



УДК [691.41-666.3+691.4]

М.Г. Габидуллин, И.Х. Киямов, А.В. Темляков, А.Р. Хузагарипов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО ПК “СТРУКТУРА”

Актуальной исследовательской задачей для высокопористых керамических материалов является изучение их структуры, определение соотношения структурных составляющих, их количественных и качественных показателей. Одной из важнейших характеристик структуры пористой керамики являются параметры его порового пространства, так как даже незначительные изменения количества пустот в материале приводят к резкому изменению их физико-механических и эксплуатационных свойств.

До настоящего времени пористость строительной керамики чаще всего определялась такими методами, как метод ртутной порометрии, метод изотерм адсорбции азота или паров воды, электронной микроскопией, но каждый из них имеет определенные недостатки. В последние годы с развитием компьютерного моделирования появились дополнительные инструменты для определения пористости различных материалов, использование которых значительно упрощает обработку и анализ структуры, но эти методы несовершенны, требуют определенных навыков и доработки.

Цель исследований - изучение закономерностей изменения характеристик порового пространства и соотношения структурных составляющих черепка при увеличении в шихтах количества выгорающих добавок.

Для реализации цели исследования на кафедре строительных материалов КГАСУ авторами был разработан программный комплекс (ПК) “СТРУКТУРА”, на который было получено свидетельство Роспатента. Его отличительной особенностью является новый способ определения характеристик порового пространства черепка, заключающийся в компьютерной обработке изображений шлифов контрольных образцов. После установки границ анализируемой площади изображения дается команда на автоматическое построчное считывание размеров пор, общей пористости черепка, количества пор на единицу площади, дифференциальной пористости, усредненного количества пор на одной горизонтальной строке толщиной в один пиксель, количество пор на одной строке единичной длины, однородность распределения, дисперсия, ошибка расчета. Достоинством способа является возможность формирования полученных данных в удобной для анализа табличной и графической форме.

Отличительной особенностью алгоритма программы является то, что изображение фотоснимка пористой поверхности шлифа рассматривается в виде массива точек различной яркости от 0 до 255, представляющего собой различные уровни глубины пор: 0 - минимальная яркость, 255 - максимальная. Программа позволяет с высокой точностью выбирать уровень яркости границы раздела поры и материала, а также выделить нужную область анализа и автоматически подсчитывать характеристики пористости с приведением данных к единице площади изображения. Интерфейс включает: меню, масштаб, полное изображение шлифа, увеличенное изображение выделенного участка, закладки для регулирования параметров анализа, строку статуса.

Основная часть ПК “СТРУКТУРА” - это блок алгоритма и команд, а вторая часть - База Структура-1.0 - это обширная дифференцированная база данных, сформированная на основании данных результатов автоматизированного считывания параметров порового пространства черепка исследованных образцов. База данных включает пять блоков. Первые два блока - это базы данных изображений образцов: первая - в виде общего плана реального изображения шлифа; вторая - в виде выделенного для исследования квадратного или прямоугольного участка изображения, преобразованного (конвертированного и инвертированного) в заданном оператором масштабе. В третьем блоке базы размещены табличные данные автоматизированного считывания параметров порового пространства: дифференциация пор по размерам, размеры пор, их доли от общего количества, характеристики пор на единицу анализируемой площади, однородность их распределения, статистические параметры, данные расчета на единицу анализируемой площади изображения, ошибка считывания и т.д. Всего определяется двенадцать параметров. В четвертом блоке базы размещаются кривые дифференциального распределения пор по размерам, построенные на основании обработки табличных данных блока 3. В пятом - новые схемы моделей структуры черепка, построенные на основании табличных данных из блока 3 и дополнительных результатов тонких методов



исследований по определению кристаллических новообразований и стеклофазы черепка. Модели учитывают соотношения структурных составляющих: пор, стеклофазы, кристаллических новообразований и реликтов глинистых минералов. По мере дальнейшего совершенствования ПК и расширения данных исследований база будет пополняться и расширяться.

В течение двух последних лет проведена лабораторная апробация программы на более чем 300-х образцах различных видов пористой керамики плотностью от 150 до 1900 кг/м<sup>3</sup>. В качестве основного сырья в исследованиях использовались типичные легкоплавкие кирпично-черепичные высокочувствительные полиминеральные средне-, умеренно- и малопластичные глины Красногорского, Сарай-Чекурчинского, Шеланговского, Кошаковского и Калининского месторождений (Республика Татарстан), основные характеристики которых были приведены в более ранних наших исследованиях [1,2]. Особенности минералогии и гранулометрии глин показали их высокую чувствительность к сушке и, как следствие, низкую трещиностойкость. Поэтому, учитывая состав и свойства глин, в них вводились грубодисперсные добавочные материалы в виде древесной пыли, древесных опилок и шелухи гречихи

в количестве от 0 до 60 % от объема глины.

В данной статье будут изложены результаты исследования структуры черепка эффективного пустотелого и пустотело-пористого кирпича и камня, полученных путем введения в состав шихт на основе Красногорской глины выгорающих добавок в количестве от 0 до 60 об.%. Была проведена серия экспериментов путем формования контрольных образцов-кубиков размером 50x50x50 мм из шихт различных составов. В процессе формования, сушки и обжига при 950<sup>0</sup> С определяли основные свойства образцов. Получены зависимости изменения основных свойств сырца, полуфабриката и обожженных образцов при увеличении количества вводимых добавок.

Пористость черепка изучали путем фотографирования через микроскоп поверхности шлифов, изготовленных из обожженных образцов-кубиков. В качестве примера на рис.1 приведены изображения шлифов для шихт с древесными опилками, которые направляли в базу данных ПК "СТРУКТУРА" для дальнейшей их обработки.

На рис.2 приведены зависимости изменения количества пор при увеличении в шихте древесных опилок (для древесной пыли и шелухи гречихи - не приводятся). Для удобства анализа все поры были предварительно разделены по размерам на три группы: микропоры

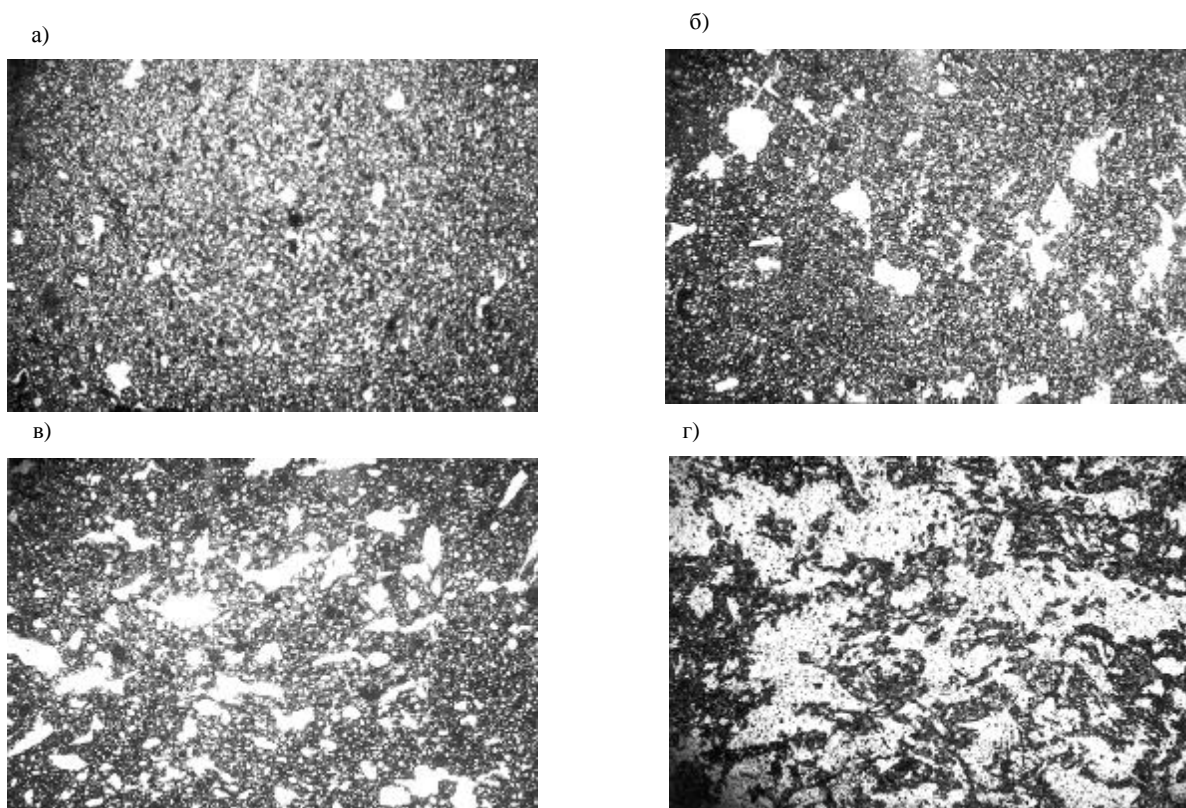


Рис.1. Изменение характера поверхности прозрачных шлифов черепка контрольных образцов пористого кирпича на основе Красногорской глины при введении в шихту древесных опилок: а) древесные опилки 0 (об.) %; б) 9%; в) 33%; г) 60%

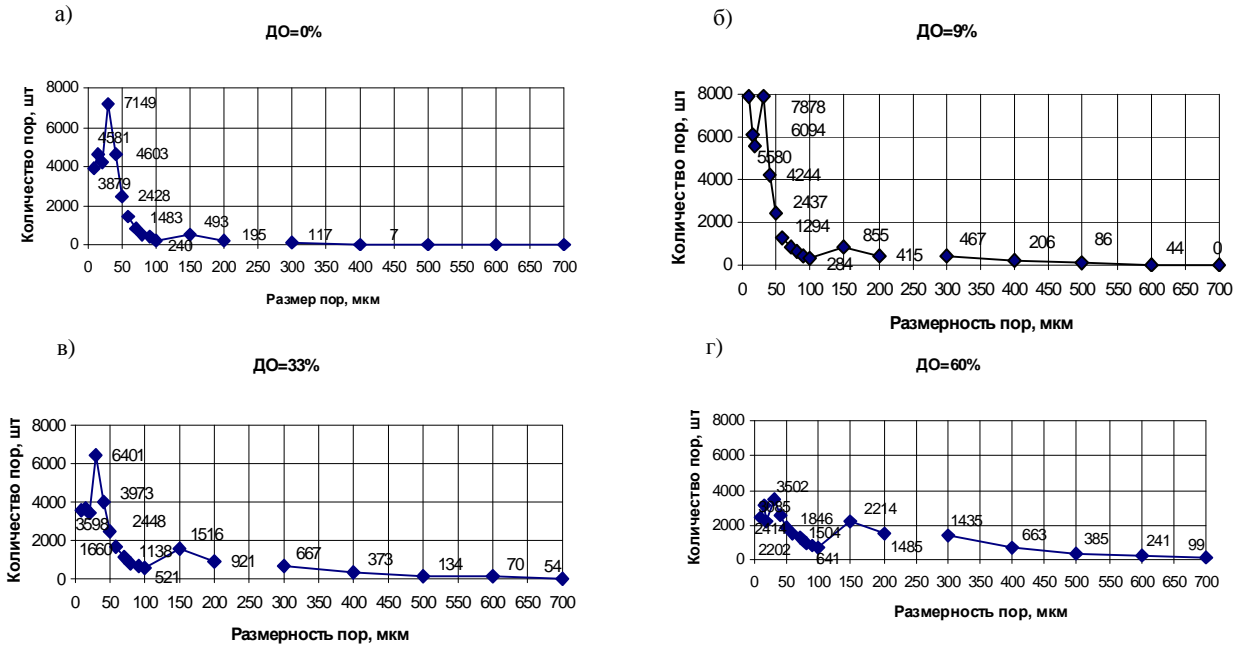


Рис.2. Зависимости изменения количества пор в черепке на основе Красногорской глины при увеличении объема в шихте выгорающей добавки в виде древесных опилок: а) 0 % добавки; б) 9%; в) 33%; г) 60 %; I ветвь кривой для микропор; II то же для средних пор; III то же для макропор

размером менее 50, средние - от 50 до 200 и макропоры - от 200 до 700 мкм. Для их наглядности кривая разбита на три ветви: I для микро-, II для средних и III для макропор.

Анализ характера изображений шлифов, приведенных на рис. 1, показывает, что практически на всех шлифах основной процент пор составляют микропоры размером менее 50 мкм. Так, для нулевого состава (рис. 1а) таких пор - около 86,22 % от общего количества пор, при введении древесной пыли в количестве 9 % - 77,95 %, при 24 - 61,94 %, при 60 - 57,48 %. В случае, когда вводятся древесные опилки (рис. 1б-г) в количестве 9 % - 86,16 %, при 33 - 73,28 % и при 60 - 56,82 %. Видно, что с увеличением в шихте объема обеих добавок от 0 до 60 % доля микропор по отношению к общему количеству пор снижается для древесной пыли - на 50 %, для опилок - на 51,74 %.

Это подтверждается и изменением характера I-го участка кривых (рис.2) дифференциальной пористости, так как его экстремум уменьшается с 7149 для нулевого состава (рис.2а) до 2502 (рис.2г) для 60% добавки. Несколько иная картина перераспределения микропор происходит при увеличении в шихте с 0 до 50 % добавки в виде шелухи гречихи. При ее введении в количестве 9%, доля микропор равна 89,73 %, при 24 - 71,99 %, при 50 - 80,19 %, то есть в данном случае четкой зависимости между количеством пор и вводимых добавок не прослеживается. Тем не менее, при увеличении добавки с 0 до 50% происходит снижение на 11,9% количества микропор.

Противоположная тенденция перегруппировки пор наблюдается с увеличением выгорающих добавок в области макропор (200<700 мкм). При увеличении в

шихте древесной пыли от 9 до 60 %, количество крупных пор увеличивается с 0,4 до 13,41 %, или более, чем в 33,52 раза, а для мелких пор - уменьшается только в 1,5 раза. При тех же условиях для шихт с древесными опилками доля крупных пор увеличивается от 0,4 до 10,32 %, или в 25,8 раз, а для мелких - уменьшается в 1,52 раза. Этот вывод подтверждается повышением уровня III-ей ветви кривой (рис.2). Так, количество пор размером 300 мкм при нулевом составе равно 117, а при 60% - это уже 1435 штук. Для составов с шелухой гречихи доля макропор в черепке возрастает от 0,4 до 4,9 % с увеличением ее объема в шихте с 0 до 50 %, или в 12,24 раза, а микропор - снижается всего в 1,08 раз.

Для средних пор (50<200 мкм) характер их изменения с увеличением добавки несколько отличается от изменения количества микро- и макропор. Для древесной пыли с увеличением ее количества в шихте от 0 до 9%; 24% и 60 % доля средних пор увеличивается от 13,3 % до 18,71%; 24,27% и 28,33 %, соответственно. Для составов с древесными опилками наблюдается аналогичная картина: при увеличении добавки от 0% до 9%; 33% и 60 % - доля средних пор, соответственно, составляет от 13,3% до 11,79%; 22,44% и 32,31 %, то есть наблюдается их увеличение. Это подтверждается и изменением уровня II-ой ветви кривой на рис.2. Для черепка с шелухой гречихи порядок цифр несколько иной: при количестве добавок 0%; 9%; 24% и 50 % доля средних пор составляет, соответственно, 13,3%; 8,4%; 23,97% и 13,21 %, а общее увеличение пор средних размеров с увеличением добавки от 0% до 50 % составляет от 0,4% до 4,9 %, или в 12,24 раза.

В дальнейшем с помощью известных способов

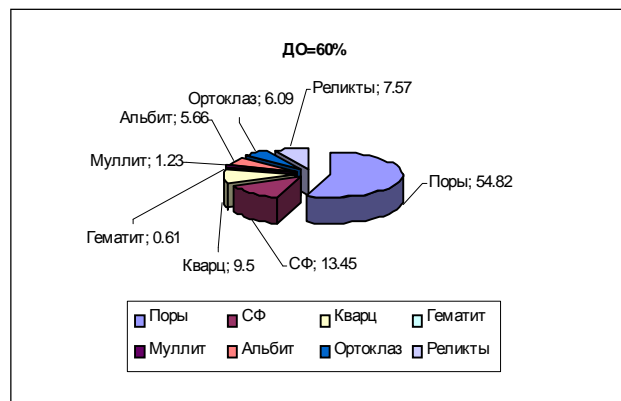
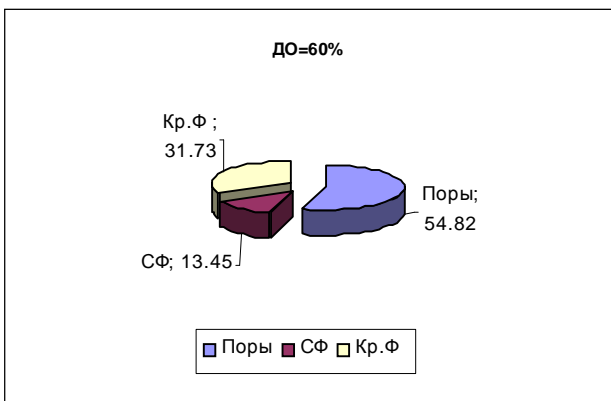
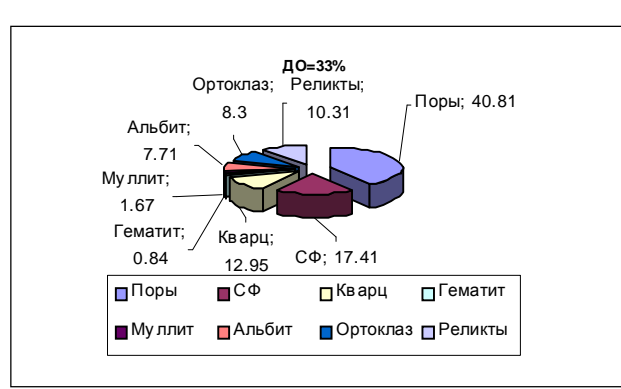
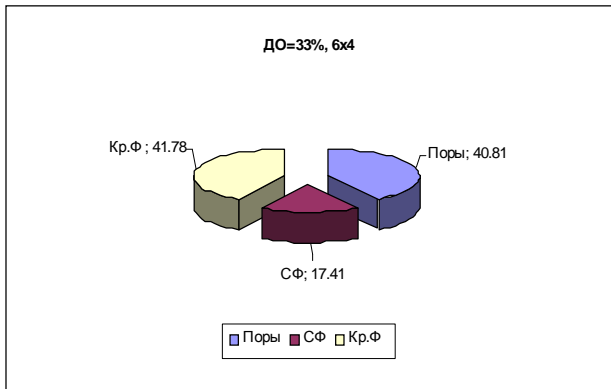
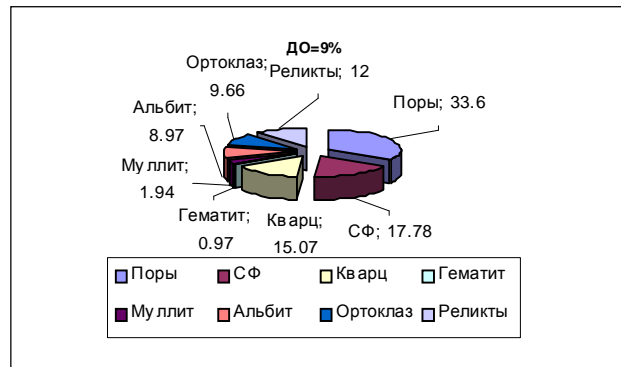
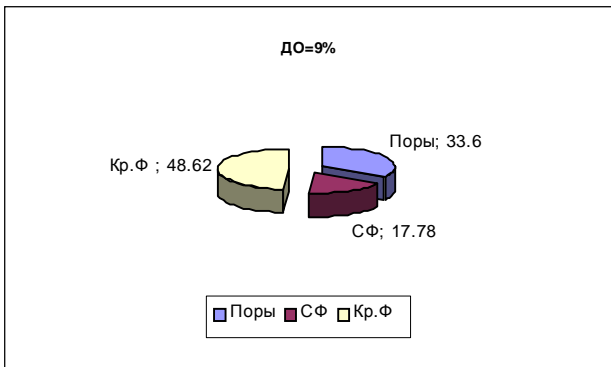
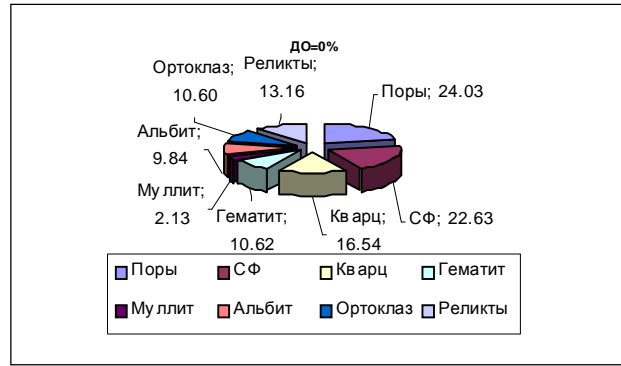
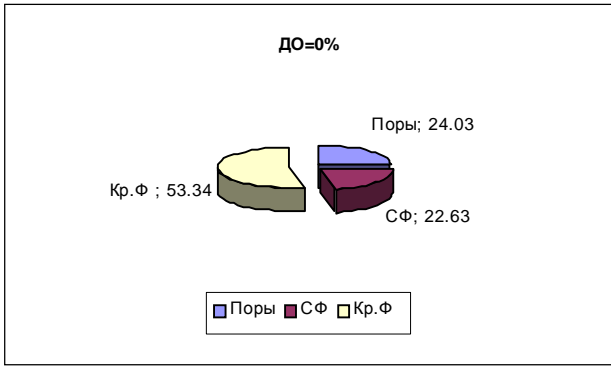


Рис.3. Изменение характера распределения долей структурных составляющих в пористом черепке на основе Красногорской кирпично-черепичной глины с увеличением в шихте количества древесных опилок от 0 до 60 об.%; слева - основные три фазы, справа - то же вместе с кристаллическими составляющими



на отобранных контрольных образцах определяли количество стеклофазы (СФ) и кристаллических новообразований (Кр.Ф).

Первые определяли расчетным и экспериментальным способами по методике, разработанной Чумаченко Н.Г. и Чудиным [3], а вторые согласно требованиям нормативных документов [4,5]. По полученным значениям характеристик пористости, СФ и Кр.Ф, впервые были построены новые схемы моделей структуры пористого черепка, отличительной особенностью которых от известных является наличие количественных показателей микро-, макро- и средних пор, смоделированной толщины СФ и Кр.Ф и поровых фаз для групп ячеек определенных размеров. Подробно схемы этих моделей и методика их построения представлены в наших более ранних работах [3,4]. Здесь же ограничимся представлением этих моделей в виде круговых гистограмм (рис.3) для пористого черепка, полученного путем введения в шихту 60 % древесных опилок. Сравнение представленных диаграмм показывает, что происходит перераспределение долей структурных составляющих черепка с увеличением в нем количества выгорающей добавки. Если доля поровых фаз при этом значительно увеличивается с 24,03 % до 54,82 %, то доля кристаллических новообразований (Кр.Ф) также усиленно снижается с 53,34 % до 31,75 %. В то же время наблюдается незначительное снижение СФ с 22,63% до 13,45%. Пропорционально снижению общей доли Кр.Ф., уменьшается и доля ее составляющих в виде кварца, гематита, муллита, альбита, анортита и реликтов глинистых минералов.

Таким образом, экспериментально апробирован новый разработанный программный комплекс “СТРУКТУРА” для оценки порового

пространства черепка эффективных стеновых керамических материалов. Он позволяет оперативно и с высокой точностью считывать с изображений шлифов контрольных образцов основные параметры пористости черепка. Можно надеяться, что этот комплекс явится новым дополнительным инструментом для исследования пористости различных материалов лабораторий различных НИИ и вузов, занимающихся разработкой новых технологий и новых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З., Морозов В.П. Моделирование структуры черепка эффективной стеновой керамики, полученной путем регулирования ее пористости введением выгорающих добавок // Статья в сб. трудов годовичного собрания РААСН “Ресурсо- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном процессе”. Москва-Казань, 2003. - С.362-366.
2. Габидуллин М.Г. Новые виды пористой керамики и моделирование их структуры // Статья в научно-теоретическом журнале Вестник БелГТАСМ, №5, 2003. Материалы межд. конгресса “Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии”, посвященного 150-летию В.Г. Шухова. Ч.2. - С.67-73.
3. Чумаченко Н.Г. Методологические основы производства строительной керамики на основе природного и техногенного сырья. Автореф. дисс. докт. техн. наук - Самара, 1999. 35 с.
4. Дудеров Ю.Г., Дудеров И.Г. Расчеты по технологии керамики. М: Стройиздат, 1973. -80 с.
5. Горшков В.С., Савельев В.Г., Абакумов А.В. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы. Структура и свойства. Справочное пособие. -М: Стройиздат, 1995. - 575 с.