

Д.Ю. ЖЕЛДАКОВ¹, С.А.ТУРСУКОВ², И.Р. ХУСАИНОВ³

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия

² Министерство строительства и архитектуры Республики Башкортостан (Минстрой РБ), г. Уфа, Россия

³ Уфимский государственный научно-технический Университет (УГНТУ), г. Уфа, Россия

ПРОЦЕССЫ ХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В МАТЕРИАЛЕ КРУПНОБЛОЧНОЙ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКЕ

Аннотация. Крупноблочная пористая керамика, поступающая на рынок строительных материалов, имеет ряд неоспоримых качеств: низкая теплопроводность, малая плотность, высокие эстетические качества. По своим конструктивным особенностям данный материал является современным прототипом использовавшихся в строительстве с XIX века пустотелых кирпичей. Натурные исследования работы ограждающих конструкций с использованием пустотелых кирпичей показали, что во многих случаях кирпичи, уложенные в ограждающие конструкции зданий 60-80 лет назад подверглись существенному разрушению. При этом механизм разрушения не зависит от политермической нагрузки на материал. Выдвинутая гипотеза о том, что разрушение связано с химической деструкцией материала было исследовано с применением разработанной методики определения химической стойкости материала стеновой керамики. Проведенные исследования подтвердили выдвинутую гипотезу. Исследования химической стойкости материала крупноблочной пористой керамики должно быть учтено в технологии производства керамики.

Ключевые слова: крупноблочная пористая керамика, химическая деструкция материала, долговечность, лабораторные исследования.

D.Y. ZHELDAKOV¹, S.A. TURSUKOV², I.R. KHUSAINOV³

¹Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia

²Ministry of Construction and Architecture of the Republic of Bashkortostan (Minstroy RB), Ufa, Russia

³Ufa State University of Science and Technology (USNTU), Ufa, Russia

CHEMICAL CORROSION PROCESSES OCCURRING IN THE MATERIAL OF LARGE-BLOCK POROUS CERAMICS

Abstract. Large-block porous ceramics, which enter the market of building materials, have a number of undeniable qualities: low thermal conductivity, low density, high aesthetic qualities. According to its design features, this material is a modern prototype of hollow bricks used in construction since the nineteenth century. Field studies of the work of enclosing structures using hollow bricks have shown that in many cases, the bricks laid in the enclosing structures of buildings 60-80 years ago were significantly destroyed. In this case, the destruction mechanism does not depend on the polythermal load on the material. The hypothesis that the destruction is associated with the chemical destruction of the material was investigated using the developed method for determining the chemical resistance of the material of wall ceramics. The conducted studies confirmed the hypothesis. Studies of the chemical resistance of the material of large-block porous ceramics should be taken into account in the production technology of ceramics.

Keywords: large-block porous ceramics, chemical destruction of the material, durability, laboratory tests.

Введение

Вопросы энергосбережения при эксплуатации зданий и сооружений являются одной из важнейших задач. Потери тепла через ограждающие конструкции не являются основными потерями, однако совершенствование строительных материалов, применяемых в ограждающих конструкциях, является чрезвычайно актуальной задачей.

Исследования в этой области направлены на разработку материалов с высоким сопротивлением теплопередаче. Одним из вариантов улучшения теплотехнических характеристик и снижения веса наружных стен является применение кладки из пустотелых керамических камней и кирпича. Пустотелый керамический кирпич широко используется в России с конца XIX — начала XX вв. Впервые в России пустотелый кирпич был выпущен Усть-Тосненским кирпичным заводом, а на Петербургском казенном заводе в тоже время добились изготовления кирпича с пустотностью 26% [1-3].

Пустотелые керамические кирпичи или камни (рисунок 1,а) часто используются в многослойных конструкциях в качестве первого облицовочного ряда или с устройством слоя утеплителя с наружной стороны стены или между двумя слоями кладки. Наличие воздушных пустот повышает сопротивление теплопередаче при их использовании в ограждающих конструкциях по сравнению с полнотелым глиняным кирпичом. Основываясь на таблице Д.1 СП 50.13330, коэффициент теплопроводности λ (Вт/(м*град)) для полнотелого глиняного кирпича с плотностью 1800 кг/м³ составляет 0,81 Вт/(м*град), а для пустотелого с плотностью 1300 кг/м³ коэффициент теплопроводности составит 0,58 Вт/(м*град). Оба показателя приведены для условий эксплуатации Б.

Однако по данным многих исследователей [4-6] эффект от наличия пустот снижается за счет того, что при укладке пустотелых керамических кирпичей воздушные пазухи забиваются кладочным раствором, за счет чего коэффициент теплопроводности кирпича в рабочем состоянии в ограждающей конструкции увеличивается до значений 0,70-0,80 Вт/(м*град).

Современным этапом в развитии производства пустотелых керамических кирпичей является крупноблочная пористая керамика (рисунок 1,б). В 1997 г. в Петербурге удалось осуществить определенный прорыв в массовом производстве керамических камней с оптимальной формой пустот [3]. Здесь впервые был осуществлен выпуск камней большого формата (510 x 250 x 219 мм, 14,3NF) с пустотностью около 50% и плотностью примерно 800 кг/м³. Выпускаемые в настоящее время изделия из крупноблочной пористой керамики характеризуются коэффициентом теплопроводности 0,14-0,19 Вт/(м*°C), средней плотностью – 600-900 кг/м³, значительной прочностью на сжатие - 10,0-20,0 МПа и морозостойкостью 50 циклов. При толщине стены 64 см сопротивление теплопередаче составляет 3,17 м² °C/Вт, что является достаточным для многих регионов России и удовлетворяет требованиям СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

а) Пустотелый керамический кирпич

б) Крупноблочная пористая керамика



Рисунок 1 – Пустотелая и пористая керамика

Благодаря достигнутым техническим характеристикам применение крупноблочной пористой керамики распространяться в России в высоко- и малоэтажном строительстве очень стремительно. Доля керамических блоков в общем объеме керамического производства оценивается порядка 10% (в 2014-2015 годах – 9% [7]). В Республике Башкортостан в 2017-2018 годах производство блоков в общем объеме керамических материалов составило 15-16%, при этом потребление в общем объеме мелкоштучных материалов составляет порядка 8%. В 2018 году в республике построено около 200 тыс. м² с использованием керамических блоков [8].

В соответствии с ГОСТ 530-2012 выпускаются блоки с большим количеством типоразмеров: от 2,1 НФ до 14,9 НФ (15,6 НФ – для шлифованных камней). Наиболее популярны форматы 2,1НФ; 6,9НФ; 10,7НФ; 14,3НФ [6]. Такие размеры блоков определяют высокую технологичность при производстве кладки.

Благодаря высоким характеристикам и увеличивающемуся производству, крупноблочная пористая керамика, разработанная в первую очередь для возведения внутренних конструкций, стала активно применяться для ограждающих конструкций в сочетании с минераловатным утеплителем, расположенным с наружной стороны. Известны примеры применения крупноблочной пористой керамики при возведении несущих ограждающих конструкций для зданий до трех этажей.

Так как при наружном утеплении минераловатным утеплителем толщиной 100 мм и отделкой фасада по системе СФТК материал пористой керамики практически не испытывает политермических нагрузок, многие проектные организации начали применять данную конструкцию наружной стены при проектировании многоэтажных жилых и нежилых зданий. Однако при изменении конструкции наружных стен изменились тепло-влажностные характеристики работы крупноблочной пористой керамики и в первую очередь увеличилась влажность материала керамики.

Конструкция как пустотелых керамических кирпичей так и крупноблочной пористой керамики обладает важной конструктивной особенностью: наличие ребер в конструкции кирпича приводит к неравномерному сопротивлению теплопередаче, организации мостиков холода, что способствует образованию конденсата на внутренних поверхностях изделий и, в первую очередь, в местах сочленения поперечных ребер с наружной поверхностью кирпича.

Повышенная влажность в местах контакта внутренних ребер с наружной поверхностью кирпичей приводит к протеканию процессов химической деструкции материала стеновой керамики. В соответствии с теорией химической коррозии строительной керамики, описанной в [9,10], деструкция кирпича может активно протекать при положительных температурах. При этом увлажнение конструкции приводит к интенсификации процессов коррозии материала керамики. Механизм протекания химической деструкции материала стеновой керамики упрощенно можно описать следующем образом [10]: при поступлении влаги в материал стеновой керамики образуются щелочи из оксидов щелочных и щелочноземельных металлов, присутствующих в аморфной части. Образовавшиеся щелочи активно взаимодействуют с оксидами кремния и алюминия, разрушая материал кирпича до частиц размером около 30 мкм. Скорость разрушения керамики зависит от многих параметров и в первую очередь от количества поступившей в конструкцию влаги, количества образовавшихся щелочей, скорости взаимодействия щелочей с оксидами кремния и алюминия.



Рисунок 2 – Типичное разрушение наружной стены из пустотелого кирпича

Авторами статьи было проведено масштабное натурное исследование ограждающих конструкций зданий в которых первый облицовочный слой стен выполнен из пустотелых кирпичей. На рисунке 2 показано типичное разрушение пустотелых кирпичей. В данном случае показано состояние наружной стены здания, построенного в 1958 году. Хорошо видно, что деструкция кирпича, практически во всех случаях, развивается именно на стыке внутренних и наружных стен конструкции кирпича.

а) наружный ряд ограждающей конструкции



б) под слоем утеплителя из минеральной ваты



Рисунок 3 – Разрушение пустотелых керамических кирпичей

На рисунке 3 видно развитие процессов химической коррозии материала кирпича. На рисунке 3,а показано химическое разрушение материала стеновой керамики для пустотелого кирпича, находящегося в облицовочном слое ограждающей конструкции. На рисунке 3,б пустотелый кирпич находится в ограждающей конструкции после 100 мм минераловатного утеплителя в фасадной конструкции по технологии «мокрого фасада». В этих условиях материал кирпича практически не испытывает политермических нагрузок. При этом видно, что разрушения одного и другого кирпичей абсолютно одинаково. То есть процессы заморозания-оттаивания материала не являются первостепенными при его деструкции, как это определяется большинством исследователей долговечности материала стеновой керамики [11-13].

Активного разрушения крупноблочной пористой керамики в натуральных условиях пока не отмечено. Однако, учитывая идентичность конструкции пустотелых кирпичей и крупноблочной керамики, следует внимательно исследовать возможные процессы деструкции данного материала. Игнорирование исследований долговечности современного и качественного материала, каким являются крупноблочная пористая керамика, может привести к тому, что данный материал в ближайшем будущем будет разрушаться по типу пустотелых кирпичей.

Авторами выдвинута рабочая гипотеза: материал внутренних перегородок и материал наружной поверхности в щелевом керамическом кирпиче или блоке крупноблочной пористой керамики имеют разную скорость химической деструкции. Неравномерность скорости химической деструкции материала на разных участках конструкции блока приводит к разрушению изделия.

Метод

Для исследования кинетики процесса химической деструкции материала стеновой керамики была разработана методика определения химической стойкости материала, подробно описанная в [9,14].

В соответствии с данной методикой пробу материала измельчают и просеивают через сита: с сеткой 05К до полного прохождения, затем через сито с сеткой 045К. Оставшиеся на сите 045К зерна пробы отмывают от пыли дистиллированной водой и высушивают в сушильном шкафу при температуре 105-115 °С до постоянной массы. Сразу после просушки из подготовленной пробы зерен готовят навески по 2 г, взвешенные с погрешностью не более 0,001 г.

Методика определения скорости деструкции материала кирпича основана на процессе взаимодействия щелочи с материалом кирпича при многократном воздействии на пробу кирпича щелочью и определении изменения массы пробы до и после воздействия и времени, за которое это изменение произошло. Данная методика предназначена для изучения кинетики процесса химической деструкции.

Испытания проводятся поэтапно. На каждом этапе навеску помещают в коническую колбу вместимостью 500 мл и приливают 250 мл 0,5 н раствора гидроокиси калия. Колбу помещают на предварительно нагретую электроплитку, соединяют с обратным холодильником и кипятят. Время кипячения один час. Затем осторожно сливают раствор гидроокиси калия, в колбу с пробой добавляют дистиллированную воду и интенсивно встряхивают. Зернам пробы дают осесть, а взмученную воду аккуратно декантируют. Процесс повторяют до момента, когда декантированная вода после встряхивания колбы, «на свет», остается прозрачной.

Затем в колбу с содержимым приливают 250 мл 0,3н раствора соляной кислоты. Колбу снова помещают на предварительно нагретую электроплитку, соединяют с обратным холодильником и кипятят в течении 0,5 ч. Колбу с пробой промывают дистиллированной водой как и в исследовании с гидроксидом калия. Затем колбу с пробой помещают в сушильный шкаф и высушивают при температуре 105-115 °С до постоянной массы. Высушенную пробу сразу после просушки взвешивают на весах с погрешностью измерения не более 0,001 г.

Проба после взвешивания возвращают в колбу. Эксперимент повторяют. Испытания проводят до тех пор, пока масса пробы в двух последующих испытаниях будет различаться не более, чем на 0,01 г (0,5%). В этом случае исследование пробы прекращается. Время и химическую стойкость керамического материала в последнем испытании записывается как максимальный коэффициент химической деструкции Cd_{max} .

Время кипячения пробы с раствором соляной кислоты в расчетах не учитывается.

Для описания результатов исследований материала кирпича по приведенной методике, введены следующие показатели:

Химическая стойкость [Chemical resistance] – потеря массы пробы образца на каждом этапе воздействия на него химическими веществами, Cr , [%].

Максимальный коэффициент химической деструкции $Cd_{max}(a)$ – время за которое максимальное количество пробы, выраженное в процентах (a), разрушается в процессе химического воздействия, час [%]. Максимальный коэффициент химической деструкции характеризует количество вещества в пробе материала кирпича, которое не разрушается, или разрушается очень медленно, под действием щелочей.

Коэффициент химической деструкции [Chemical destruction coefficient] $Cd(a)$: время за которое определенная в процентах часть пробы (a), разрушается в процессе химического воздействия, час. Коэффициент химической деструкции равен отношению химической стойкости материала к времени, за которое данное значение химической стойкости материала достигнуто.

Коэффициент химической деструкции определяется графически по результатам определения химической стойкости керамического материала в каждом испытании. Строится график зависимости химической стойкости от времени воздействия на материал. Из точки пересечения координат строится линия тренда построенного графика. При этом учитывают точки графика, крайняя из которых имеет значение химической стойкости, отличающееся от значения максимальной химической стойкости, не более, чем на 3%. Тангенс угла наклона графика к горизонтальной оси (времени) или коэффициент линейного уравнения линии тренда равен коэффициенту химической деструкции материала (Cd), имеет размерность [%/час] и характеризует скорость процесса химической деструкции материала.

Результаты и обсуждение

Для проведения исследований был отобран блок крупнопористой керамики после печи обжига (рисунок 4,а). В связи с тем, что расположение блоков в садке печи чрезвычайно плотное, предполагается, что условия обжига, как и химический состав сырья в первую очередь могут влиять на долговечность материала. В связи с этим при проведении исследований расположение исследуемого образца в садке строго контролируется. В описываемом в настоящей статье исследовании принимал участие образец, отобранный из центрального, третьего, пакета; из внутреннего, второго вертикального слоя; из верхнего, первого слоя. Образцу была присвоена маркировка 3.2.1.

а) Отбор образцов



б) Проведение лабораторных исследований



Рисунок 4 – Отбор проб и проведение исследования

До проведения исследований химической стойкости образца были проведены исследования прочности материала наружных стенок образца и внутренних перегородок методом неразрушающего контроля. Подробно результаты данного исследования приведены в [15]. Для образца 3.2.1 результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Прочность элементов крупноблочной пористой керамики

Номер образца	Прочность материала на сжатие, МПа							Снижение прочности материала внутренних перегородок, %
	Нижняя внешняя стенка	Боковая внешняя стенка, расположенная внутри пакета садки / бок 1	Боковая внешняя стенка, расположенная снаружи пакета садки / бок 2	Верхняя внешняя стенка	Среднее значение по наружным стенкам блока	Внутренние перегородки блока	Прочность образца разрушающим методом по ГОСТ	
3.2.1	19,3	16,3	15,3	15,7	15,6	11,3	6,9	32,0

Результаты исследования прочности материала различных элементов блока крупноблочной пористой керамики показали снижение прочности материала внутренних перегородок по сравнению с материалом внешних стенок на 32 %. Аналогичные результаты были получены и для других исследованных в [15] блоков.

Исследование химической стойкости материала различных элементов блока пористой керамики, проводилось по описанной в разделе 2 методике эксперимента (рисунок 4,б). В процессе эксперимента были исследованы верхняя внешняя стенка, нижняя внешняя стенка и центральная внутренняя стенка. Результаты исследований химической стойкости материала и результаты графического определения коэффициента химической деструкции приведены на рисунках 5-7.

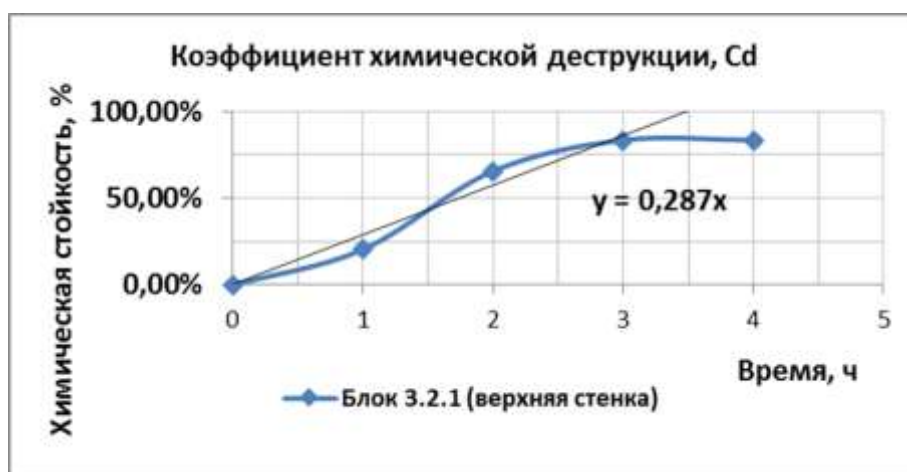


Рисунок 5 – Коэффициент химической деструкции материала верхней стенки блока

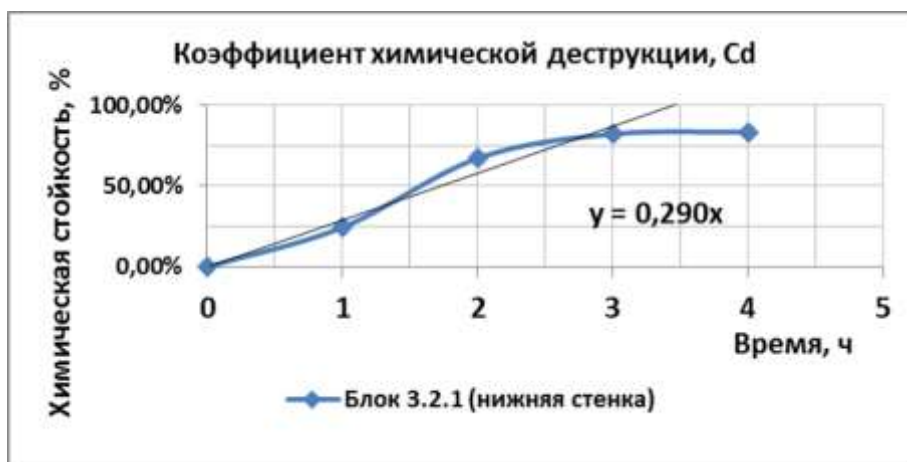


Рисунок 6 – Коэффициент химической деструкции материала нижней стенки блока

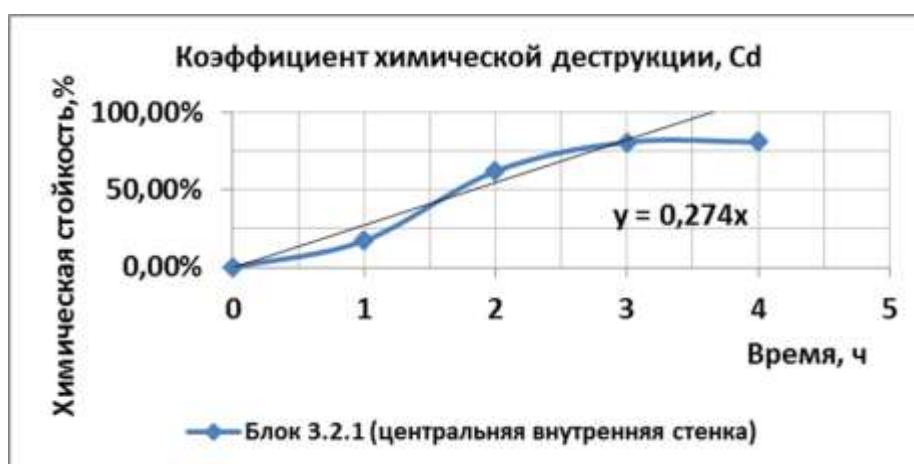


Рисунок 7 – Коэффициент химической деструкции материала внутренних центральных стенок

Результаты исследований показали, что коэффициент химической деструкции для материала внутренних центральных стенок на 4,9 % ниже, чем для материала верхней и нижней стенок блока. При этом коэффициент химической деструкции для верхней и нижней стенок блока практически одинаков и равен 0,287 %/час и 0,290 %/час.

Таким образом результаты исследований показывают, что внутренние центральные стенки имеют значительно меньшую прочность (на 32 % ниже, чем для наружных стенок). При этом материал данных стенок на 5 % более устойчив к химической деструкции, а следовательно обладает большей долговечностью.

В процессе проводимых лабораторных исследований было внесено предложение частично изменить методику эксперимента. Как было отмечено, на втором этапе каждой ступени исследования после воздействия на материал гидроксидом калия проводится воздействие на материал соляной кислотой. Время воздействия на материал соляной кислотой, равное 0,5 часа, в общем времени химической деструкции не учитывается. Задача обработки пробы соляной кислотой – удаление продуктов взаимодействия гидроксида калия с материалом стеновой керамики.

Результаты исследований химической стойкости материала и результаты графического определения коэффициента химической деструкции в исследованиях без использования соляной кислоты приведены на рисунках 8-10.

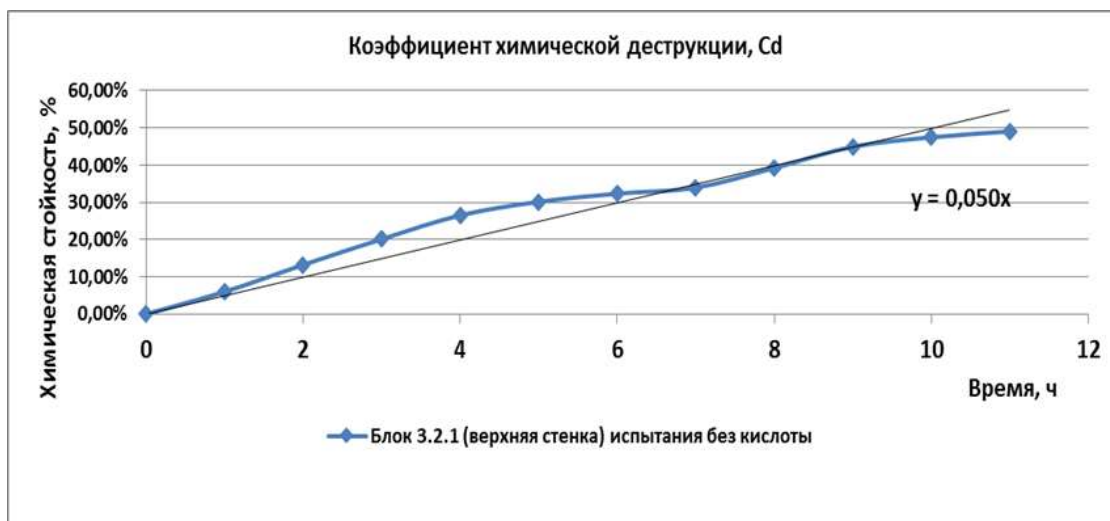


Рисунок 8 – Коэффициент химической деструкции материала верхней стенки блока при проведении исследований без HCl

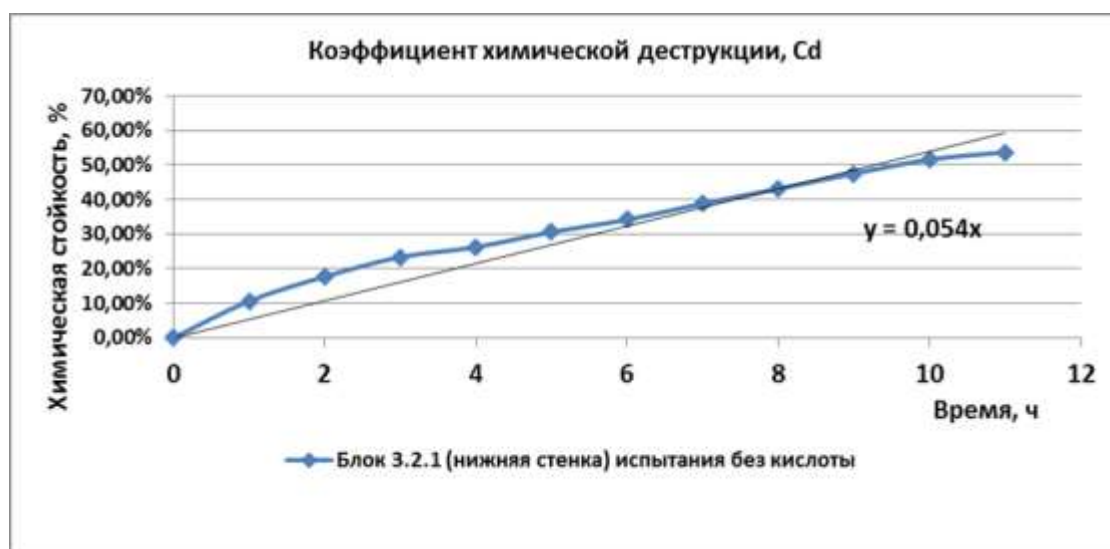


Рисунок 9 – Коэффициент химической деструкции материала нижней стенки блока при проведении исследований без HCl

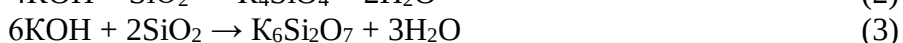


Рисунок 10 – Коэффициент химической деструкции материала центральной внутренней стенки блока при проведении исследований без HCl

Во всех экспериментах проводимых без использования соляной кислоты на второй стадии каждого этапа исследования коэффициент химической деструкции значительно снизился. Снижение составило от 5,4 до 6,2 раз. При этом основной результат исследования, полученный по основной методике, был подтвержден: скорость химической деструкции для материала центральной внутренней стенки ниже, чем для материала верхней и нижней стенок блока. Материал внутренних стенок более стоек к воздействию процессов химической коррозии. При этом в исследованиях без применения соляной кислоты коэффициент химической коррозии для материала внутренней центральной стенки ниже на 15,4 % коэффициента химической коррозии для материала верхней и нижней стенок.

Анализ химизма процесса деструкции материала стеновой керамики при условии воздействия на материал соляной кислоты и без него можно описать следующими реакциями взаимодействия веществ.

При воздействии на материал сильным гидроксидом калия возможно образование силикатов, например по реакциям (1) – (3):

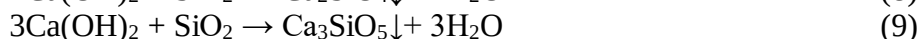
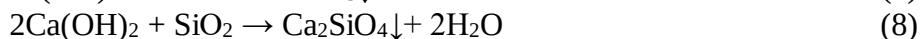
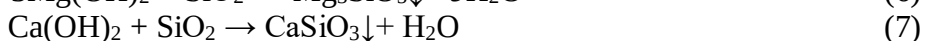
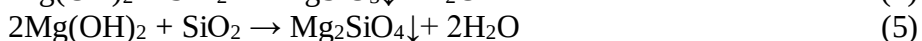
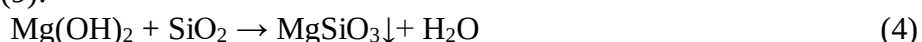


и другим.

Все силикаты щелочных металлов растворимы и их образование в процессе эксперимента не может повлиять на скорость деструкции материала с и без использования в эксперименте соляной кислоты.

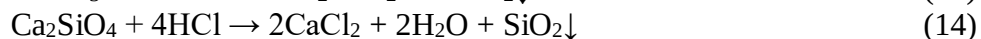
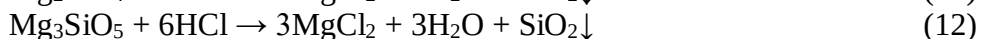
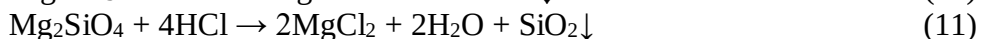
Образование алюминатов при взаимодействии оксида алюминия с гидроксидами щелочных металлов при температурах эксплуатации стеновой керамики маловероятно. Однако температуры 900-1000 °С соответствуют температурам обжига материала стеновой керамики при его производстве. Тем самым образование алюминатов в аморфной фазе вполне обосновано еще в процессе обжига материала стеновой керамики. Алюминаты хорошо растворимы в воде и в растворах щелочей. Таким образом алюминаты тоже не могут повлиять на разницу результатов эксперимента.

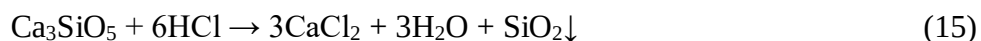
Однако в процессе эксперимента могут образовываться нерастворимые силикаты кальция и магния, так как оксиды кальция и магния присутствуют в материале керамики и при взаимодействии с водой, даже в присутствии сильной щелочи калия, образуют гидроксиды кальция и магния. Нерастворимые силикаты кальция и магния могут образовываться, например по реакциям (4) – (9):



Нерастворимые силикаты остаются в материале стеновой керамики. При обработке пробы водой они остаются в пробе. На каждом этапе исследования их количество увеличивается. При этом нерастворимые силикаты, оставаясь в пробе, уменьшают поверхность контакта гидроксида калия с материалом керамики, что также приводит к уменьшению скорости деструкции материала.

Воздействие соляной кислоты на пробу с нерастворимыми силикатами кальция и магния можно описать реакциями (10) – (15)





В соответствии с реакциями (10) – (15), образовавшиеся в процессе эксперимента нерастворимые силикаты щелочноземельных металлов, при воздействии на пробу соляной кислотой, переходят в раствор и удаляются из пробы. Этим объясняется существенная разница результатов химической стойкости материала стеновой керамики при проведении исследований с применением соляной кислоты и без ее использования.

Задача любого исследования процесса – максимально приблизить условия лабораторного эксперимента к реальным условиям. При работе стеновой керамики в натуральных условиях ограждающих конструкций соляная кислота в материале отсутствует за исключением случаев специальных производств и приморских территорий. Основываясь на результатах описанного исследования необходимо проанализировать основную методику определения коэффициента химической деструкции и, при необходимости, внести корректирующие коэффициенты в результаты исследований.

Выводы

1. Развитие промышленности производства стеновой керамики с учетом возросших требований к теплотехническим характеристикам изделий представило на рынок строительных материалов современный материал в виде крупноблочной пористой керамики. Крупноблочная пористая керамика конструктивно является современным прототипом пустотелых кирпичей, применение которых имеет большую историю, начиная с конца XIX столетия и обладает рядом значительных положительных характеристик, таких как высокое сопротивление теплопередаче, низкая плотность, высокая прочность.

2. Натурные исследования работы ограждающих конструкций, выполненных из пустотелых керамических кирпичей 60 – 80 лет назад, показали, что во многих случаях пустотелые кирпичи разрушаются, что приводит к потере эстетического облика зданий, уменьшению несущей способности ограждающей конструкции. Механизм разрушения пустотелых кирпичей во всех случаях одинаков и не зависит от воздействия циклического замораживания-оттаивания – происходит разрушение в месте контакта внутренних перегородок и наружных стен кирпича. В связи с тем, что конструктивно крупноблочная керамика идентична пустотелому кирпичу, необходимо исследовать процесс возможного разрушения материала крупноблочной пористой керамики по типу разрушения пустотелых кирпичей.

3. Выдвинута рабочая гипотеза: материал внутренних перегородок и материал наружной поверхности в щелевом керамическом кирпиче или блоке крупноблочной пористой керамики имеют разную скорость химической деструкции. Неравномерность скорости химической деструкции материала на разных участках конструкции блока приводит к разрушению изделия.

4. Проведены лабораторные испытания образца крупноблочной пористой керамики. Исследования проводились по методике определения химической стойкости стеновой керамики. Результаты испытаний подтвердили выдвинутую гипотезу: скорость деструкции материала наружных стенок блока и центральной внутренней стенки отличаются на 5 %. Разность в скоростях деструкции материала отдельных элементов блока может привести к разрушению всего блока.

5. В процессе исследований были внесены предложения по корректировке метода определения химической стойкости материала стеновой керамики. Сравнительный анализ показал, что предложенные изменения подтвердили основные выводы по химической стойкости материала: в обеих методиках материал внутренних стенок показал большую химическую стойкость, чем материал наружных стенок. При этом проведение исследований химической стойкости процесса по модифицированной методике должно быть изучено более подробно.

Таким образом можно сделать основной вывод: на рынок России поступает новый материал – крупноблочная пористая керамика, обладающий высокими теплотехническими и

эстетическими качествами. Однако данный материал в виду конструктивных особенностей может разрушаться. Причиной разрушения может быть разная скорость химической деструкции материала наружных стенок изделия и внутренних перегородок. Исследования долговечности крупноблочной пористой керамики, описанные в настоящей статье, должны быть продолжены для дальнейшего совершенствования технологии производства и увеличения долговечности продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищук М.К. «Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки». М., 2009 г.
2. Понаморов О.И., Комов В.М., Ломова Л.М. «Использование пустотелого поризованного камня и кирпича в строительстве» // «Строительные материалы». 1999 г.
3. Логвинов А.В. «История возникновения пустотелых крупноформатных керамических камней» // «Стройпрофиль». 2010. №8. С.5-10.
4. Ананьев А.И. Долговечность и теплозащитные свойства наружных кирпичных стен старинных зданий // АВОВ, 2018. № 2. С. 52-55.
5. Салахов А.М. Керамика для строителей и архитекторов. Казань: ИД «Парадигма», 2009.
6. Рубцов О.И., Боброва Е.Ю., Жуков А.Д., Зиновьева Е.А. Керамический кирпич, камни и полнокирпичные стены // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-8-13>.
7. Семёнов А.А. О состоянии отечественного рынка керамических стеновых материалов // Строительные материалы. 2016. № 8. С. 9-14.
8. Оперативные данные Государственного комитета Республики Башкортостан по строительству и архитектуре (дата обращения 15.03.2020).
9. Zheldakov D.Yu. The Brick Material Durability in Brickwork 2020; AlfaBuild; Volume 15 Article No 1504, doi: 10.34910/ALF. 15.4
10. Желдаков Д.Ю. Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание процесса // Строительные материалы. 2019. № 4. С. 36-43.
11. Litvan G. Testing the frost susceptibility of bricks. In Masonry: Past and Pres. 1975. Pp 123-132.
12. Fagerlund G. The international cooperative test of the critical degree of saturation method of assessing the freeze // thaw resistance of concrete Mat. and Str. 1977. 58(10). Pp 231–253.
13. Pashinskij V.A., Sidej V.N. Metodika ocenivaniya dolgovechnosti stroitel'noj keramiki po kriteriju morozostojkosti. [Method of evaluating the durability of building ceramics by the criterion of frost resistance]. TOGU. Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii FAD TOGU. 2015. No. 3. Pp. 273-279.
14. Желдаков Д.Ю. Методы исследования кинетики процесса химической коррозии материалов кирпичной кладки // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 11 (731). С. 74-86.
15. Zheldakov D., Tursukov S. The Durability of Large-Block Hollow Ceramics Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1079, Chapter 4. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1079 052018

REFERENCES

1. Ishhuk M.K. «Otechestvenny`j opy`t vozvedeniya zdaniy s naruzhny`mi stenami iz oblegchennoj kladki» [Domestic experience in the construction of buildings with external walls made of lightweight masonry]. М., 2009.
2. Ponomarev O.I., Komov V.M., Lomova L.M. «Ispol'zovanie pustotelogo porizovannogo kamnya i kirpicha v stroitel'stve» [The use of hollow porized stone and brick in construction] // «Stroitel'ny`e materialy`. 1999.
3. Logvinov A.V. «Istoriya vznikeniya pustotely`x krupnoformatny`x keramicheskix kamnej» [The history of the appearance of hollow large-format ceramic stones] // «Strojprofil`. 2010. №8. S.5-10.
4. Anan'ev A.I. Dolgovechnost` i teplozashhitny`e svojstva naruzhny`x kirpichny`x sten starinny`x zdaniy [Durability and heat-protective properties of external brick walls of ancient buildings] // AVOK, 2018. № 2. S. 52-55.
5. Salaxov A.M. Keramika dlya stroitelej i arxitektorov [Ceramics for builders and architects]. Kazan`: ID «Paradigma», 2009.
6. Rubczov O.I., Bobrova E.Yu., Zhukov A.D., Zinov`eva E.A. Keramicheskij kirpich, kamni i polnokirpichny`e steny` [Ceramic bricks, stones and full-brick walls] // Stroitel'ny`e materialy`. 2019. № 9. S. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-8-13>.
7. Semyonov A.A. O sostoyanii otechestvennogo ry`nka keramicheskix stenovy`x materialov [About a Condition of the Domestic Market of Ceramic Wall Materials]. // Stroitel'nye Materialy. 2016. No. 08. Pp. 9-14. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-740-8-9-15>.

8. Operativny`e dannyy`e Gosudarstvennogo komiteta Respubliki Bashkortostan po stroitel`stvu i arxitekture (data obrashheniya 15.03.2020). [Operational data of the State Committee of the Republic of Bashkortostan on Construction and Architecture (Date of access 15.03.2020)]. (In Russian).
9. Zheldakov D.Yu. The Brick Material Durability in Brickwork 2020; AlfaBuild; Volume 15. Article No 1504, doi: 10.34910/ALF. 15.4
10. Zheldakov D.Yu. Ximicheskaya korroziya kirpichnoj kladki. Protekanie processa [Chemical corrosion of brick masonry. Processing running]. // Stroitel'nye Materialy. 2019. No. 04. Pp. 36-43. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-36-43>.
11. Litvan G. Testing the frost susceptibility of bricks. In Masonry: Past and Pres. 1975. Pp 123-132.
12. Fagerlund G. The international cooperative test of the critical degree of saturation method of assessing the freeze // thaw resistance of concrete Mat. and Str. 1977. 58(10). Pp. 231–253.
13. Pashinskij V.A., Sidej V.N. Metodika ocenivaniya dolgovechnosti stroitel'noj keramiki po kriteriju morozostojkosti. [Method of evaluating the durability of building ceramics by the criterion of frost resistance]. TOGU. Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii FAD TOGU. 2015. No. 3. Pp: 273-279.
14. Zheldakov D.Yu. Metody` issledovaniya kinetiki processa ximicheskoy korrozii materialov kirpichnoj kladki. [Methods of investigation of kinetics of chemical corrosion process of materials of masonry]. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo. 2019. No. 11 (731). Pp. 78-86. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-731-11-74-86 (In Russian).
15. D. Zheldakov and S. Tursukov The Durability of Large-Block Hollow Ceramics Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1079, Chapter 4. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1079 052018

Информация об авторах:

Желдаков Дмитрий Юрьевич

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.
E-mail: djeld@mail.ru

Турсуков Сергей Алексеевич

Министерство строительства и архитектуры Республики Башкортостан (Минстрой РБ), г. Уфа, Россия,
начальник отдела промышленности строительных материалов, строительной индустрии и новых технологий.
E-mail: serega_722@mail.ru

Хусайнов Ильгиз Рустэмович

Уфимский государственный научно-технический Университет (УГНТУ), г. Уфа, Россия,
лаборант Научно-образовательного центра инновационных технологий.
E-mail: ki271@ya.ru

Information about authors:

Zheldakov Dmitry Ur.

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia,
candidate of technical science, senior researcher.
E-mail: djeld@mail.ru

Tursukov Sergey Al.

Ministry of Construction and Architecture of the Republic of Bashkortostan (Minstroy RB), Ufa, Russia,
head of the Department of Building Materials Industry, Construction industry and New Technologies.
E-mail: serega_722@mail.ru

Husainov Ilgiz R.

Ufa State University of Science and Technology (USNTU), Ufa, Russia,
laboratory assistant of the Scientific and Educational Center for Innovative Technologies.
E-mail: ki271@ya.ru