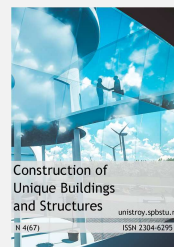




Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru



doi: 10.18720/CUBS.67.3

Влияние степени заполнения пустот кирпича строительным раствором на теплопроводность кладки

The impact of the extent of mortar filling of brick holes on thermal conductivity of masonry

А.С. Горшков^{1*}, В.Я. Ольшевский², Р.А. Горшков³,
А.В. Ковредов⁴

^{1,2,4}Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 195251, Россия,
Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

³Общество с ограниченной ответственностью
"АлгоритмСтрой", 195271, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Брюсовская, 22

A.S. Gorshkov^{1*}, V.Y. Olshevskiy², R.A. Gorshkov³,
A.V. Kovredov⁴

^{1,2,4}Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

³Limited liability company "AlgoritmStroy", 22, Bryusovskaya
St., St. Petersburg, 195271, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

керамика;
кирпич;
строительный раствор;
кладка;
стена;
теплопроводность;
термическое сопротивление;
энергосбережение;
энергетическая эффективность;

KEYWORDS

ceramics;
brick;
mortar;
masonry;
wall;
thermal conductivity;
thermal resistance;
energy saving;
energy efficiency;

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 04.04.2018
Принята: 17.05.2018

ARTICLE HISTORY

Submitted: 04.04.2018
Accepted: 17.05.2018

АННОТАЦИЯ

В работе представлена методика расчета теплопроводности пустотелых керамических изделий и каменной кладки из них. Выполнен расчет термического сопротивления и средней теплопроводности облицовочного каменного слоя толщиной 120 мм. Заполнение пустот строительным раствором приводит к повышению теплопроводности керамических изделий и ухудшению их теплоизоляционных характеристик. Получены значения средней теплопроводности керамических изделий и каменной кладки при различной степени заполнения пустот раствором. При полном заполнении пустот раствором теплопроводность кладки из пустотелого кирпича становится сопоставимой по численному значению с теплопроводностью кладки из полнотелого кирпича. Ввиду этого эксплуатационная теплопроводность кладки из пустотелого лицевого кирпича оказывается выше заявленного значения. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании облицовочного каменного слоя, выполненного из керамического пустотелого кирпича.

ABSTRACT

The paper presents a method of calculation the thermal conductivity of perforated ceramic bricks and masonry made of them. The authors calculate the thermal resistance and average thermal conductivity of the facing stone layer with a thickness of 120 mm. Filling holes with mortar leads to an increase in the thermal conductivity of ceramic products and deterioration of their thermal insulation characteristics. The average values of thermal conductivity of face ceramics products and the masonry at different extents of filling of the holes of the mortar are obtained. In case of full filling the holes the thermal conductivity of masonry from perforated bricks becomes comparable with the thermal conductivity of masonry from bricks. In view of this operational thermal conductivity of masonry from perforated facing bricks is higher than the declared value. This fact should be taken into consideration for designing of the facing stone layer from ceramic perforated brick.

Содержание

1.	Введение	33
2.	Методика расчета	41
3.	Результаты и их обсуждение	43
4.	Заключение	49

1. Введение

Каменные здания являются визитной карточкой Санкт-Петербурга. Значительная их часть, как правило, оштукатурены снаружи [1]. Однако встречаются и здания без наружной отделки стен. Среди таковых обнаруживаются настоящие шедевры (рис. 1-8).

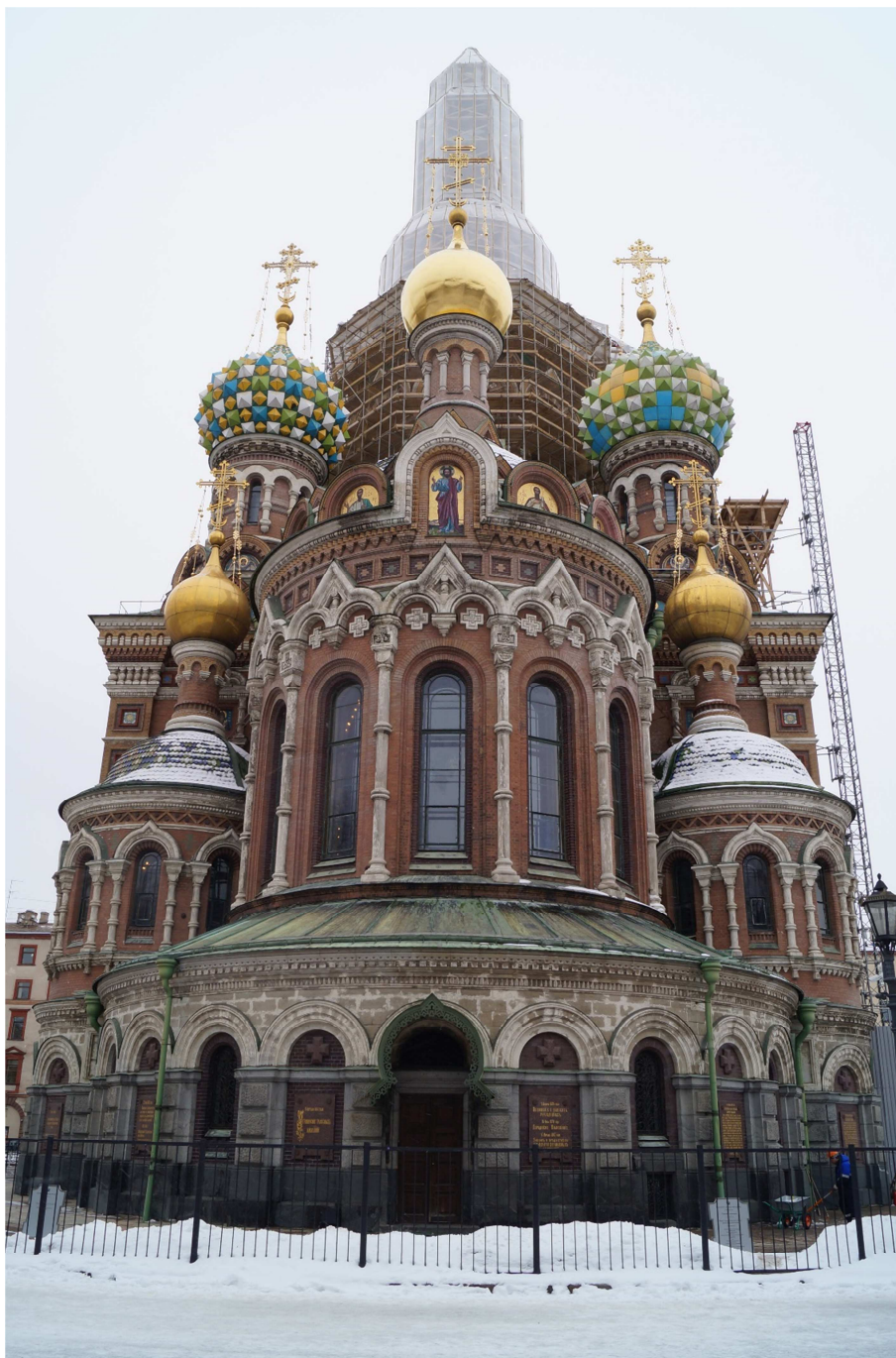


Рисунок 1. Храм Спаса на Крови (наб. канала Грибоедова, д .2)



Рисунок 2. Церковь Воскресения Христова (наб. Обводного канала, д. 116)



Рисунок 3. Съезжий дом 4-й Адмиралтейской (Коломенской) части (пл. Репина, д. 1/201)



Рисунок 4. Жилой дом, типография и гимназия А.Ф. Маркса (Измайловский пр., д. 29)



Рисунок 5. Особняк В.А. Шретера (ул. Писарева, д. 2 / наб. реки Мойки, д. 114)



Рисунок 6. Дом Г.Ф. Вучиховского (пр. Римского-Корсакова, д. 24)



Рисунок 7. Здание театрального декорационного зала и экипажного заведения (Измайловский пр., д. 39)



Рисунок 8. Мастерские Н.Е. Фрейберга (Троицкий пр., д. 6)

Кирпич является исключительно долговечным строительным материалом. Наиболее древний кирпич, обнаруженный при раскопках в древнем Иерихоне, датируется 8300-7600 гг. до н.э. [2].

В настоящее время полнотелый кирпич (рис. 9, 10) в наружных стенах современных зданий практически не применяется. Связано это, в первую очередь, с изменением нормативных требований к уровню теплоизоляции наружных ограждающих конструкций [3]. Стены из полнотелого глиняного кирпича даже толщиной 1 метр не удовлетворяют современным требованиям по тепловой защите. В этой связи на смену полнотелому кирпичу пришли пустотелые керамические изделия (рис. 11).



Рисунок 9. Полнотелый кирпич (завод И.П. Ленина)



Рисунок 10. Полнотелый кирпич (завод Н.А. Шилова)

Примечание. Фотографии изделий, изображенных на рисунках 9 и 10, выполнены в музее истории петербургского кирпича.



Рисунок 11. Пустотелый кирпич с щелевидными пустотами

В современных условиях керамические изделия, как правило, применяются в составе внутреннего (рис. 12) и облицовочного каменного слоя (рис. 13). При этом в облицовочном слое многослойных наружных стен применяется, как правило, пустотелый кирпич.



Рисунок 12. Внутренний каменный слой многослойной наружной стены



Рисунок 13. Облицовочный каменный слой из пустотелого кирпича в составе многослойной наружной стены

Наличие воздушных пустот в составе изделий обеспечивает им меньшую теплопроводность, а следовательно более высокие теплоизоляционные характеристики. В работе [4] подробно исследовано влияние формы и размеров пустот на теплопроводность крупноформатных керамических изделий, из анализа результатов которого сделан вывод о существовании оптимального объема пустот.

До 1990 года объем выпуска пустотелого кирпича в общем объеме производства керамических изделий в стране не превышал 0,5 %, однако уже к 2009 году достиг отметки порядка 80 % [5]. В исследовании [5] отмечено также, что с переходом на кладку стен из пустотелых каменных изделий расход строительного раствора на 1 м³ кладки увеличился с 0,20-0,24 м³ до 0,3-0,4 м³.

В работах [6, 7] приведены примеры обрушения облицовочного каменного слоя с обнажением воздушных пустот, частично заполненных раствором. Случаи заполнения пустот раствором наблюдаются практически на всех обследованных объектах с поврежденной облицовкой наружных стен (рис. 14, 15). Попадание цементно-песчаного раствора в вертикальные пустоты зафиксировано не только в облицовочном слое, но и в составе рядовых пустотелых изделий однородных каменных стен (рис. 16). Попадающий в пустоты раствор снижает теплозащитные свойства стен [5].



Рисунок 14. Заполнение раствором пустот в облицовочном каменном слое



Рисунок 15. Частичное заполнение раствором пустот в облицовочном каменном слое



Рисунок 16. Заполнение раствором пустот в лицевых и рядовых изделиях наружных каменных стен

Последнее предположение подтверждается результатами исследования [8], в котором приведены данные лабораторных испытаний различных типов кладки стен в климатической камере, в том числе двух типов кладки из керамических изделий. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты теплотехнических испытаний кладок из керамических изделий [8]

Тип кладки	Теплопроводность, Вт/(м·К)		
	по результатам испытаний	по ГОСТ 530	по данным сертификатов
из керамических пустотелых камней	0,31	0,20	0,15-0,20
из полнотелого обыкновенного кирпича	0,57	0,56	0,50-0,60

Из данных, представленных в таблице 1, следует, что кладка из полнотелого кирпича соответствует заявленной в сертификате производителя теплопроводности. Теплопроводность кладки из керамических пустотелых камней примерно в 1,5 раза превышает заявленную для данного типа керамических изделий в ГОСТ 530 [9] и указанную в сертификатах.

Таким образом, снижение теплозащитных свойств стен из пустотелых керамических изделий в результате частичного или полного заполнения вертикальных воздушных пустот кирпича строительным раствором отмечается не только теоретически, но и подтверждается экспериментально.

Целью настоящего исследования является оценка влияния степени заполнения вертикальных сквозных пустот кирпича строительным раствором на теплопроводность кладки.

2. Методика расчета

Большинство ограждающих конструкций зданий являются теплотехнически неоднородными. Неоднородными являются и многие строительные изделия. К таковым относится и кладка из пустотелого кирпича, который состоит из чередующихся слоев керамики и воздушных пустот. Пустотелый кирпич, как правило, выпускается с щелевидными, квадратными или цилиндрическими пустотами. Помимо кирпича обязательным элементом кладки является строительный раствор, который в классическом понимании должен обеспечивать 4 основные функции: связь между камнями, равномерное распределение давлений в кладке, защита от атмосферных осадков, трансфер водяного пара изнутри наружу стены [10].

В качестве объекта исследования рассмотрим кладку из пустотелого керамического кирпича толщиной 120 мм, который применяется в качестве облицовочного каменного слоя в многослойных стенах кирпично-монолитных зданий с поэтажным опиранием на консоли междуэтажных железобетонных перекрытий.

Для определения теплопроводности пустотелого керамического кирпича и кладки из него воспользуемся методом, представленным в п. 2.8 СНиП II-3-79* [11]. Пример расчета термического

сопротивления и средней теплопроводности пустотелого камня приведен в монографии [12]. Методика расчета неоднородных ограждающих конструкций или строительных изделий заключается в выполнении следующей последовательности действий:

1. плоскостями, параллельными направлению теплового потока, конструкцию или изделие разрезают на элементы (участки), состоящие из одного или нескольких слоев, перпендикулярных направлению теплового потока, однородность материалов в которых не нарушена; рассматривая после этого конструкцию или изделие, состоящими из элементов с различными термическими сопротивлениями, но имеющих одинаковую толщину, равную толщине конструкции или изделия, среднее термическое сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R_{\square} = \frac{A_I + A_{II} + A_{III} + \dots}{\frac{A_I}{R_I} + \frac{A_{II}}{R_{II}} + \frac{A_{III}}{R_{III}} + \dots}, \quad (1)$$

где $A_I, A_{II}, A_{III}, \dots$ – площади, занимаемые отдельными элементами поверхности ограждения, м^2 ;

$R_I, R_{II}, R_{III}, \dots$ – термические сопротивления отдельных элементов поверхности ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

При этом площади, занимаемые отдельными элементами, могут приниматься в любых мерах, т.к. в формуле (1) имеют значения не абсолютные величины площадей, а их соотношения между собой. При определении площадей отдельных элементов допускается принимать в расчете не всю площадь ограждения или рассматриваемого изделия, а выделять на ней только площадь, последовательно повторяющуюся и вполне определенно выражающую соотношение площадей, занимаемых отдельными элементами.

2. плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, конструкцию или изделие разрезают на отдельные слои, из которых одни могут состоять из одного материала, а в других однородность может быть нарушена; средняя теплопроводность слоя, в котором однородность материала нарушена, определяется по формуле:

$$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_I \cdot A_I + \lambda_{II} \cdot A_{II} + \lambda_{III} \cdot A_{III} + \dots}{A_I + A_{II} + A_{III} + \dots}, \quad (2)$$

где $\lambda_I, \lambda_{II}, \lambda_{III}, \dots$ – теплопроводности отдельных материалов слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

$A_I, A_{II}, A_{III}, \dots$ – то же, что и в формуле (1), м^2 .

Слои, в которых нарушена однородность материала, рассматриваются состоящими из материала с вычисленной по формуле (2) средней теплопроводностью, после чего термическое сопротивление конструкции рассчитывается по формуле:

$$R_{\perp} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (3)$$

где $R_1, R_2, R_3, \dots R_n$ – термические сопротивления отдельных слоев, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots \delta_n$ – толщины отдельных слоев, м ;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots \lambda_n$ – то же, что и в формуле (2), $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

n – число слоев.

Термическое сопротивление $R_{\square}$ всегда оказывается больше действительного. Термическое сопротивление $R_{\perp}$ всегда оказывается меньше действительного. В этой связи проф. О.Е. Власовым был использован метода электроаналогии и установлена следующая формула для расчета действительного термического сопротивления неоднородной ограждающей конструкции или строительного изделия [12]:

$$R = \frac{R_{\square} + 2 R_{\perp}}{3}. \quad (4)$$

3. Результаты и их обсуждение

Применение описанного выше метода расчета покажем на следующем примере. Определим термическое сопротивление и среднюю теплопроводность пустотелого кирпича с щелевидными пустотами (рис. 12), а также каменной кладки на цементно-песчаном растворе со следующими характеристиками:

- размер изделия: 250×120×65 мм (в соответствии с номенклатурой выпускаемых изделий);
- средняя плотность изделия: 1300 кг/м³ (по данным производителя);
- пустотность изделия: 37 % (по данным производителя);
- количество пустот: 33;
- теплопроводность керамики: 0,52 Вт/(м·К) (по ГОСТ 530 [9]).

Будем считать, что между облицовочным и внутренним слоями наружной многослойной стены отсутствует вентилируемый наружным воздухом зазор, ввиду чего теплотехнические характеристики кирпича и кладки облицовочного слоя следует учитывать в теплотехническом расчете.

Горизонтальное сечение рассматриваемого каменного изделия, с указанием толщины внутренних и наружных стенок изделия, а также размеров вертикальных пустот показано на рисунке 17.

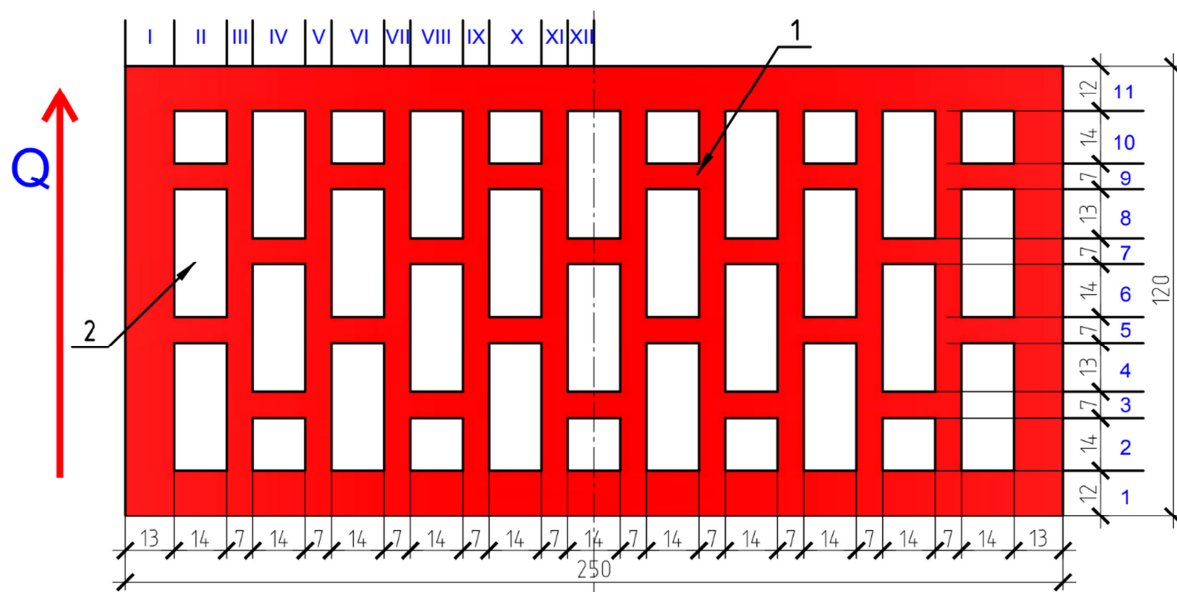


Рисунок 17. Горизонтальный разрез лицевого пустотелого кирпича с замкнутыми воздушными пустотами

1 – керамика, 2 - пустоты

Термическое сопротивление вертикальных воздушных прослоек принято равным [13, табл. 7]:

- при толщине прослойки 14 мм: $R_{B.П}^{14} = 0,150 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

- при толщине прослойки 34 мм: $R_{B.П}^{34} = 0,162 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

В связи с тем, что в настоящем исследовании рассматриваются изделия облицовочного каменного слоя, численные значения термических сопротивлений замкнутых воздушных прослоек в составе кирпича, представленного на рис. 17, приняты при отрицательной температуре воздуха в прослойке.

Рассчитаем эквивалентную теплопроводность воздушных прослоек. Получим:

- при толщине прослойки 14 мм: $\lambda_{экв}^{14} = \frac{\delta_{B.П}^{14}}{R_{B.П}^{14}} = \frac{0,014}{0,15} = 0,093 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

- при толщине прослойки 34 мм: $\lambda_{экв}^{34} = \frac{\delta_{B.П}^{34}}{R_{B.П}^{34}} = \frac{0,034}{0,162} = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Ввиду того, что рассматриваемый на рис. 17, кирпич симметричен относительно его средней оси, расчет выполним для одной его половины. С учетом того, что структура кирпича по высоте одинакова, при определении расчетной площади примем половину длины изделия, т.е. 125 мм.

Разделим рассматриваемое на рисунке 17 изделие на участки, параллельные тепловому потоку (обозначены на рис. 17 римскими цифрами от I до XII), и слои, перпендикулярные тепловому потоку (обозначены на рис. 17 арабско-индийскими цифрами от 1 до 11).

Ниже представлен расчет термических сопротивлений участков, параллельных тепловому потоку.

Участок I состоит из сплошной керамики толщиной 120 мм с термическим сопротивлением и площадью:

$$R_I = \frac{0,12}{0,52} = 0,231 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} ;$$

$$A_I = 13 \cdot 65 = 845 \text{ мм}^2.$$

Участок II состоит из керамики с тремя щелями: двумя протяженными длиной 34 мм и одной длиной 14 мм. Термическое сопротивление и площадь рассматриваемого участка составят:

$$R_{II} = \frac{0,038}{0,52} + 2 \cdot 0,162 + 0,150 = 0,547 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} ;$$

$$A_{II} = 14 \cdot 65 = 910 \text{ мм}^2 .$$

Термические сопротивления участков III, V, VII, IX и XI, состоящих из сплошной керамики равны термическому сопротивлению участка I, т.е.

$$R_{III} = R_V = R_{VII} = R_{IX} = R_{XI} = R_I = 0,231 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Термические сопротивления участков IV, VI, VIII, X и XII, состоящих из керамики с тремя щелями равны термическому сопротивлению участка II, т.е.

$$R_{IV} = R_{VI} = R_{VIII} = R_X = R_{XII} = R_{II} = 0,547 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Площади участков III, V, VII, IX, XI и XII равны между собой, т.е.:

$$A_{III} = A_V = A_{VII} = A_{IX} = A_{XI} = A_{XII} = 455 \text{ мм}^2 .$$

Площади участков IV, VI, VIII и X равны площади участка II:

$$A_{IV} = A_{VI} = A_{VIII} = A_X = A_{II} = 910 \text{ мм}^2 .$$

С учетом примечания к формуле (1) рассчитаем термическое сопротивление кирпича $R_{\square}$:

$$R_{\square} = \frac{\sum_{j=1}^n A_j}{\sum_{j=1}^n R_j} = 0,358 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Далее произведем расчет термических сопротивлений слоев, перпендикулярных тепловому потоку.

Слои 1 и 11 состоят из сплошной керамики с термическим сопротивлением:

$$R_1 = R_{11} = \frac{0,012}{0,52} = 0,023 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Для определения термического сопротивления слоя 2 рассчитаем его среднюю теплопроводность:

$$\lambda_{ср.2} = \frac{0,52 \cdot 48 + 0,093 \cdot 35 + 0,21 \cdot 42}{125} = 0,296 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К}) .$$

Тогда термическое сопротивление слоя 2 составит:

$$R_2 = \frac{0,014}{0,296} = 0,047 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Аналогичные расчеты, выполненные для остальных слоев, дают следующие результаты:

$$R_3 = R_7 = 0,0168 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} ;$$

$$R_4 = R_8 = 0,0395 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} ;$$

$$R_5 = R_9 = 0,016 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} ;$$

$$R_6 = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} ;$$

$$R_{10} = 0,048 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Рассчитаем по формуле (3) термическое сопротивление рассматриваемого кирпича $R_{\perp}$:

$$R_{\perp} = \sum_{k=1}^m R_k = 0,329 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Рассчитаем по формуле (4) действительное термическое сопротивление кирпича:

$$R = \frac{R_{\perp} + 2 R_{\perp}}{3} = \frac{0,358 + 2 \cdot 0,329}{3} = 0,339 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} .$$

Тогда средняя теплопроводность изделия составит:

$$\lambda_{\text{изд}} = \frac{\delta}{R} = \frac{0,12}{0,339} = 0,35 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К}) .$$

В кладке стен помимо кирпича присутствует раствор, заполняющий промежутки между кирпичами. Если теплопроводность кладочного раствора превышает теплопроводность каменного изделия, швы кладки приводят к уменьшению теплотехнической однородности кладки [14]. Среднюю теплопроводность кладки будем оценивать по формуле [12]:

$$\lambda_{\text{кл}} = \frac{\lambda_{\text{к}} \cdot v_{\text{к}} + \lambda_{\text{р-ра}} \cdot v_{\text{р-ра}}}{v_{\text{к}} + v_{\text{р-ра}}} , \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{кл}}$ – средняя теплопроводность кладки, Вт/(м·К);

$\lambda_{\text{к}}$ – теплопроводность кирпича, Вт/(м·К);

$\lambda_{\text{р-ра}}$ – теплопроводность строительного раствора, Вт/(м·К);

$v_{\text{к}}$ – объем, занимаемый в кладке кирпичом;

$v_{\text{р-ра}}$ – объем, занимаемый в кладке строительным раствором.

При толщине горизонтальных швов 12 мм и вертикальных – 10 мм, объем, занимаемый строительным раствором при толщине облицовочного слоя 120 мм (в пол-кирпича) составит 18 %, кирпичом – 82 %. Теплопроводность цементно-песчаного раствора плотностью 1800 кг/м³ в сухом состоянии примем равной 0,58 Вт/(м·К). Теплопроводность кирпича примем полученную по описанной выше методике – 0,35 Вт/(м·К).

Тогда средняя теплопроводность кладки составит:

$$\lambda_{\text{кл}} = \frac{\lambda_{\text{к}} \cdot v_{\text{к}} + \lambda_{\text{р-ра}} \cdot v_{\text{р-ра}}}{v_{\text{к}} + v_{\text{р-ра}}} = \frac{0,35 \cdot 82 + 0,58 \cdot 18}{100} = 0,39 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К}) .$$

Таким образом, из-за влияния вертикальных и горизонтальных растворных швов теплопроводность кладки облицовочного каменного слоя оказывается на 11,4 % больше средней теплопроводности кирпича. В условиях эксплуатации (А или Б) расхождение между теплопроводностями кирпича и кладки окажется еще выше ввиду того, что влажность строительного раствора в условиях эксплуатации, как правило, оказывается выше эксплуатационной влажности кирпича.

Полученное значение полностью совпадает со значением теплопроводности кладки из пустотелого кирпича плотностью 1300 кг/м³ на цементно-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м³ (в сухом состоянии), представленным в таблице Г.1 ГОСТ 530 [9].

Отсюда можно предположить, что численные значения теплопроводностей различных типов кладки (в сухом состоянии), указанные в Приложении Г ГОСТ 530 [9], вероятнее всего, получены расчетным методом.

На основании исходных данных теплопроводность керамики принята равной $0,52 \text{ Вт/(м·К)}$, как для обыкновенного глиняного кирпича плотностью 1700 кг/м^3 . В монографии [12] теплопроводность керамики в аналогичной задаче принята равной $0,814 \text{ Вт/(м·К)}$. Если в приведенных выше расчетах теплопроводность керамики принять равной $0,814 \text{ Вт/(м·К)}$, то средняя теплопроводность кирпича окажется равной $0,49 \text{ Вт/(м·К)}$, а кладки на цементно-песчаном растворе – $0,51 \text{ Вт/(м·К)}$. С учетом заявленной производителем средней плотности изделий 1300 кг/м^3 и пустотности 37% , плотность керамики составит приблизительно $1300/0,63=2064 \text{ кг/м}^3$, что выше плотности обыкновенного глиняного кирпича. В этой связи можно ожидать, что реальное значение теплопроводности кирпича и кладки окажется выше рассчитанных в рассматриваемом примере.

Таким образом, теплопроводность кладки может существенно зависеть от принятой в расчете теплопроводности керамики, вне зависимости от точности метода расчета.

Представленный выше метод расчета является приближенным. Более точное определение термического сопротивления и средней теплопроводности каменного изделия может быть получено на основании расчета его температурного поля. Однако, целью настоящего исследования не является оценка точности представленного в исследовании приближенного метода расчета. Как было показано выше, численное значение теплопроводности, рассчитанное по представленной методике, совпадает со значением, указанным в ГОСТ 530 [9, табл. Г.1]. Это дает основание использовать рассматриваемый метод для оценки влияния на теплопроводность кладки степени заполнения вертикальных сквозных пустот изделия строительным раствором.

Заполним условно пустоты рассматриваемого на рисунке 17 каменного изделия строительным раствором. Рассмотрим несколько практических случаев, когда пустоты изделия заполняются раствором полностью, а также на $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ и $\frac{2}{3}$ его высоты.

Рассчитаем термическое сопротивление и среднюю теплопроводность кирпича, пустоты которого полностью заполнены раствором (рис. 18).

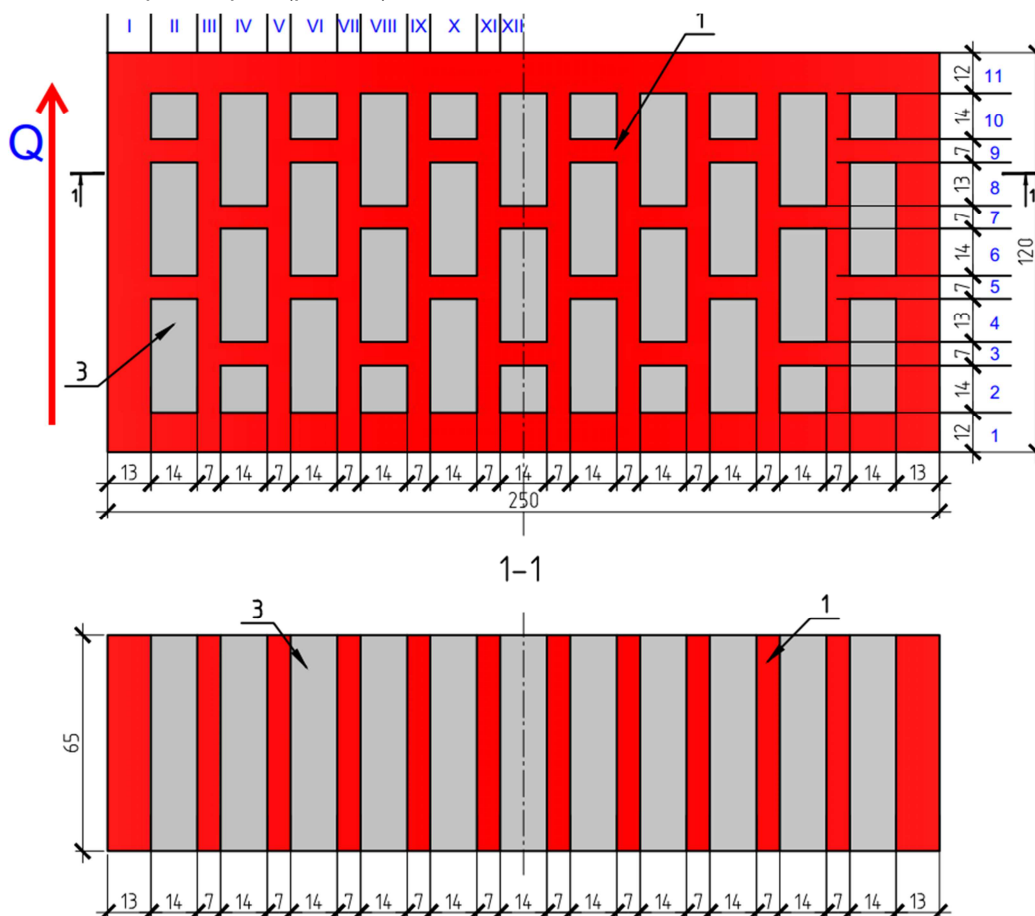


Рисунок 18. Горизонтальный разрез лицевого пустотелого кирпича, пустоты которого заполнены раствором
1 – керамика, 3 – строительный раствор

При тех же исходных геометрических характеристиках рассматриваемого керамического изделия получим следующие теплотехнические его характеристики:

$$R = 0,22 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} ;$$

$$\lambda_{\text{изд}} = \frac{\delta}{R} = \frac{0,12}{0,22} = 0,54 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} ;$$

$$\lambda_{\text{кл}} = \frac{\lambda_{\text{к}} \cdot v_{\text{к}} + \lambda_{\text{п-ра}} \cdot v_{\text{п-ра}}}{v_{\text{к}} + v_{\text{п-ра}}} = \frac{0,54 \cdot 82 + 0,58 \cdot 18}{100} = 0,55 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} .$$

В соответствии с данными таблицы Г.1 ГОСТ 530 [9] теплопроводность кладки из обыкновенного глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе со средней плотностью изделий 1800 кг/м³ в сухом состоянии составляет 0,56 Вт/(м·К). Таким образом, при заполнении вертикальных пустот раствором теплопроводность кладки из пустотелого кирпича средней плотностью 1300 кг/м³ практически сравнивается с теплопроводностью кладки из полнотелого глиняного кирпича. При условии, что теплопроводность керамики, из которой изготавливают пустотелый кирпич, в сухом состоянии не превышает 0,52 Вт/(м·К).

При заполнении строительным раствором пустот кирпича на 1/3 его высоты теплопроводность изделия и кладки составят:

$$\lambda_{\text{изд}} = 0,41 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} ;$$

$$\lambda_{\text{кл}} = 0,44 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} .$$

При заполнении строительным раствором пустот кирпича на 1/2 его высоты теплопроводность изделия и кладки составят:

$$\lambda_{\text{изд}} = 0,45 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} ;$$

$$\lambda_{\text{кл}} = 0,47 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} .$$

При заполнении строительным раствором пустот кирпича на 2/3 его высоты теплопроводность изделия и кладки составят:

$$\lambda_{\text{изд}} = 0,48 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} ;$$

$$\lambda_{\text{кл}} = 0,50 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} .$$

Рассчитанные таким образом значения теплопроводностей кирпича и кладки при различной степени заполнения вертикальных пустот строительным раствором представлены в табл. 2.

Таблица 2. Теплопроводность кирпича и кладки на цементно-песчаном растворе в зависимости от степени заполнения вертикальных пустот кирпича строительным раствором

Степень заполнения пустот кирпича раствором	Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м·К)	
	изделия	кладки*
пустоты не заполнены раствором	0,35	0,39
пустоты заполнены на 1/3 высоты изделия	0,41	0,44
пустоты заполнены на 1/2 высоты изделия	0,45	0,47
пустоты заполнены на 2/3 высоты изделия	0,48	0,50
пустоты заполнены раствором на всю высоту изделия	0,54	0,55
Примечание. Рассматривается кладка на цементно-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м ³ .		

Как правило, заполнение пустот раствором не превышает 1/3 высоты кирпича. В этой связи при разработке проектов теплопроводность кладки из пустотелого кирпича средней плотностью 1300 кг/м³ в

сухом состоянии рекомендуется принимать не менее 0,44 Вт/(м·К). Любое положительное отклонение фактического значения теплопроводности строительных материалов от расчетного значения будет приводить к увеличению потерь тепловой энергии через наружную оболочку здания.

Влияние растворных швов на теплопроводность кладки можно уменьшить за счет следующих технологических операций:

- уменьшение теплопроводности строительного раствора;
- применение сеток, предотвращающих попадание раствора в пустоты кирпича;
- уменьшение толщины горизонтальных швов в кладке.

Сетки, предотвращающие попадание строительного раствора в пустоты керамических изделий применяются при монтаже наружных стен из крупноформатных камней. При кладке облицовочного каменного слоя толщиной 120 или 250 мм применение таких сеток на строительных объектах затруднительно.

Уменьшение толщины горизонтальных швов кладки может быть достигнуто за счет применения шлифованных керамических изделий с более высокой точностью геометрических размеров. При незначительной толщине горизонтальных швов кладки (рис. 19) заполняемость вертикальных пустот строительным раствором снижается.



Рисунок 19. Кладка на тонкослойных кладочных составах

Еще одной современной тенденцией в строительной отрасли является использование вместо цементно-песчаного раствора в кладке стен полиуретанового клея (рис. 20).



Рисунок 20. Применение полиуретанового клея для кладки наружных стен из крупноформатных керамических камней [15]

Исследованию данного типа кладки посвящено достаточное количество публикаций [15-23]. Прочностные характеристики кладки на полиуретановом клею оказываются сопоставимы по численному значению с прочностью кладки на традиционных (цементно-песчаных, минеральных) кладочных составах, а теплотехническая их однородность гораздо выше по сравнению с кладкой на цементно-песчаном растворе. Однако, в этом случае нерешенными остаются вопросы долговечности каменных стен [24-26]. Прогнозируемая продолжительность срока службы керамических изделий и полимерного клея, используемого в кладке каменных конструкций, не равнозначны. В этой связи возникает следующий вопрос: какой окажется несущая способность каменных стен после термической или химической деструкции полимерного клея? Данная проблема особенно актуальна для стеновых конструкций, работающих на изгиб из плоскости по неперевязанному сечению, а также воспринимающих сдвиговые усилия, возникающие, например, в результате неравномерных деформаций оснований. Большинство современных исследований обозначенную проблему не рассматривают. При том, что использование полиуретановых составов в кладке стен приобретает все более массовый характер. В таком случае только эксплуатация сможет показать реальную долговечность ограждающих конструкций, выполненных кладкой на полиуретановых клеевых составах. Наибольшие опасения вызывает практика применения полиуретановых клеевых составов в кладке облицовочного каменного слоя, не защищенного от прямого воздействия УФ-излучения. В этой связи применение полиуретановых клеев в облицовочном каменном слое может оказаться нецелесообразным ввиду интенсивного старения органических материалов, подвергающихся воздействию УФ-излучения и высоких температур наружного воздуха в летний период эксплуатации.

Помимо степени заполнения пустот раствором на теплопроводность и долговечность пустотелых керамических изделий существенное влияние оказывает их эксплуатационная влажность. Влияние влажности на теплотехнические и эксплуатационные характеристики каменных материалов рассмотрено в работах [27, 28].

4. Заключение

При существующих требованиях по тепловой защите зданий массовое применение в строительстве находят пустотелые керамические изделия. Пустотелые изделия используются в том числе при кладке облицовочного каменного слоя. При этом пустотность керамических изделий, как правило, превышает 30 %. Заявленная производителем теплопроводность пустотелых керамических изделий (кирпича и камня) меньше, чем у полнотелого кирпича. На строительных объектах при повреждении облицовочного каменного слоя часто наблюдается заполнение пустот лицевого кирпича строительным раствором. Заполнение пустот раствором негативно сказывается на теплотехнических характеристиках пустотелых керамических изделий и кладки из них. Расчеты показывают, что при полном заполнении пустот раствором теплопроводность кладки из пустотелого кирпича становится сопоставимой с теплопроводностью кладки из полнотелого кирпича.

При наличии в стене прослойки, вентилируемой наружным воздухом, слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой и наружной поверхностью, не учитываются в теплотехническом расчете (см. п. 9.1.2 [13]). В таком случае теплозащитные свойства облицовочного слоя не зависят от теплотехнических характеристик изделий, применяемых в его составе.

При отсутствии в составе стены прослойки, вентилируемой наружным воздухом, заполнение пустот лицевого кирпича строительным раствором, частично или полностью компенсирует их заявленные теплотехнические характеристики.

Таким образом, применение в кладке облицовочного каменного слоя пустотелых керамических изделий с позиции улучшения теплоизоляционных характеристик наружных стен зданий дает немного преимуществ по сравнению с кладкой из полнотелого кирпича.

В то же время, практика эксплуатации многослойных стен с облицовкой из пустотелого керамического кирпича показывает значительную его повреждаемость. В этой связи в РМД 51-25-2015 (см. п.7.1.8 [29]) для климатических условий Санкт-Петербурга в каменной облицовке наружных стен рекомендовано применять пустотелый кирпич с пустотностью, не превышающей 25 %.

Литература

- [1]. Горшков А.С. Градостроительные эксперименты Санкт-Петербурга // AlfaBuild. 2017. № 1. С. 60-88.
- [2]. Салахов А.М. Керамика для строителей и архитекторов: научное издание // Казань: Издательский дом «Парадигма», 2009. 296 с.
- [3]. Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3 (30). С. 7-37.
- [4]. Орлович Р.Б., Малышко Л. Принцип создания новых керамических изделий для кирпичного домостроения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2000. № 6. С. 59.
- [5]. Ананьев А.И., Абарыков В.П., Бегоулев С.А., Буланый А.С. Влияние технологических факторов на теплопроводность и влажностный режим кладок наружных стен из пустотелого керамического кирпича и камня // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 306-312.
- [6]. Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8 (43). С. 14-23.
- [7]. Деркач В.Н., Демчук И.Е., Орлович Р.Б. Механизм повреждаемости несущей облицовки многослойных каменных стен // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 3 (54). С. 63-70.
- [8]. Васильев Г.П., Жолобецкий Я.Я., Личман В.А. Теплотехнические испытания кладок из различных строительных материалов // Энергосбережение. 2016. № 3. С. 48-55.
- [9]. ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
- [10]. Онуфриев Н.М. Курс лекций по каменным конструкциям для факультета повышения квалификации (ФПК). Л.: ЛИСИ, 1974. 120 с.
- [11]. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника.
- [12]. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
- [13]. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.
- [14]. Горшков А.С., Гладких А.А. Влияние растворных швов кладки на параметры теплотехнической однородности стен из газобетона // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 3. С. 39-42.
- [15]. Jager A. Kuhlemann C., Habian E., Kasa M., Lu S. Verklebung von Planziegelmauerwerk mit Poliurethankleben // Mauerwerk. 2011. Vol. 15. No. 4. Pp. 223-231.
- [16]. Graubohm M., Brameshuber W. Investigation on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive // 8th International Masonry Conference. Dresden, 2010.
- [17]. Schloeglmann K.H., Long-Term Behavior of PUR-Glued Clay Block Masonry // Proceedings of the 14th International Brick and Block Masonry Conference, Sydney, 17-20 February 2008. Callaghan: University of Newcastle, 2008.
- [18]. Marzahn G. Dry-Stacked Post-Tensioned Masonry: load bearing and deformation behavior / Forschung für die Praxis. Stuttgart: Teubner, 2010.
- [19]. Klouda J.K. Research, evaluation and approval of masonry made of clay blocks with PU-adhesive // 8th International Masonry Conference. Dresden, 2010.
- [20]. Lu S., Kasa M., Habian E. Innovation of masonry glued with on-site PU-adhesives // 8th International Masonry Conference.

References

- [1]. Gorshkov A.S. Gradostroitelnyye eksperimenty Sankt-Peterburga [Urban planning experiments in St. Petersburg]. AlfaBuild. 2017. No. 1. Pp. 60-88. (rus)
- [2]. Salakhov A.M. Keramika dlya stroiteley i arkhitektorov: nauchnoye izdaniye [Ceramics for builders and architects: a scientific publication]. Kazan: Izdatelskiy dom «Paradigma», 2009. 296 p. (rus)
- [3]. Gorshkov A.S., Livchak V.I. History, evolution and development of regulatory requirements for enclosing structures. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, No. 3(30), Pp. 7-37. (rus)
- [4]. Orlovich R.B., Malysheko L. Printsip sozdaniya novykh keramicheskikh izdeliy dlya kirpichnogo domostroyeniya [The principle of creating new ceramic products for brick house construction]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2000. No. 6. P. 59. (rus)
- [5]. Ananyev A.I., Abarykov V.P., Begoulev S.A., Bulanyy A.S. Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov na teploprovodnost i vlazhnostnyy rezhim kladok naruzhnykh sten iz pustotologo keramicheskogo kirpicha i kamnya [Influence of technological factors on the thermal conductivity and humidity regime of external wall clutches of hollow ceramic brick and stone]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo. 2009. No 5. Pp. 306-312. (rus)
- [6]. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S. Primeneniye kamney s vysokoy pustotnostyu v oblitsovochnom sloye mnogoslownykh sten [Application of stones of high voidage in the facing layer of the multilayer walls]. Magazine of Civil Engineering. 2013. No.8 (43). Pp. 14-23. (rus)
- [7]. Derkach V.N., Demchuk I.E., Orlovich R.B. The mechanism of damage non-bearing facing multilayered masonry walls. 2017. No. 3 (54). Pp. 63-70. (rus)
- [8]. Vasilyev G.P., Zholobetskiy Ya.Ya., Lichman V.A. Teploekhnicheskiye ispytaniya kladok iz razlichnykh stroitelnykh materialov [Thermotechnical tests of clutches of various building materials]. Energoberezhniye. 2016. No. 3. Pp. 48-55. (rus)
- [9]. Russian State Standard GOST 530-2012 Kirpich i kamen keramicheskoye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya [Ceramic brick and stone. General specifications]. (rus)
- [10]. Onufriyev N.M. Kurs lektsiy po kamennym konstrukttsiyam dlya fakulteta povysheniya kvalifikatsii (FPK). L.: LISI, 1974. 120 p. (rus)
- [11]. Construction norms and regulations SNiP II-3-79* Stroitel'naya teplotekhnika. (rus)
- [12]. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy [Building heat engineering of enclosing parts of buildings]. M.: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (rus)
- [13]. Set of Rules SP 23-101-2004 Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy [THERMAL PERFORMANCE DESIGN OF BUILDINGS]. (rus)
- [14]. A.S. Gorshkov, A.A. Gladkikh. Influence of mortar joints in aerocrete-work on the thermotechnical homogeneity of walls. Magazine of Civil Engineering. 2010. No. 3. Pp. 39-42. (rus)
- [15]. Jager A. Kuhlemann C., Habian E., Kasa M., Lu S. Verklebung von Planziegelmauerwerk mit Poliurethankleben. Mauerwerk. 2011. Vol. 15. No. 4. Pp. 223-231,
- [16]. Graubohm M., Brameshuber W. Investigation on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive. 8th International Masonry Conference. Dresden, 2010. Pp. 287-298.
- [17]. Schloeglmann K.H., Long-Term Behavior of PUR-Glued Clay Block Masonry. Proceedings of the 14th International Brick and Block Masonry Conference, Sydney, 17-20 February 2008. Callaghan: University of Newcastle, 2008.
- [18]. Marzahn G. Dry-Stacked Post-Tensioned Masonry: load bearing

Dresden, 2010.

- [21]. Brameshuber W., Graubohm M. Test Report M 1341: Investigation on the Flexural Load Bearing Capacity of Masonry with Polyurethane Adhesive. Aachen, 2009.
- [22]. Wójcik M. Nowe technologie – deweloperski sposób na biznes // Ceramica Budowana. 2011. No. 4. Pp. 23-25.
- [23]. Jasche R. Geklebte Ziegel // OIB aktuell. 2009. No. 3. Pp. 22-25.
- [24]. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий // Жилищное строительство. 2008. № 8. С. 48-52.
- [25]. Кнатько М.В., Горшков А.С., Рымкевич П.П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 20-26.
- [26]. Горшков А.С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натурных испытаний // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 12-17.
- [27]. Ватин Н.И., Корниенко С.В. Кирпич и камни с высокой пустотностью в облицовочной кладке наружных стен (в порядке научной дискуссии) // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1 (52). С. 86-92.
- [28]. Корниенко С.В. Характеристики состояния влаги в материалах ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 74-78.
- [29]. РМД 51-25-2015 Санкт-Петербург. Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации фасадных систем для нового строительства, реконструкции и ремонта жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге. Часть I.
- and deformation behavior. Forshung für die Praxis. Stuttgart: Teubner, 2010.
- [19]. Klouda J.K. Research, evaluation and approval of masonry made of clay blocks with PU-adhesive. 8th International Masonry Conference. Dresden, 2010.
- [20]. Lu S., Kasa M., Habian E. Innovation of masonry glued with on-site PU-adhesives. 8th International Masonry Conference. Dresden, 2010.
- [21]. Brameshuber W., Graubohm M. Test Report M 1341: Investigation on the Flexural Load Bearing Capacity of Masonry with Polyurethane Adhesive. Aachen, 2009.
- [22]. Wójcik M. Nowe technologie – deweloperski sposób na biznes. Ceramica Budowana. 2011. No. 4. Pp. 23-25.
- [23]. Jasche R. Geklebte Ziegel. OIB aktuell. 2009. No. 3. Pp. 22-25.
- [24]. Lobov O.I., Ananyev A.I. Dolgovechnost naruzhnykh sten sovremennykh mnogoetazhnykh zdaniy [Durability of exterior walls of modern multi-storey buildings]. Zhilishchnoye stroitelstvo. 2008. No. 8. Pp. 48-52. (rus)
- [25]. Knatko M.V., Gorshkov A.S., Rymkevich P.P. Laboratornyye i naturnyye issledovaniya dolgovechnosti (ekspluatatsionnogo sroka sluzhby) stenovoy konstruktсии iz avtoklavnogo gazobetona s oblitsovochnym sloym iz silikatnogo kirpicha [Laboratory and natural researches of durability (operational service life) of the autoclaved aerocrete wall designs with the facing silicate brick layer]. Magazine of Civil Engineering. 2009. No. 8. Pp. 20-26. (rus)
- [26]. Gorshkov A.S. Otsenka dolgovechnosti stenovoy konstruktсии na osnovanii laboratornykh i naturnykh ispytaniy [Evaluation of the durability of the wall structure on the basis of laboratory and full-scale tests]. Stroitelnyye materialy. 2009. No. 8. Pp. 12-17. (rus)
- [27]. Vatin N.I., Kornienko S.V. Masonry units with high percentage of holes in a facing laying of external walls (as a scientific discussion). Construction of Unique Buildings and Structures, 2017, 1 (52), Pp. 86-92. (rus)
- [28]. Kornienko S.V. Kharakteristiki sostoyaniya vlagi v materialakh ograzhdayushchikh konstruktсий zdaniy [Characteristics of the state of moisture in building envelope structures]. Stroitelnyye materialy. 2007. No. 4. Pp. 74-78. (rus)
- [29]. Regional policy document RMD 51-25-2015 Sankt-Peterburg. Rekomendatsii po proyektirovaniyu, montazhu i ekspluatatsii fasadnykh sistem dlya novogo stroitelstva, rekonstruktсии i remonta zhilykh i obshchestvennykh zdaniy v Sankt-Peterburge. Chast I [Recommendations for the design, installation and operation of façade systems for the new construction, reconstruction and repair of residential and public buildings in St. Petersburg. Part I.] (rus)

Контактная информация

- * +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., Директор учебно-научного центра "Мониторинг и реабилитация природных систем")
- +7(911)9199526, 79119199526@yandex.ru (Ольшевский Вячеслав Янушевич, аспирант)
- +7(951)6542204, rostalsgor@gmail.com (Горшков Ростислав Александрович, инженер)
- +7(981)1980230, 1kovredov@mail.ru (Ковредов Александр Викторович, студент)

Contact information

- * +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Alexander Gorshkov, Ph.D., Director of educational and research center)
- +7(911)9199526, 79119199526@yandex.ru (Vyacheslav Olshevskiy, Postgraduate)
- +7(951)6542204, rostalsgor@gmail.com (Rostislav Gorshkov, Engineer)
- +7(981)1980230, 1kovredov@mail.ru (Aleksandr Kovredov, Student)

© Горшков А.С., Ольшевский В.Я., Горшков Р.А., Ковредов А.В., 2018