенклатуре кирпичных блоков Поротерм, выпускаемых заводом ООО «Винербергер Кирпич» в Куркачах.

Второй способ – применение легких растворов с добавлением перлита является оптимальным по мнению производителей пустотной керамики [1-3]. При сопоставимости коэффициента теплопроводности легкого раствора с аналогичным показателем камней, при отсутствии диффузии водных паров в постельных швах кладка не дает трещин по швам. По термическим свойствам легкие растворы были разделены в Германии на 2 группы, получившие обозначение ЛМ 21 и ЛМ 36. Растворы группы ЛМ 36 улучшают термическое сопротивление кладки примерно на 10 %, растворы

группы ЛМ 21 примерно на 17 % по сравнению с кладкой на обычном цементно-песчаном растворе [2]. Основными недостатками данного способа являются невысокие марки по прочности и значительная стоимость существующих легких растворов смесей.

Третий способ – прерывный постельный шов может применяться для всех видов кирпича и камня и достигается тем, что в горизонтальном шве обычный раствор один или два раза прерывается воздушным пространством шириной от 30 до 50 мм. Такая конструкция шва увеличивает термическое сопротивление кладки на 3-5 %, однако значительно снижает ее несущую способность. Данные производителей [2] свидетельствуют о том, что при толщине кладки 380 мм наличие двух пустот шириной 50 мм снижает несущую способность кладки на 25 %. Для повышения термического сопротивления кладки, выполненной этим способом, возможно введение в пустоты горизонтального растворного шва специальных термовкладышей из теплоэффективных материалов.

Применение перечисленных способов для повышения теплоизоляционных свойств каменной кладки несущих наружных стен сдерживается отсутствием в нормативных документах соответствующих рекомендаций. В СНиП [4, 5] содержатся данные для проектирования кладок, выполненных на тяжелых растворах со сплошным заполнением растворного шва.

Для восполнения подобного пробела в лаборатории кафедры ЖБиКК КазГАСУ в 2009 году проведены комплексные исследования кладки из пустотелых керамических кирпичей формата 1,4 НФ, соответствующих ГОСТ 530-2007 [6] и ТУ 5741-001-72646104-2008 [7], производимых заводом «Ключищенская керамика» ЗАО «ФОН». Целью проведения исследований являлась разработка методики расчета кладок на основе теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию для использования при проектировании зданий. Программа исследований предусматривала два этапа, последнему из которых посвящена данная статья.

На первом этапе была проведена оценка прочностных характеристик материалов [8], получены опытные значения трещинообразующих, разрушающих нагрузок и определены значения временных сопротивлений сжатию для образцов из сплошных кладок. Результаты испытаний использованы для разработки методики расчета данных кладок на основе теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии, отражающей характер и физические параметры разрушения кладки и показавшей удовлетворительную сходимость результатов [9].

Целью проведения исследований на втором этапе являлась разработка методики расчета по прочности при центральном сжатии кладок, с неоднородным заполнением горизонтального растворного шва, соответствующих современным теплотехническим требованиям для использования в проектировании зданий.

Для реализации поставленной цели решены следующие задачи:

- изготовлены опытные образцы кладки из двух видов кирпича;
- проведены испытания образцов кладки, для определения ее физико-механических свойств: прочности, трещинообразующих и разрушающих нагрузок;
- обработаны результаты испытаний для получения фактического значения прочности кладок на центральное сжатие;
- проведено сопоставление прочности и деформативности ранее испытанной сплошной кладки (серии 1, 2 – 1 этап исследований) и кладки с термовкладышем (серии 3, 4, 5, 6 – 2 этап исследований) для выявления влияния термовкладыша на ее физико-механические свойства;
- произведено уточнение методики расчета.

Для изучения прочностных и деформационных свойств кладки с термовкладышами испытаны 4 серии каменных столбов, отличающиеся видом кирпича и прочностью раствора (табл. 1). При изготовлении образцов кладки в каждом ряду укладывалась стеклопластиковая сетка для предотвращения попадания раствора в пустоты и термовкладыш (рис. 1 а). Ширина термовкладышей из вспененного пенополиэтилена, укладываемых в центральной зоне вдоль большей стороны сечения, в соответствии с техническим заданием, составила 140 мм, толщина – 6 мм. Площадь термовкладышей составила 56 % от поперечного сечения кладки.

Испытания образцов кладки на центральное сжатие в возрасте 30-33 дней производились на гидравлическом прессе ИПС–200. Для измерения продольных и поперечных деформаций кладки на боковые поверхности образцов устанавливались мессуры с индикаторами часового типа (рис. 1б).

В ходе испытаний образцов кладки определены величины продольных и поперечных деформаций кладки трещинообразующих и разрушающих нагрузок, зафиксирован характер разрушения образцов.

Основные характеристики серий образцов

№ серии	Кол-во образцов	Размеры образцов, мм	Материалы кладки		Наличие термовкладыша
			Кирпич	Раствор	
1	2	380×250×(1000±50)	ГОСТ530-2007 [6]	M100	нет
2	2	- « -	ТУ5741-001-72646104-2008 [7]	M100	нет
3	2	- « -	ГОСТ530-2007[6]	M100	есть
4	2	- « -	ТУ5741-001-72646104-2008 [7]	M100	есть
5	2	- « -	ГОСТ530-2007 [6]	M25	есть
6	2	- « -	ТУ5741-001-72646104-2008 [7]	M25	есть

а)



б)

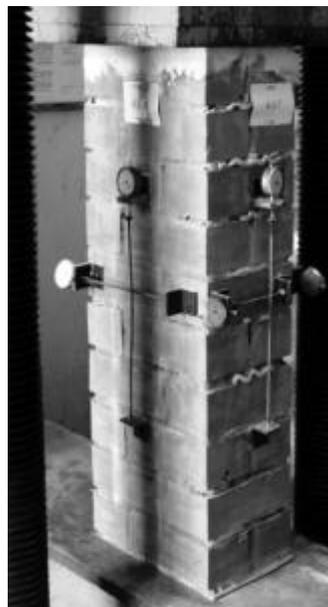


Рис. 1. Опытные образцы серий 3 (а) и 6 (б) на стадии изготовления и подготовленные к испытаниям

По полученным экспериментальным данным вычислены ранее отсутствовавшие и необходимые для проектирования значения временных и расчетных сопротивлений кладок, причем напряжения соответствующие $R_{и,ср}^{нетто}$, то есть воспринимаемые сечением кладки за минусом площади, занятой термовкладышем (рис. 2).



Рис. 2. Вид заполнения горизонтального растворного после испытаний:
 а) при использовании сетки и термовкладыша (серии 3-6);
 б) при использовании сетки (серии 1-2)

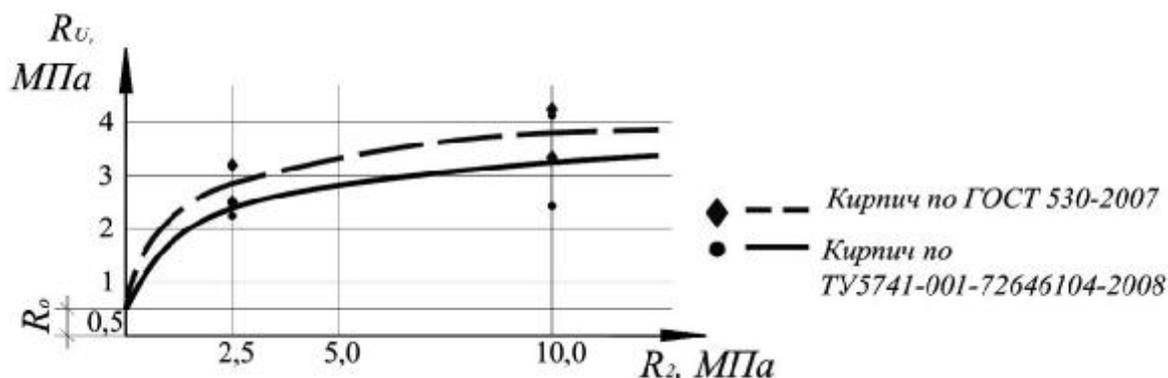
В таблице 2 приведены средние значения трещинообразующих, разрушающих нагрузок и сопротивлений кладок, вычисленных по площади горизонтальных растворных швов.

Таблица 2

Результаты испытаний серий образцов с термовкладышами

№ серии	Среднее значение трещинообразующей нагрузки N_{crc} , кН	Среднее значение разрушающей нагрузки $N_{разр}$, кН	Среднее значение временного сопротивления кладки $R_{u,cr}$, МПа
3	47,5	159,5	3,8
4	52,5	137,5	3,27
5	50	120	2,85
6	42,5	101	2,40

Впервые для кладок с термовкладышами получены зависимости временной прочности кладки от марки раствора (рис. 3).

Рис. 3. Зависимости « R_u - R_2 » для кладок с термовкладышами

При сопоставлении результатов испытаний серий 1, 3 и 2, 4 соответственно, получены аналитические зависимости для определения временного и расчетного сопротивлений сжатию кладок на растворе марки М100 с использованием термовкладыша с площадью, составляющей 56 % от общего сечения элемента:

для кирпича по ГОСТ 530-2007 [6] – $R_{терм} = 0,51 \times R$,

для кирпича по ТУ 5741-001-72646104-2008 [7] – $R_{терм} = 0,5 \times R$,

где $R_{терм}$ – сопротивление сжатию кладки с термовкладышем в горизонтальном шве;

R – сопротивление сжатию кладки со сплошным швом [9].

Исследован характер трещинообразования и разрушения образцов различных серий, примеры для образцов с термовкладышами представлены на рис. 4.

Как видно из рисунков, в средней зоне по меньшей стороне сечения сжатого элемента возникают и развиваются продольные трещины, разделяющие элемент на три части, затем происходит смещение приопорных трехосносжатых областей с раздавливанием материалов кладки в ядре сечения, выделяемом трещинами. Разрушение, сопровождаемое нарастающими продольными деформациями, происходит от потери устойчивости фрагментов элемента, выделенных продольными трещинами.

Видимые трещины возникают при нагрузках, составляющих 0,3-0,5 от разрушающих, и развиваются по границам термовкладышей (рис. 4). Установлено, что трещиностойкость кладки с термовкладышем значительно ниже, чем у сплошной кладки, составляющей $N_{crc} \approx 0,6 - 0,7 N$ [9].

Изучение характера разрушения опытных образцов показало, что в целом он соответствует физической модели разрушения анизотропных материалов при сжатии. Полученные данные

использованы для разработки методики расчета каменных кладок с учетом наличия термовкладыша с использованием выражений расчетного аппарата теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию [10-13].

Расчет по прочности при симметричной установке вкладыша относительно сечения конструкции проводят из условия:

$$N \leq N_{ult} = 2[(N_t \cos a + N_{sq}) / \sin a + N_{ef}], \quad (1.1)$$

где N – продольное усилие от внешних расчетных нагрузок;

N_{ult} – несущая способность элемента, являющаяся суммой из несущей способности двух столбиков кладки, разделенных термовкладышем,

N_{sq} , N_{ef} , N_t – усилия, воспринимаемые кладкой соответственно в зонах сдвига, раздавливания и растяжения;

a – угол наклона граней клина к плоскости грузовой площадки.

a



б



Рис. 4. Характерные особенности разрушения образцов. Наличие податливого вкладыша провоцирует концентрации напряжений на границе срез и изгибно-сдвиговые повреждения кирпичей (а, б)

Усилия, воспринимаемые кладкой, определяются по следующим формулам:

$$N_{sq} = R_{sq} A_{sq}, \quad (1.2)$$

$$N_{ef} = R_{ef} A_{ef}, \quad (1.3)$$

$$N_t = R_t A_{bt}, \quad (1.4)$$

где R_{sq} , R_t – расчетное сопротивление кирпича сдвигу (срезу) и растяжению;

R_{ef} – временное сопротивление кладки сжатию, определенное по табл. 2 [4];

A_{sq} , A_{ef} , A_{bt} – площади соответственно сдвига (среза), раздавливания и отрыва.

Расчетные площади столбиков определяются с вычетом площади термовкладыша по формулам:

$$A_{sq} = (a - t) / 2 \cdot b \cdot (1 + \sin^2 a) \cdot \cos a \quad (1.5)$$

$$A_{ef} = (a - t) / 2 \cdot b \cdot \sin^4 a \quad (1.6)$$

где a , b – меньший и больший размеры сечения столба соответственно,

t – ширина термовкладыша.

Площадь поверхности растяжения определяется с учетом разности сторон и перевязки кирпичей (рис. 5) в сечении по формулам:

$$A_{bt} = 2A_{t1} + 2A_{t2}, \quad (1.7)$$

$$A_{t1} = (h - b \cdot \sin a \cdot \cos a) \cdot a / 2, \quad (1.8)$$

$$A_{t2} = (h - a \cdot \sin a \cdot \cos a) \cdot b / 3. \quad (1.9)$$

Учитывая то, что величина сопротивления кирпича растяжению на несколько порядков ниже других параметров, входящих в формулу 1.1, значением N_t можно пренебречь, таким образом, формула 1.1 приобретает следующий вид:

$$N \leq N_{ult} = 2(N_{sq} / \sin a + N_{ef}). \quad (1.10)$$

Расчет по образованию трещин следует выполнять по условию:

$$N \leq N_{crc} = N_t \cdot ctga, \quad (1.11)$$

где N_t определяется по формуле 1.4.

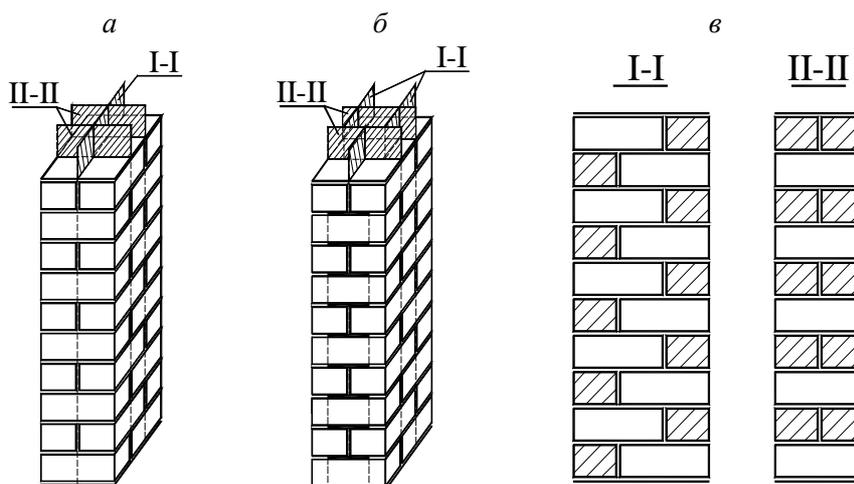


Рис. 5. Плоскости отрыва в каменном столбе с размерами 25x38x105 см со сплошным швом (а) и с термовкладышем (б), рабочие зоны плоскостей показаны штриховкой (в)

Таблица 3

Сравнение экспериментальных и теоретических результатов несущей способности

Номер серии	$N_{разр}$, кН	$N_{снип} / N_{разр}$	$N_{модель} / N_{разр}$
3	159.5	1.245	0.855
4	137.5	1.19	0.96
5	120	1.11	0.97
6	101	1.04	1.08

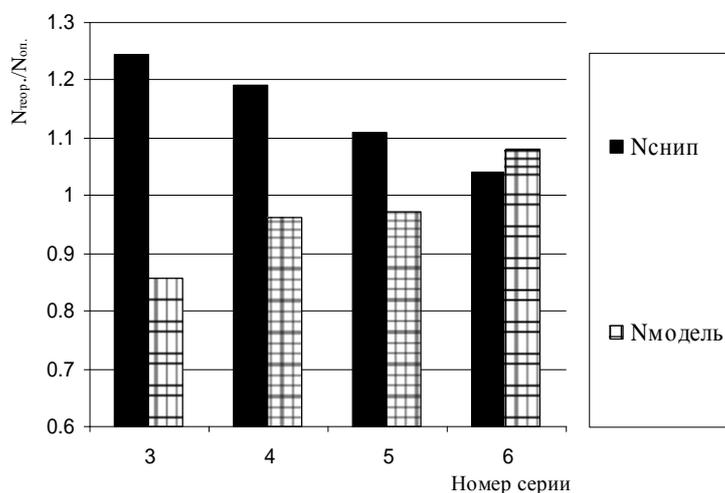


Рис. 6. Сравнение экспериментальных и теоретических результатов

Сопоставление опытных данных несущей способности испытанных образцов и теоретических значений, полученных по представленной методике и определенных по СНиП [4, 5], приведено в табл. 4 и на рис. 6.

Выводы

Впервые проведены исследования прочности кладок из кирпича 1,4 НФ, выпускаемого заводом «Ключищенская керамика» по [6, 7] с использованием специальной конструкции шва с термовкладышем. Получены данные, необходимые для проектирования конструкций зданий и сооружений с применением данной конструкции шва. Установлено, что введение термовкладышей оказывает значительное влияние на напряженно-деформированное состояние и характер разрушения кладки, вызывая снижение величины сопротивления кладки сжатию вдвое по сравнению с кладкой с однородным растворным швом.

Разработана методика расчета кладок с термовкладышами на основе теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии, отражающая характер и физические параметры разрушения кладки. Сравнение опытных значений и данных, полученных по представленной методике, показало их удовлетворительную сходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические решения стеновых конструкций жилых зданий с применением керамических поризованных пустотелых камней // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко филиал ФГУП НИЦ «Строительство». – М., 2009.
2. Типовые узлы POROTERM // Wienerberger Building Value: 2010 URL: http://www.wienerberger.ru/servlet/Satellite?pagename=Wienerberger/WBArticle/ArticleStandard05&c id=1160387304304&sl=wb_ru_home_ru&lpi=1129717374068 (дата обращения 21.04.2010).
3. Рекомендации по проектированию наружных стен толщиной 640 мм для жилых и общественных зданий из керамических изделий производства ЗАО "Победа ЛСР" // Континент: 2005 URL: <http://www.kkontinent.ru/info/articles/2.html> (дата обращения 21.04.2010).
4. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования // Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
5. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81) // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
6. ГОСТ 530-2007. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
7. ТУ5741-001-72646104-2008. Кирпич пустотный керамический. Технические условия.
8. Фабричная К.А. Исследования прочностных характеристик пустотелых кирпичей 1,4 НФ, изготовленных заводом «Ключищенская керамика» // Сборник научных трудов КазГАСУ. – Казань, 2009. – С. 41-45.
9. Соколов Б.С., Антаков А.Б., Фабричная К.А. Исследования кладок из пустотелого кирпича 1,4 НФ // Известия КазГАСУ, 2009, № 2(12). – С. 134-139.
10. Соколов Б.С. Теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии // Известия вузов. Строительство, 1993, № 9. – С. 39-42.
11. Соколов Б.С. Физическая модель разрушения каменных кладок при сжатии // Известия вузов. Строительство, 2002, № 9. – С. 4-9.
12. Каменные и армокаменные конструкции. Автоматизированный учебный комплекс. Для специальностей 270102, 270106 / Казанский государственный архитектурно-строительный университет; Составители Соколов Б.С., Антаков А.Б. – Казань, 2007. – 96 с.
13. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Исследования каменных кладок, усиленных стальными обоями. – Тольятти, 2009. – С. 167-173.