



Котляр Антон Владимирович

**КЛИНКЕРНЫЙ КИРПИЧ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПЕКАНИЯ
НА ОСНОВЕ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН И АРГИЛЛИТОВ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственный технический университет»

Научный руководитель: **Козлов Александр Владимирович**,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Столбоушкин Андрей Юрьевич**,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», профессор кафедры «Строительные технологии и материалы» (05.23.05)

Вильбицкая Наталья Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины» (05.23.05)

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»**

Защита состоится «15» мая 2018 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 999.194.02 при ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1, Институт архитектуры и строительства, к. Б-203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского государственного технического университета и на официальном сайте по ссылке <http://www.vstu.ru/nauka/dissertatsionnye-sovety/obyavleniya-o-zashchitakh/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Акчурин
Талгать Кадимович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В современном строительстве востребованными являются высокотехнологичные материалы нового поколения, с улучшенными эксплуатационными, эстетическими и экологическими показателями качества, требованиям которых отвечают и клинкерные изделия. Клинкерные керамические материалы по назначению и применению в строительстве подразделяются на: стеновые, дорожные, отделочные и технического назначения. Первые применяются для кладки стен и архитектурных элементов, где необходима повышенная прочность и стойкость изделий. Дорожный клинкерный кирпич используется для устройства покрытий дорог, тротуаров, площадей. Отделочная клинкерная керамика – плитка, применяется для облицовки стен и полов. Технический клинкерный кирпич применяется для кладки и футеровки промышленных объектов. Долговечность, высокая прочность, устойчивость к химической и биологической коррозии, неприхотливость в процессе эксплуатации, возможность реализации дизайнерских решений через многообразие форм, цветов и фактур – обуславливают популярность клинкерных изделий в строительстве.

В России в настоящее время потребность в строительном и дорожном клинкере реализуется за счет поставок из-за рубежа и мощностями 3 отечественных предприятий, общей производительностью 45 млн. шт. в год. Сложившаяся ситуация связана с тем, что традиционная сырьевая база для клинкерных изделий в РФ весьма ограничена. Для клинкерного кирпича пригодными являются глины сильно- и среднеспекающиеся, низкотемпературного или среднетемпературного спекания, без вредных примесей и с хорошими технологическими свойствами. Такие глины используются для производства тонкой керамики. В то же время во многих регионах России не эксплуатируются разведанные для производства керамзита месторождения камневидного глинистого сырья – аргиллитов и аргиллитоподобных глин. Их использование признано нецелесообразным, из-за их низкой вспучиваемости при сухом способе производства керамзита, хотя их химико-минералогический состав во многом сопоставим с лучшими видами глинистого сырья, а запасы могут обеспечить потребности на многие столетия.

В связи с этим, изыскание и вовлечение нетрадиционного глинистого сырья для производства клинкерного кирпича с использованием энергоэффективных технологических решений является весьма **актуальной** научно-технической задачей. По нашему мнению, одним из перспективных направлений решения этой задачи является использование камневидных разновидностей глинистого сырья (КГС), таких как аргиллитоподобные глины и аргиллиты (АПГиА).

Работа выполнялась в рамках научно-образовательного гранта «Решение комплексной проблемы по разработке эффективных строительных материалов».

Степень разработанности темы исследования. Научные и технологические разработки, посвященные сырьевой базе и технологии стеновой керамики, представлены в работах: Талпа Б.В., Ашмарина Г.Д., Столбоушкина А.Ю., Абдрахимова В.З., Кара-сала Б.К., Зубехина А.П., Масленниковой Л.Л., Яценко Н.Д., Езерского В.А., Гурьевой В.А., Салахова А.М., Стороженко Г.И., Альперовича И.А., Кондраченко В.А., Moriyoishi Y., Krause E., Икума Я., Тихи О. и др. Однако вопросы и научно-практические наработки, связанные с производством клинкерного кирпича из

камневидных разновидностей глинистого сырья, требуют в настоящее время особого внимания и ускоренного решения.

Цель исследований – разработка научных основ и технологических принципов получения клинкерного кирпича низкотемпературного спекания с улучшенными технико-эксплуатационными свойствами на основе аргиллитоподобных глин и аргиллитов и внедрение результатов исследований в производство.

Для достижения цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- проанализировать и изучить опыт производства клинкерного кирпича различного назначения в России и за рубежом и определить наиболее перспективные пути его развития применительно к современным условиям;
- провести анализ потенциальной сырьевой базы для производства клинкерного кирпича, выявить особенности вещественного состава, распространения, запасы, виды и условия разработки месторождений АПГиА;
- определить технологические свойства АПГиА и разработать литолого-технологическую классификацию данного вида сырья применительно к производству клинкерного кирпича;
- установить влияние и взаимосвязь различных технологических факторов, влияние интенсификаторов спекания и минерализующих добавок на процессы низкотемпературного спекания и свойства изделий;
- изучить закономерности и особенности процессов фазо- и структурообразования керамического черепка на основе АПГиА;
- разработать технологические схемы производства и установить оптимальные технологические параметры производства клинкерного кирпича различного назначения;
- провести опытно-промышленную апробацию, подтвердить и реализовать результаты исследований на практике, определить технико-экономическую целесообразность использования АПГиА для производства клинкерного кирпича различного назначения.

Научная новизна диссертационной работы:

- разработаны научно-технологические принципы получения различных видов клинкерного кирпича низкотемпературного спекания с улучшенными технико-эксплуатационными свойствами на основе аргиллитоподобных глин и аргиллитов;
- установлены особенности химико-минералогического состава АПГиА, заключающиеся в наличии гидрослюд двух морфологических типов: изометричной, являющейся аллотигенной составляющей, и удлиненно-пластинчатой, являющейся продуктом катагенетического процесса преобразования монтмориллонита, что на наш взгляд, определяет высокую прочность изделий. Предложена классификация АПГиА по содержанию Al_2O_3 : полуокислые, с содержанием от 14 до 21 %, и полуосновные с содержанием от 21 до 28 %;
- выявлены особенности грансостава АПГиА, полученные методом лазерной дифракции при различных способах подготовки проб. Установлено, что в сравнении с традиционным пипеточным методом, метод лазерной дифракции даёт меньшее содержание фракции менее 1 мкм и является более объективным;
- установлены технологические свойства АПГиА, которые зависят от степени литификации породы, соотношения неразмокаемых и диспергированных частиц,

образующихся в процессе технологической переработки. На основе этого даны предложения по методике испытаний данного сырья;

- установлены и теоретически обоснованы основные технологические факторы управления процессом получения изделий с заранее заданными свойствами различными способами формования. Для пластического формования такими факторами являются: соотношение неразмокаемых и диспергированных частиц и температура обжига; для компрессионного формования: фракционный состав измельчённой породы, степень уплотнения сырца и температура обжига. Предел прочности при сжатии изделий при варьировании вышеуказанных факторов в принятых технологических интервалах ($T_{\text{обж.}}$ 900-1100 °С, $P_{\text{пресс.}}$ 10-40 МПа, степень измельчения – 0-0,16 – 0-1,25 мм) может изменяться в очень широких пределах: $R_{\text{сж.}}$ – от 30 до 250 МПа, $R_{\text{изг.}}$ – от 10 до 50 МПа;

- установлены закономерности химико-минералогических преобразований и формирования фазового состава черепка. Установлено, что помимо стеклофазы, происходит образование железистых разновидностей силлиманита – $(\text{Al,Fe})_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$; кордиерита – $2(\text{Mg,Fe})\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$; муллита – от $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ до $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, калиево-натриевых полевых шпатов и др. Облик кристаллов данных минералов игольчатый и таблитчатый. Установлены факторы, определяющие формирование структуры черепка. Показано, что отдельные зерна, выполняющие роль отошителя, хорошо спекаются практически без пор, образуясь между крупными зёрнами;

- установлено положительное влияние минерализующих добавок и плавней первого рода (колеманит, апатит, стеклопорошок) на процессы спекания и свойства изделий, вводимых в керамические массы на основе АПГиА и малую эффективность тонкодисперсных карбонатных добавок. Ввод 1-2 % колеманита или 5-10 % стеклопорошка позволяет получать дорожный кирпич до 1050 °С обжига.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- выделены основные типы месторождений АПГиА: это традиционные природные месторождения, которые целенаправленно изучались и разведывались для производства керамзита; техногенные месторождения шахтных отвалов – терриконы и побочные продукты их переработки, сформировавшиеся при добыче угля и третий тип месторождений, это попутное сырьё и отвалы при разработке других полезных ископаемых, с которыми они генетически связаны;

- вовлечение АПГиА в производство позволит существенно расширить сырьевую базу для клинкерного кирпича, а у геологоразведочных организаций появится возможность для целенаправленного поиска данного вида сырья и переоценки уже существующих месторождений;

- предложена методика подбора технологических параметров, позволяющая получать максимально плотную структуру черепка и изделия с весьма высокими прочностными характеристиками;

- разработаны технологические схемы производства клинкерного кирпича на основе АПГиА с себестоимостью единицы продукции 8-12 рублей, которые могут быть укомплектованы российским оборудованием;

- материалы диссертационной работы используются в учебном процессе при проведении занятий по дисциплинам «Основы технологии строительной керамики», «Технология грубой строительной керамики», «Основные направления развития

строительной керамики», «Проектирование предприятий», а также при выполнении курсовых и дипломных работ.

Методология и методы диссертационного исследования. В работе использован комплексный подход, включающий анализ современных научных достижений и практических результатов по данной проблеме. Проведён детальный анализ сырьевой базы для получения клинкерного кирпича. Лабораторные испытания выполнялись на аттестованном и поверенном оборудовании по общепринятым и предложенным автором методикам. При проведении экспериментов применялось математическое моделирование. Применялись рентгенографические, электронно-микроскопические и другие современные методы исследований. Лабораторные результаты подтверждались опытно-промышленными испытаниями.

Положения, выносимые на защиту:

- установленные особенности свойств АПГиА, обусловленные их химико-минералогическим составом, структурой, степенью литификации при различных способах изготовления изделий;
- закономерности формирования структуры черепка, обусловленные тем, что отдельные нераспустившиеся зерна, выполняющие роль отошителя, хорошо спекаются без пор, которые являются основным фактором увеличения водопоглощения и которые в основном образуются в межзерновом пространстве, изначально заполненном более тонкодисперсными фракциями;
- выявленные закономерности химико-минералогических преобразований и формирования фазового состава черепка, и положительное влияние интенсификаторов спекания, плавней первого рода и минерализующих добавок;
- разработанные технологические принципы и схемы производства клинкерного кирпича на основе АПГиА;
- результаты опытно-промышленной апробации ресурсосберегающих способов производства клинкерного кирпича с технико-экономическим обоснованием инновационности работы.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность полученных результатов основана на использовании общепринятых, стандартных и предложенных автором методик, применении современных методов исследований с использованием поверенного и аттестованного оборудования, использовании фундаментальных основ и законов физхимии силикатов, научных положений литологии, использовании математических методов планирования экспериментов и статистических методов обработки результатов, большом объёме экспериментальных работ, результатах опытно-промышленной апробации.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены на следующих конференциях: МНПК «Строительство и архитектура – 2014-2017» (Ростов н/Д, РГСУ, ДГТУ); XIX МНПК студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» СТТ–2013, 2014 (Томск, ТПУ); МНПК «Развитие керамической промышленности России – КЕРАМТЭКС–2013-2017» (Москва, 2013 г.; Ростов н/Д, 2014 г.; Казань, 2015 г.; Челябинск, 2016 г.; Чебоксары, 2017 г.); XVII, XVIII, XX ВНПК по направлению «Технология художественной обработки материалов» (Иркутск, 2014 г., Кострома, 2015 г., Ростов н/Д, 2017 г.); Научная конференция студентов и молодых учёных с меж-

дународным участием «Актуальные проблемы наук о Земле» (Ростов н/Д; 2015 г.); XVII и XVIII МНТК: «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (Тула, ТГУ, 2016 г., 2017 г.); ВНИК с международным участием «Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России» (Новокузнецк, СибГИУ, 2016 г.); XVI Международная конференция «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий» (Макеевка, 2017 г.); XII Международная научная конференция молодых учёных (Пенза, ПГУАС, 2017 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 печатных работы, в том числе 10 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России и международные базы цитирования. Получены патент на изобретение РФ и положительное решение на выдачу патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 185 наименований, 5 приложений. Работа изложена на 199 страницах машинописного текста, содержит 13 таблиц, 89 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности работы, определены цель и задачи исследований, представлена научная новизна, показана теоретическая и практическая значимость, отражены положения, выносимые на защиту, приведены критерии достоверности результатов проведенных исследований, представлены данные об апробации результатов работы, её структуре и объёме.

В первой главе представлен анализ литературных источников и состояние вопроса по теме исследований. Показана история производства и значение клинкерного кирпича в современном строительстве, дана классификация и требования к дорожному и стеновому клинкерному кирпичу, описаны сырьевые материалы и современные технологии для его производства. Отмечается большой вклад многих учёных в развитие теории и практики строительной керамики. На основе этого определены основные тенденции для развития данного сегмента промышленности строительных материалов. Анализ общей ситуации по данному направлению, позволил сделать вывод, что развитие производства клинкерного кирпича в традиционном русле малоперспективно. Связано это с тем, что для производства клинкерного кирпича, пригодными являются средне- и сильносжигающиеся глины, с кремнезёмистым модулем ($\text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{RO}_2$) 3-4,5, без вредных примесей и с хорошими технологическими свойствами. Такие глины являются дефицитными и малораспространёнными и используются для производства тонкой керамики. Важным моментом является возможность максимального использования отечественного оборудования при комплектовании технологических линий и возможность получать клинкерный кирпич низкотемпературного спекания (до 1100 °C), что позволит обжигать изделия в типовых печах для стеновой керамики и соответственно снизить себестоимость продукции. Поисковые работы в этом направлении, позволили обратить внимание на аргиллитоподобные глины и аргиллиты (АПГиА) как на перспективное сырьё для производства клинкерного кирпича. По литературным данным приводится их краткая характеристика – происхождение, химико-минералогический состав, распространённость и типы месторождений.

На основании литературных данных и результатов, ранее проведённых исследований, была сформулирована следующая **рабочая гипотеза**: получение клинкерного кирпича с широким диапазоном свойств возможно за счёт предлагаемой ресурсо- и энергосберегающей технологии из плохо размокающего камнеподобного глинистого сырья – аргиллитоподобных глин и аргиллитов, образовавшихся в результате эпигенеза и катагенеза глин, обладающих плотной структурой, особым вещественным составом и технологическими свойствами.

Во второй главе представлена структурно-методологическая схема проведения исследований по получению клинкерного кирпича на основе АПГиА. Приведены методики проведения исследований, обоснован выбор сырьевых материалов. Обоснованием при выборе АПГиА для исследований послужил анализ ранее проведённых работ, литературные данные, а также геологические материалы ТФГИ Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Всего за время исследований было изучено около 30 различных месторождений и проявлений АПГиА. В качестве базовых были выбраны Азербайджанское (Краснодарский край), Жирновское и Замчаловское месторождения (Ростовская область), отличающихся по степени литификации, размокаемости, составу и технологическим свойствам.

В третьей главе приведены результаты исследований по определению химико-минералогического состава, структуры и керамических свойств АПГиА.

Особенностью химического состава является повышенное содержание Al_2O_3 – от 16 до 27 % за счёт присутствия каолинита, повышенное содержание K_2O – от 2,5 до 4,3 % за счёт присутствия гидрослюдов и слюд, и повышенное содержание оксидов железа – от 4 до 7 %. Практически всегда в них содержится углефицированная органика – 1-2 %. Содержание оксида кремнезёма – SiO_2 , изменяется в достаточно узких пределах – от 51 до 61 %. Общее его содержание складывается из кремнезёма, входящего в состав глинистых минералов, в состав слюд, полевых шпатов, плагиоклазов и других алюмосиликатов, и кремнезём, представленный кварцем. Учитывая достаточно большой интервал содержания оксида алюминия в АПГиА, и то что данный показатель безусловно имеет отражение на технологических свойствах, представляется целесообразным их разделение и классификация по данному признаку. По аналогии с ГОСТ 9169-79 «Сырьё глинистое для керамической промышленности. Классификация» это может быть группа с содержанием Al_2O_3 от 14 до 21 %, названная полукислой, и группа от 21 до 28 %, названная полуосновной. Общее содержание оксидов железа складывается из содержания в связанном состоянии в структуре глинистых минералов (глауконит, иллит, нонтронит и др.), в виде примесей оксидов и гидроксидов и в небольшом количестве в виде сульфидов – пирит, халькопирит. Повышенное содержание оксидов железа предполагает более внимательно относиться к режиму обжига. При температурах выше 1100 °С из Fe_2O_3 частично происходит удаление кислорода, что содействует вспучиванию.

Общее содержание щелочеземельных оксидов в АПГиА складывается из их содержания в структуре глинистых минералов и наличием карбонатов в самой породе, это в основном CaO в виде кальцита – $CaCO_3$. В нашем случае его содержание составляет от 0,7 до 5,9 %, оксида магния 0,8 до 2,2 %. Щелочные оксиды – Na_2O и K_2O , в основном входят в состав глинистых минералов. Содержание оксида калия в гидрослюде составляет 8-10 %. Оксид натрия в основном входит в состав натриево-

го монтмориллонита – бейделлита и альбита. Именно щелочи являются наиболее сильными плавнями и их количеством определяется в значительной степени температура спекания и огнеупорность. В нашем случае, содержание K_2O составляет от 2,5 % до 4,3 %, Na_2O – от 0,5 до 1,8 %. Серный, фосфорный ангидрит и оксид титана присутствуют в АПГиА в незначительных количествах (доли процента).

Если оценивать АПГиА по химическому составу – количественным молярным отношениям Al_2O_3/SiO_2 и сумме оксидов $R_2O + RO + Fe_2O_3$, следуя рекомендациям Августиника А.И., получается, что основная часть АПГиА попадает в область черепичных глин, меньшая часть в область сырья пригодного для производства плитки для пола, труб, кислотоупора, каменного товара и небольшая часть в область кирпичного сырья, которая частично пересекается с областью черепичных глин (рис. 1).

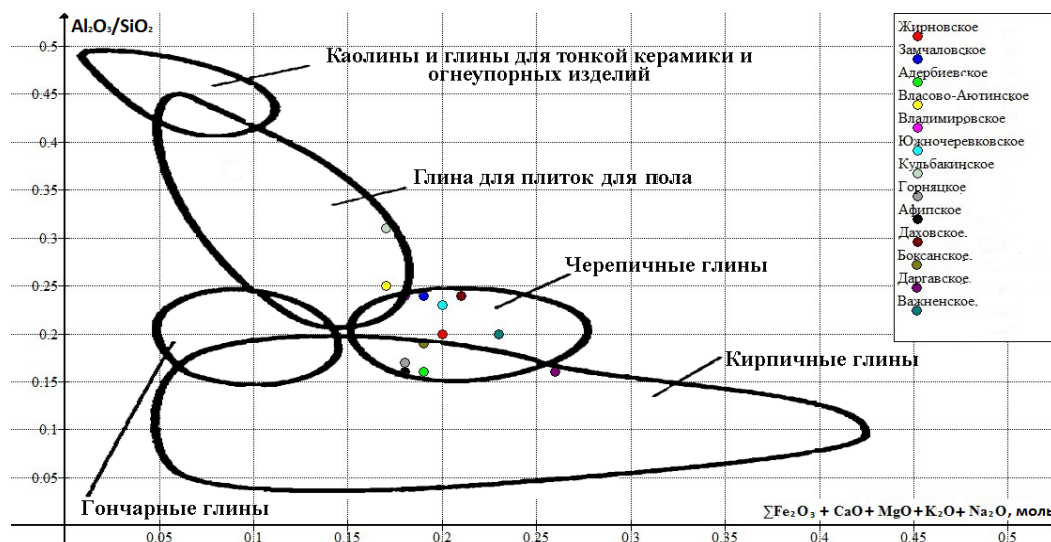


Рис. 1. Назначение глин в зависимости от их химического состава по А.И. Августинику (цветными точками выделены месторождения АПГиА)

Минералогический состав АПГиА представлен несколькими минералами. Гидрослюда (иллит) присутствуют во всех образцах, на что указывают пики 2,56; 4,48 и 9,98 Å (рис. 2). Они являются основными минералами. Гидрослюда представлены двумя морфологическими типами: изометричный, являющийся аллотигенной составляющей, и удлинённо-пластинчатый – являющийся, продуктом катагенетического процесса преобразования монтмориллонита. В некоторых разновидностях АПГиА диагностируется натриевая разновидность иллита – браммаллит. В воде частицы иллита хорошо распускаются. Практически всегда присутствует хлорит, клинохлор, шериданит (7,10; 3,53; 13,7; 4,68 Å и др.). Большинство проб АПГиА содержат каолинит (7,13; 3,556; 2,33 Å). У некоторых слаболитифицированных проб АПГиА диагностируется в небольшом количестве монтмориллонит. Во всех пробах диагностируется кварц (3,34; 4,24; 2,45; 2,28; 2,123; 1,668; 2,23; 1,975 Å), полевые шпаты (ортоклаз – 3,18; 4,02; 3,80 Å; альбит – 3,21; 4,11; 2,96; 4,11; 2,96; 1,35; анортит – 3,21; 2,509; 2,13; Å).

В сравнении с традиционным глинистым сырьём АПГиА имеют свои специфические особенности, которые необходимо учитывать при их оценке как сырья для керамических изделий. В сухом виде они достаточно прочные (5-20 МПа), но при увлажнении прочность меняется. Цвет большинства видов АПГиА серый, иногда с

голубоватым или зеленоватым оттенком, тёмно-серый. Структура в большинстве случаев алевро-пелитовая. Текстура ориентированная, слоистая, неяснослоистая, местами беспорядочная (рис. 3). Часто макроскопически можно наблюдать чешуйки слюды ориентированные по плоскостям напластования.

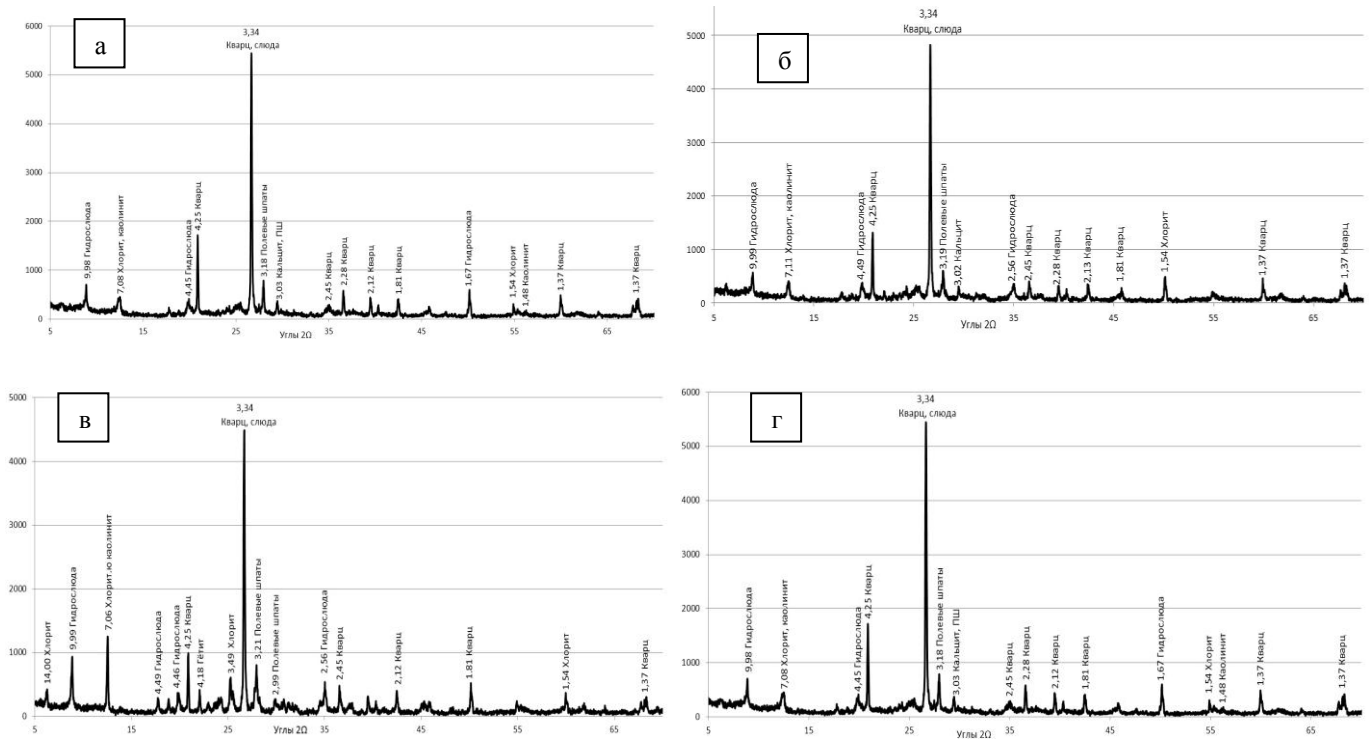


Рис. 2. Рентгенограммы АПГиА Азербайджанского (а), Жирновского (б), Замчаловского (в) и Даховского (г) месторождений

Особенностью АПГиА является их плохая размокаемость в воде. Наши наблюдения показали, что при многократном увлажнении и высыхании аргиллитоподобные глины медленно расщепляются и распадаются на мелкие отдельности, способные при слабом механическом воздействии (растирание руками) диспергироваться и образовывать пластичную массу. Аргиллиты диспергируются при сильном механическом воздействии с образованием малопластичной массы. При этом, в породах часто встречаются линзовидные прослойки глинистого вещества, которое легко диспергируется. Это важная особенность данного сырья. Основываясь на большом объёме научно-экспериментальных исследований нами предлагается выделить 4 группы пород по размокаемости: медленноразмокающие, среднеразмокающие, трудноразмокающие и неразмокающие. В целом же, можно констатировать, что АПГиА имеют свои особенности по составу, структурным и физическим свойствам в сравнении с другими видами глинистого сырья.

Проведённые испытания показали, что АПГиА, могут классифицироваться как сырьё с высоким содержанием и средних по размеру крупнозернистых включений. Однако можно говорить, что содержание крупнозернистых включений по общепринятой методике не является объективным. По нашему мнению, необходимо измельчать сырьё до фракции 0-1,25 или 0-2,5 мм, имитируя производственный процесс, и уже потом производить промывку и рассев.

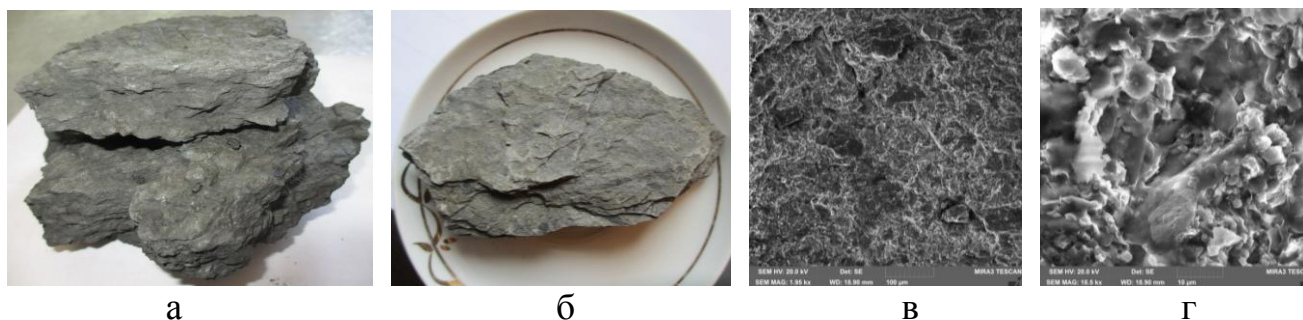


Рис. 3. Неяснослоистая текстура АПГ Жирновского (а) и слоистая аргиллитов Замчаловского (б) месторождений и их электрономикроскопические снимки (в, г)

Как показали результаты исследований, определение грансостава АПГиА седиментационным пипеточным методом не является достоверным. Применённый нами метод лазерной дифракции является более объективным и данное сырьё является практически грубодисперсным. Определение грансостава проводили при разном времени диспергирования и обработки ультразвуком. В таблице 1 приведены условия проведения опытов. Результаты для некоторых из исследованных проб АПГиА показаны в графическом виде на рисунке 4.

Таблица 1 – Условия определения гранулометрического состава

Условия проведения измерений	Циклы диспергации и обработки ультразвуком									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время диспергации, с:										
механической	30	90	150	210	270	330	390	390	390	390
ультразвуком	—	—	—	—	—	—	—	30	90	150

АПГиА являются сырьём малочувствительным и в меньшей степени среднечувствительным к сушке, обладают низкой формовочной влажностью, небольшой воздушной усадкой, имеют невысокую пластичность и связывающую способность. Данные свойства изменяются от степени измельчения исходного сырья – с увеличением степени измельчения увеличивается воздушная усадка, пластичность, формовочная влажность, улучшается связность. В целом же, дообжиговые свойства являются вполне благоприятными для технологии керамики. Формовку изделий можно проводить любым из существующих промышленных способов.

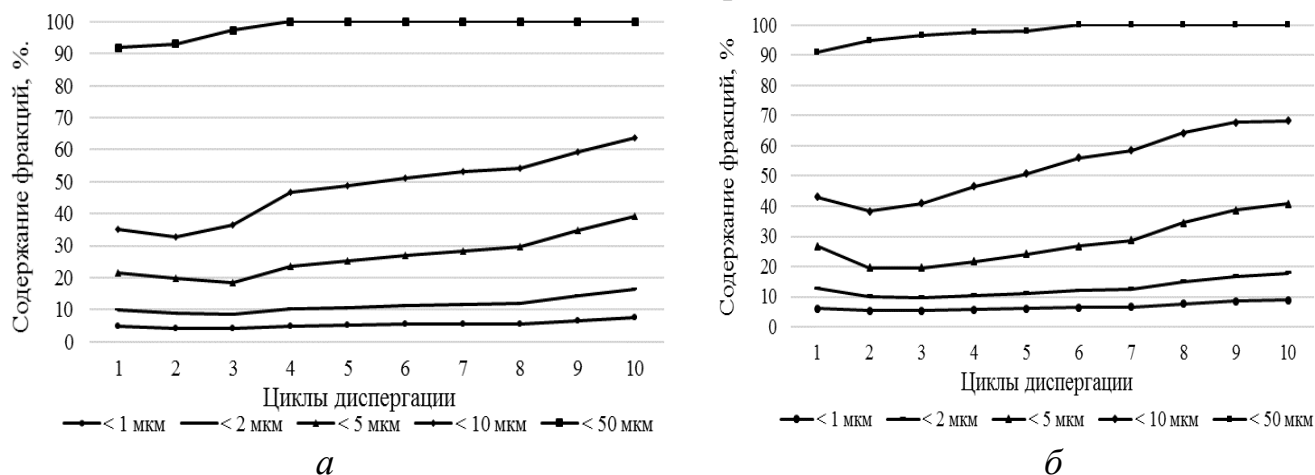


Рис. 4. Гранулометрический состав камнеподобных глинистых пород: а – Адербиевское; б – Замчаловское месторождение

На физико-механические свойства обожжённых изделий при пластическом способе формования основное влияние оказывают 2 фактора: степень измельчения исходного сырья и температура обжига (рис. 5). Прочность обожжённых образцов на основе АПГиА достаточно высока ($R_{сж.}$ 60-180 МПа, $R_{изг.}$ 20-40 МПа) и вполне достаточна как для стенового, так для дорожного клинкерного кирпича. За счёт более тонкого измельчения, в интервале фракций 0-1,25 – 0-0,16 мм, предел прочности при сжатии образцов увеличивается в среднем в 1,5-3,5 раза, а при изгибе в 1,6-2,6 раза. В интервале температур от 900 до 1100 °С предел прочности при сжатии увеличивается в 2,2- 4,6 раз, предел прочности при изгибе в 2,0-3,8 раз. Падение прочности при температуре 1150 °С обусловлено пережогом, небольшим вспучиванием и деформацией образцов. Данные дефекты в меньшей степени наблюдаются при медленном обжиге. Высокая прочность на изгиб обусловлена на наш взгляд наличием удлиненно-пластинчатых гидрослюд и слюдистых минералов в составе АПГиА.

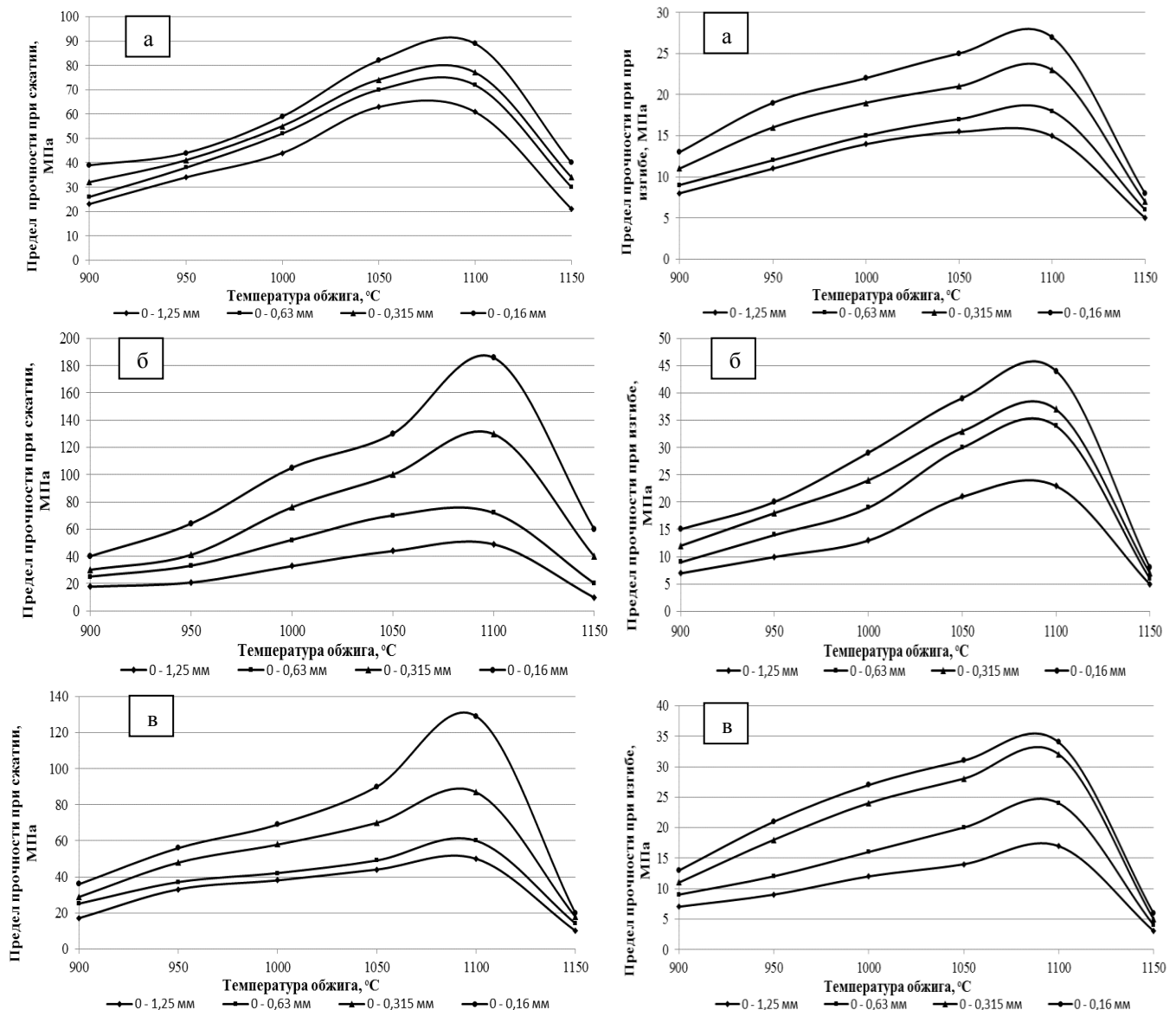


Рис. 5. Зависимость предела прочности образцов при сжатии и изгибе от степени измельчения и температуры обжига: а – Адербиевское; б – Жирновское; в – Замчаловское месторождение

Показатели по водопоглощению для стенового клинкерного кирпича (менее 6 %) достигаются в зависимости от степени измельчения при температурах обжига 980-1060 °С, для дорожного клинкерного кирпича (менее 2,5 %) 1050-1100 °С (рис. 6). Средняя плотность спёкшегося (водопоглощение < 2,5 %) полнотелого клинкерного кирпича на основе АПГиА достаточно высокая и превышает нормируемое значение 2100 кг/м³. Это обусловлено плотной структурой АПГиА. Этим же обусловлена и относительно небольшая огневая усадка (2-6 %). Основным технологическими факторами для этих показателей является температура обжига.

В работе применены методы математического планирования экспериментов. Нами, на основании полученных результатов, для различных видов АПГиА и различных свойств материала, было выполнено моделирование поверхностей (графики получены с помощью квадратичного сглаживания), построены модели линий уровня, которые представляют собой проекции трехмерных поверхностей на двумерную плоскость. Также получены уравнения, описывающие эти поверхности – в нашем случае с достоверностью более 98 %. Для примера, ниже представлены уравнения и моделированные поверхности для Жирновского месторождения:

$$R_{\text{сж.}} = 7910 + 118,3X - 24,2Y - 332,6X^2 + 0,611XY + 0,0241Y^2 - 167,5X^3 + 0,7552X^2Y - 0,001086XY^2 - 7,667 \cdot 10^{-6}Y^3;$$

$$R_{\text{изгиб}} = 4348 + 52,33X - 13,31Y + 94,26X^2 - 0,1946XY + 0,0135Y^2 - 34,54X^3 - 0,01727X^2Y + 8,164 \cdot 10^{-5}XY^2 - 4,5 \cdot 10^{-6}Y^3;$$

$$W = -2252 + 3,565X + 6,918Y - 43,14X^2 + 0,06769XY - 0,007014Y^2 + 3,473X^3 + 0,0327X^2Y - 5,9 \cdot XY^2 + 2,35 \cdot 10^{-6}Y^3.$$

Зависимости представляют собой многомерные изогнутые плоскости, которые практически вначале из одной точки расширяются, достигая максимальной ширины, а потом сходятся опять же в одну точку (рис. 7). На практике и в физическом смысле это объясняется так. При самом грубом измельчении (в нашем случае фракция 0-1,25 мм) и минимальной температуре обжига (в нашем случае 900 °С) изделия имеют минимальную прочность и максимальное водопоглощение. Затем поле для варьирования данных технологических факторов увеличивается, достигая своего максимума в диагональном разрезе по линии максимальная температура и наиболее грубое измельчение с увеличением прочности и снижения водопоглощения. После чего поле для варьирования сужается до точки при самом тонком измельчении (в нашем случае фракция 0-0,16 мм) и максимальной температуре обжига (в нашем случае 1100 °С), где изделия имеют максимальную прочность и минимальное водопоглощение при условии отсутствия дефектов на изделиях

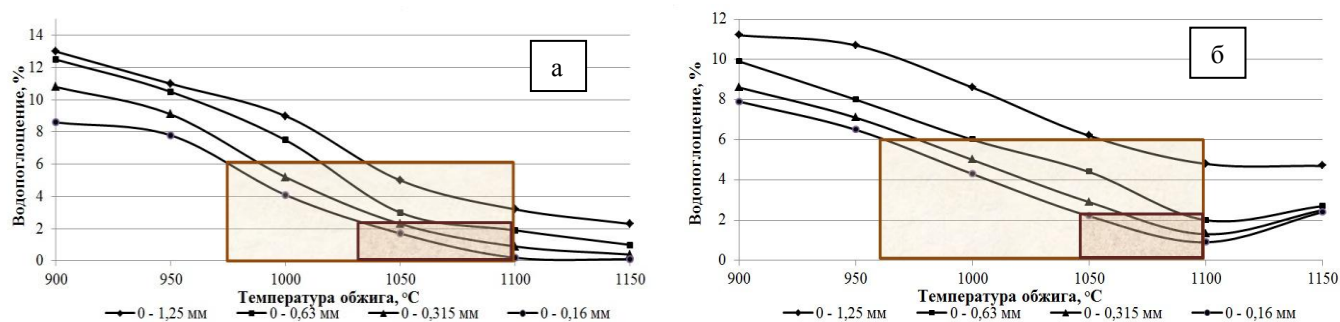


Рис. 6. Зависимость водопоглощения от степени измельчения и температуры обжига: а – Жирновское; б – Замчаловское месторождение. – область стенового клинкерного кирпича. – область дорожного клинкерного кирпича

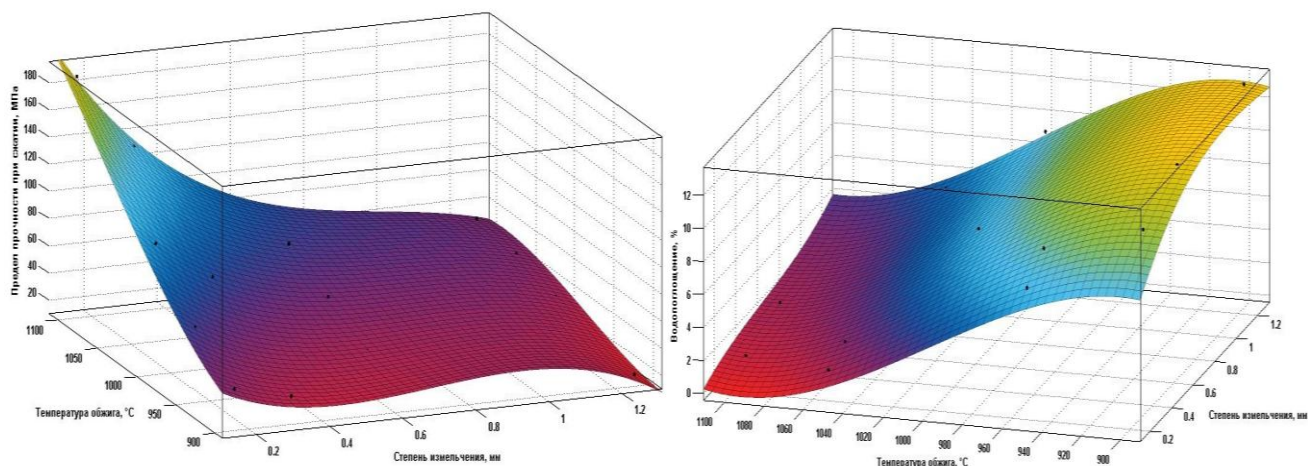


Рис. 7. Моделированные поверхности, влияния температуры обжига и степени измельчения на предел прочности при сжатии и водопоглощение

Полученные результаты позволили сделать заключение, что получение дорожного клинкерного кирпича с водопоглощением 1,5-2,0 % возможно при температуре обжига до 1050 °C и фракционном составе сырья 0-0,63 мм. Снижение температуры обжига на наш взгляд можно добиться путём ввода плавней и минерализаторов. Учитывая свойства АПГиА и полученные результаты, является целесообразным провести исследования по получению клинкерного кирпича методом компрессионного формования, являющимся более экономичным.

В четвёртой главе изучены свойства изделий при компрессионном способе формования и вводе плавней. Исследованы фазовые, структурные и химико-минералогические преобразования, происходящие при обжиге.

Проведённые исследования по вводу плавней в сырьевые массы на основе АПГиА показали, что более эффективными являются «прямые» плавни, которые сами плавятся при низкой температуре. Это стеклобой, колеманит и другие материалы. Плавни второго порядка не оказывают значимого влияния на физико-механические свойства изделий.

При содержании колеманита в количестве 1-2 % и температуре обжига 1000 °C достигается водопоглощение менее 6 %, а при 1050 °C менее 1 % для большинства видов АПГиА. Гарантированная прочность на изгиб для дорожного клинкера более 20 МПа, достигается при температурах обжига 1000-1050 °C и содержании колеманита 1-2 %. Результаты экспериментов показали, что при содержании стеклопорошка в количестве 10 %, температуре обжига 1050 °C и степени измельчения исходного сырья до фракции 0-0,63 мм можно гарантировано получить дорожный клинкерный кирпич с водопоглощением менее 1,0-2,0 %. При более тонком измельчении АПГиА водопоглощение будет ещё меньше. Ввод стеклопорошка, также, как и колеманита, увеличивает прочность образцов обожжённых при одинаковых температурах.

АПГиА характеризуются низкими значениями формовочной влажности. Оптимальные значения влажности пресспорошков для слаболигифицированных АПГиА (Адербиевское месторождение) колеблются в интервале 9-10 %, для среднелигифицированных (Жирновское месторождение) в интервале 8-9 %, для сильнолигифицированных (Замчаловское месторождение, собственно аргиллиты) в интервале

7-8 %. Средняя плотность образцов полученных компрессионным формованием на 5-10 % выше в сравнении с образцами пластического формования. При меньшей от оптимальной влажности пресспорошков, также, как и при большей, наблюдаются дефекты образцов, которые особо проявляются при высоком давлении прессования. Так для АПГ Адербиевского месторождения риски появления перепрессовочных трещин и трещин расслаивания резко возрастают при давлениях более 20 МПа, для Жирновского месторождения более 25 МПа, для аргиллитов Замчаловского месторождения более 30 МПа. Это коррелируется со степенью литификации АПГиА – чем более плотная и твёрдая порода, тем выше давление прессования.

Установлено, что чем выше плотность отпрессованных образцов в пересчёте на твёрдую фазу, тем выше прочность и ниже водопоглощения обожжённых образцов. Обожжённые изделия компрессионного формования имеют прочность выше на 15-30 % и меньшее водопоглощение в сравнении с образцами пластического формования обожжённых при одинаковых температурах. По результатам математического планирования эксперимента были построены модели поверхностей плотности прессовок, которые представляют собой проекции трехмерных поверхностей на двумерную плоскость (рис. 8).

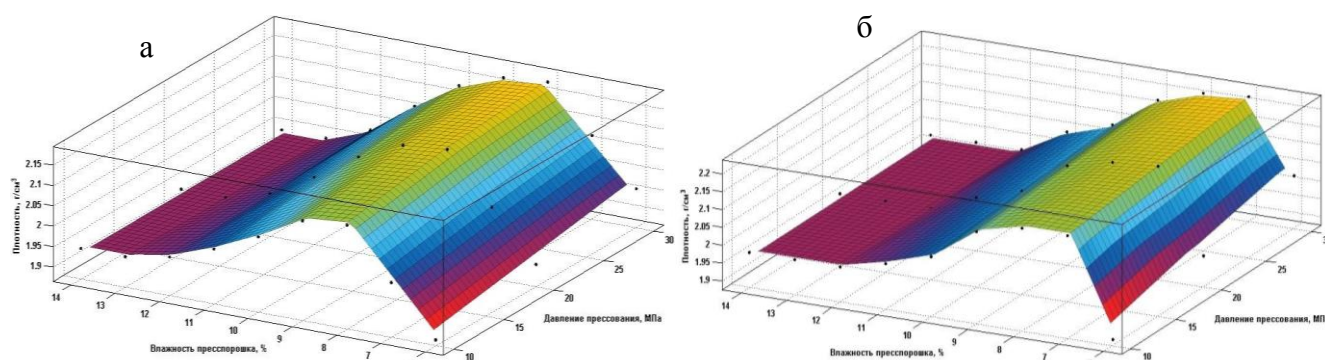


Рис. 8. Моделированные поверхности влияния влажности пресспорошка и давления прессования на плотность прессовок: а – Жирновское; б – Замчаловское месторождения

На полученных моделях видно, что с повышением давления растёт плотность прессовок и здесь ограничением является появление дефектов на изделиях или возможности оборудования. С увеличением влажности также возрастает плотность прессовок, доходя до максимума, а затем начинает снижаться, устанавливаясь на определённой величине. Полученные результаты свидетельствуют, что при производстве клинкерного кирпича на основе АПГиА более предпочтительным является способ компрессионного формования изделий. Прочность образцов обожжённых при температуре 1050 °С, в зависимости от степени измельчения, составляет 60-160 МПа при сжатии, и 18-45 МПа при изгибе. Основными технологическими факторами являются: степень измельчения сырья; формовочная влажность пресспорошка; давление прессования; количество добавки; температура обжига. Оптимизируя эти факторы можно говорить, что стеновой клинкерный кирпич мы можем получить при температурах 950-1000 °С, дорожный – при температурах 1000-1050 °С.

Процессы и преобразования, происходящие при обжиге АПГиА, изучались с помощью современных методов исследований. По результатам термического анализа, особенностью, АПГиА является размытый эндоэффект в районе 700-750 °С (рис.

9). По нашему мнению, это связано с удалением гидроксильной воды из кристаллической решётки каолинита. Смещение этого эндоэффекта в область высоких температур обусловлено агрегатным состоянием этого минерала. Наблюдается прямая зависимость между размером частиц и температурой рассматриваемого эффекта – чем крупнее частицы, тем выше температура эндотермического эффекта каолинита. Крупный размер частиц каолинита способствует в большей степени образованию муллита, чем шпинелей. В интервале температур 700-1100 °С происходят достаточно многообразные процессы. Это помимо, дегидратации глинистых и слюдяных минералов, окисление железа в биотите, перекристаллизация хлорита в структуры оливинового типа, образование железистой шпинели, кордиерита, муллита, и т.д. Небольшой плавный экзоэффект в районе 850-950 °С у многих проб связан с образованием на основе хлорита фаялита (железистый оливин) и перекристаллизацией аморфных продуктов разрушения гидрослюда с образованием минералов со структурой шпинели и муллита. Слюда даже после дегидратации сохраняют свою структуру вплоть до температур 1000 °С, что видно даже без увеличения.

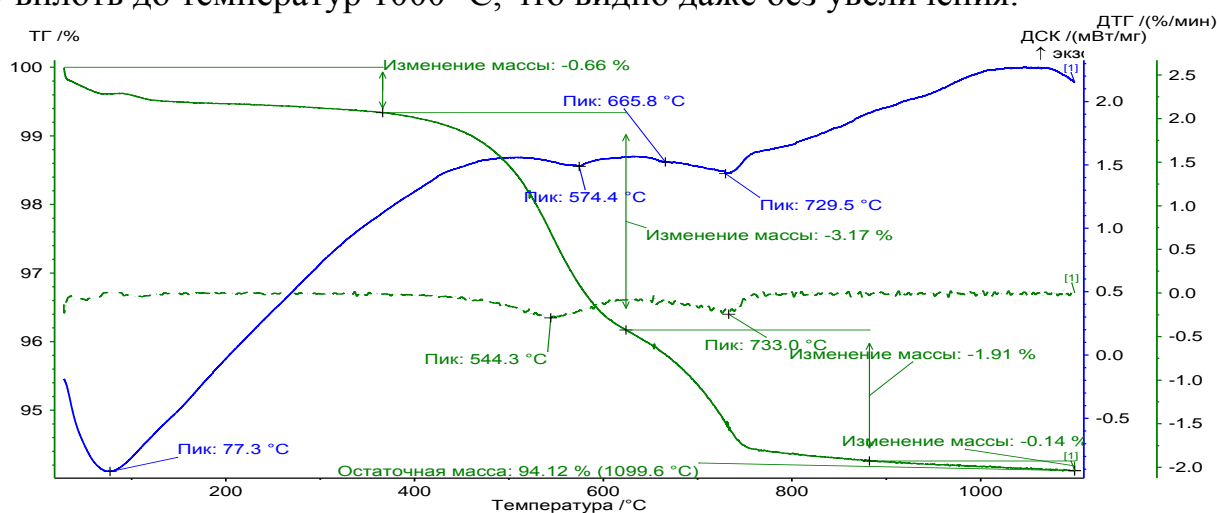


Рис. 9. Термограмма Жирновского месторождения аргиллитоподобных глин

Особенности химико-минералогического состава АПГиА определяют формирование особого фазового состава черепка. Наличие каолинита, гидрослюдистых и слюдяных минералов предусматривает повышенное содержание оксида алюминия, который существенно расширяет интервал спекания и способствует образованию особых кристаллических фаз, а также оксида калия, который является сильным плавнем и является интенсификатором образования стеклофазы. Изначально плотная структура аргиллитоподобных глин определяет хорошее спекание зёрен второго порядка. На рис. 10 в качестве примера приведены рентгенограммы АПГ Жирновского месторождения, обожжённой при различной температуре. Как видно, за счёт глинистых минералов и кварца, интенсивность пиков которого существенно снижается с повышением температуры (3,34; 1,813; 1,539; 4,24; 2,45; 2,28 Å), формируются новые минеральные фазы – железистые разновидности силлиманита, муллита, кордиерита (3,70; 3,42; 3,38 Å), полевые шпаты (3,18-3,22 Å). Данные минералы в силу своей морфологии существенно увеличивают предел прочности при изгибе образцов. При температуре обжига 1000 °С пики, характерные для слюд, отсутствуют. Гидрослюды и слюды, аморфизуясь и оплавляясь при обжиге, до определённой температуры сохраняют форму своих кристаллов, что также

4. Существенное снижение количества, связанное с большим содержанием интенсивность которого составляет черепок в тёмные 5 Å, что связано с кри-

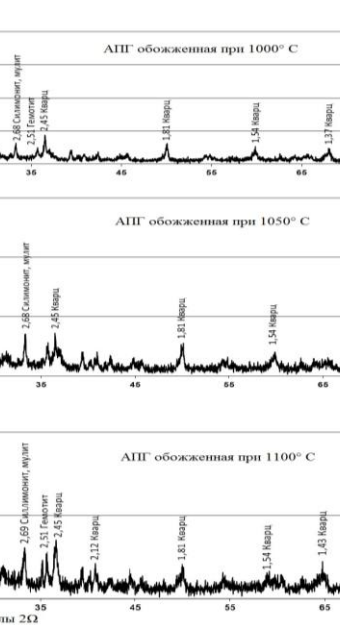
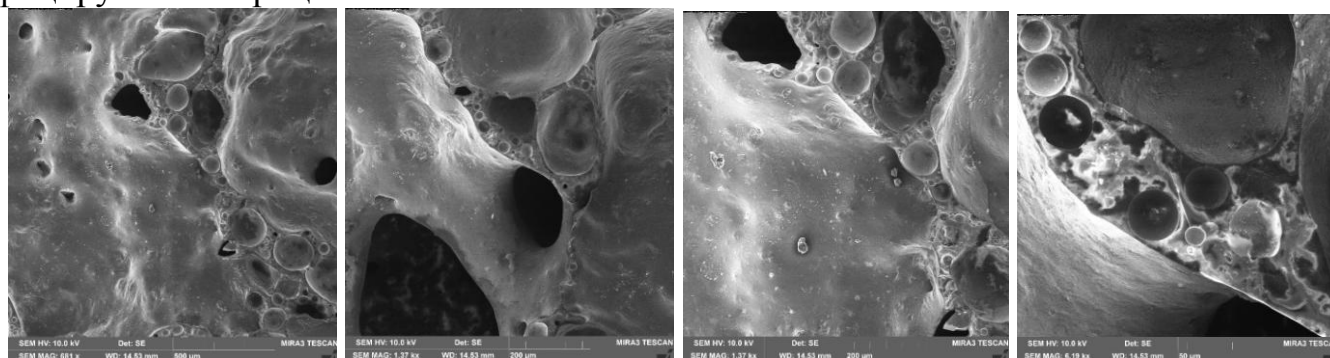


Рис. 10. Рентгенограммы природной и обожжённой аргиллитоподобной глины

ть разделено условно на
ек керамической массы,
жду крупными. Чёткой
ой состав масс является
о массу без пор и с по-
е окатанной, то мелкие
ры (процесс спекания),
е замкнутые формы. Бо-
ификацией, что хорошо
мых» плавней интенсифи-



вского месторождения,

При вводе доломита, как установлено, во взаимодействие с ним вступают только тонкодисперсные фракции. Это закономерно и хорошо видно под микроскопом (рис. 12). Общая масса не имеет однородной окраски, а крупные частички как бы оторваны от общей массы. По нашему мнению, это обусловлено различной огневой усадкой крупных зёрен и тонких зёрен, смешанных с доломитом. Этим можно объяснить уменьшение прочности образцов при вводе доломита.

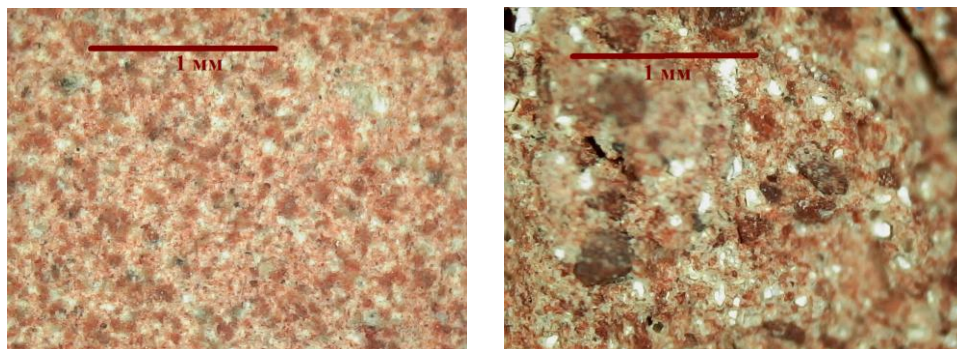


Рис. 12. Фотографии образцов, обожжённых при температуре 1050 °С на основе аргиллитов Замчаловского месторождения с содержанием 15 % доломита

Проведённые исследования позволили выявить механизм формирования состава и микроструктуры черепка на основе АПГиА и добавочных материалов, что позволяет прогнозировать получение изделий с необходимыми свойствами.

В пятой главе представлена разработанная вариативная технологическая схема производства клинкерного кирпича на основе АПГиА, показаны результаты опытно-промышленных испытаний и внедрения, приведены основные технологические параметры и свойства клинкерного кирпича опытных партий и выпускаемого регулярно, дано обоснование экономической целесообразности вовлечения АПГиА для производства клинкерного кирпича.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведённой работы разработаны технологические принципы и доказана возможность производства стенового и дорожного клинкерного кирпича на основе аргиллитоподобных глин и аргиллитов с использованием энерго- и ресурсосберегающих технологий и базовых основ технологии керамики.

2. Установлено, что АПГиА обладают своеобразным химико-минералогическим составом, который характеризуется повышенными содержаниями Al_2O_3 – от 17 до 23 %, K_2O – от 2,5 до 4,3 %, оксидов железа – от 4 до 7 %, наличием каолинита и гидрослюд двух видов: изометричной и удлиненно-пластинчатой с постоянным присутствием хлорита, глауконита, кварца, плагиоклазов, и редко, в небольшом количестве монтмориллонита. Предложена классификация по содержанию Al_2O_3 : на полуокислые, с содержанием от 14 до 21 %, и полуосновные с содержанием от 21 до 28 %.

3. Проведенные исследования позволили разделить АПГиА с учётом их дообжиговых свойств на три группы по степени литификации – слаболитифицированные, среднелитифицированные и сильнолитифицированные и по степени размокаемости на 4 группы – медленоразмокающие, среднеразмокающие,

трудноразмокающие и неразмокающие. Определение грансостава АПГиА методами лазерной дифракции и седиментационным пипеточным методом показали, что первый метод является более объективным, а АПГиА в большинстве случаев относятся к группе грубодисперсного сырья.

4. Установлено, что АПГиА являются малочувствительным и в меньшей степени среднечувствительным к сушке сырьём, обладают низкой формовочной влажностью, небольшой воздушной усадкой и характеризуются невысокой пластичностью и связывающей способностью. Данные свойства зависят от степени измельчения сырья и являются благоприятными для технологии керамики. Формование изделий можно проводить любым из существующих способов.

5. Установлено, что на физико-механические свойства обожжённых изделий основное влияние оказывают 2 фактора: степень измельчения сырья и температура обжига. Прочность обожжённых образцов на основе АПГиА достаточна как для стенового, так для дорожного клинкерного кирпича – $R_{сж.}$ 60-180 МПа, $R_{изг.}$ 20-40 МПа. Высокая прочность на изгиб обусловлена наличием удлиненно-пластинчатых гидрослюд и слюдистых минералов в составе АПГиА. Требуемое водопоглощение для стенового клинкерного кирпича (менее 6 %) достигается, в зависимости от степени измельчения, при температурах обжига 980-1060 °С, для дорожного клинкерного кирпича (менее 2,5 %) – 1050-1100 °С.

6. Выявлено, что более эффективными для снижения температуры обжига и усиления спекания являются плавни 1-го рода или «прямые» плавни, т.е. те, которые сами плавятся при низкой температуре. Это стеклобой, колеманит и другие аналогичные материалы. Плавни 2-го рода не оказывают значимого влияния на физико-механические свойства изделий до температур обжига 1050 °С. Главной причиной этого, на наш взгляд, является достаточно грубодисперсный состав измельчённого сырья для образования легкоплавких эвтектик.

7. Установлено, что пресспорошки на основе АПГиА обладают низкой формовочной влажностью. Оптимальные значения влажности пресспорошков для слаболитифицированных АПГиА колеблются в интервале 9-10 %, для среднелитифицированных – 8-9 %, для сильнолитифицированных – 7-8 %.

8. Установлено, что при производстве клинкерного кирпича на основе АПГиА более предпочтительным является способ компрессионного формования изделий. Определено, что обожжённые изделия компрессионного формования имеют прочность на 15-30 % выше и меньшее водопоглощение в сравнении с изделиями пластического формования, обожжённых при тех же температурах. Прочность образцов, обожжённых при температуре 1050 °С в зависимости от вида АПГиА и степени измельчения, составляет 60–160 МПа при сжатии, и 18-45 МПа при изгибе. Основными технологическими факторами при этом являются: степень измельчения сырья; формовочная влажность пресспорошка; давление прессования; количество добавки; температура обжига.

9. Выявлен механизм формирования состава черепка, характеризующегося наличием железистых разновидностей силлиманита, муллита, кордиерита, и микроструктуры черепка на основе АПГиА, что позволило прогнозировать получение изделий с необходимыми свойствами. Выявлены особенности спекания, которое условно разделено нами на 2 структурных типа: 1-й тип – это спекание крупных час-

тичек керамической массы, 2-й – это спекание мелких частичек, которые располагаются между крупными, с образованием округлых замкнутых пор.

10. Разработана вариативная технологическая схема производства клинкерного кирпича на основе АПГиА, которая предусматривает производство изделий всеми способами при полусухом и комбинированном способах подготовки сырьевых масс. Предложены оптимальные режимы обжига изделий, в результате чего достигаются заданные свойства при наименьших энергетических затратах. Проведённый анализ показал экономическую целесообразность вовлечения аргиллитоподобных глин и аргиллитов для производства клинкерного кирпича и его высокую конкурентоспособность в сравнении с аналогами.

Рекомендации по использованию результатов работы. Результаты диссертационного исследования рекомендованы для внедрения в промышленность строительной керамики, при проектировании и строительстве новых предприятий, при поисках новых и переоценке существующих сырьевых ресурсов для производства клинкерного кирпича и других изделий стеновой керамики.

Перспективы дальнейшей разработки темы. На основании полученных результатов можно выделить следующие перспективные направления по данной теме: оценка техногенного сырья угольного ряда для производства клинкерного кирпича; поиск новых добавочных материалов (плавней, минерализаторов и т.д.) для снижения себестоимости клинкерного кирпича; поиск добавочных материалов и технологических приёмов для расширения цветовой палитры; работы по использованию аргиллитоподобных глин и аргиллитов в качестве добавочных материалов для улучшения качества выпускаемых изделий строительной керамики различного назначения; исследование аргиллитоподобных глин и аргиллитов для производства керамической черепицы, фасадных плит, высокопрочного лицевого кирпича.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

Статьи в ведущих научных журналах, рекомендуемых ВАК

1. Котляр, А. В. Методика испытаний камневидного сырья для производства стеновых изделий компрессионного формования / В. Д. Котляр, Ю. В. Терёхина, А. В. Котляр // Строительные материалы. – 2014. – № 4. С. – 24-27.

2. Котляр, А. В. Аргиллитоподобные глины юга России – перспективное сырьё для производства клинкерного кирпича / В. Д. Котляр, А. В. Козлов, А. В. Котляр Ю. В. Терёхина, // Научное обозрение. – 2014. – № 7. С. – 847-850.

3. Котляр, А. В. Особенности камневидных глинистых пород Восточного Донбасса как сырья для производства стеновой керамики / В. Д. Котляр, А. В. Козлов, А. В. Котляр, Ю. В. Терёхина // Вестник МГСУ. – 2014. – № 10. – С. 95-105.

4. Котляр, А. В. Минерально-сырьевая база литифицированных глинистых пород Юга России для производства строительной керамики / Б. В. Талпа, А. В. Котляр // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 31-33.

5. Котляр, А. В. Особенности свойств, применение и требования к клинкерному кирпичу / В. Д. Котляр, Ю. В. Терёхина, А. В. Котляр // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 72-74.

6. Котляр, А. В. Особенности химического состава аргиллитоподобных глин и аргиллитов / А. В. Котляр, Б. В. Талпа, Я. В. Лазарева // Строительные материалы. – 2016. – № 4. – С. 10-13.

7. Котляр, А. В. Технологические свойства аргиллитоподобных глин при производстве клинкерного кирпича / А. В. Котляр // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 2 (55). – С. 164-175.

8. Котляр, А. В. Особенности гранулометрического состава камнеподобного глинистого сырья, определяемого методом лазерной дифракции / В. Д. Котляр, А. В. Козлов, А. В. Котляр // Стекло и керамика. – 2017. – № 4. – С. 21-27.

9. Котляр, А. В. Минералого-технологические особенности литифицированных глинистых пород и перспективы их использования в качестве сырья для производства строительной керамики / Ю. В. Терёхина, Б. В. Талпа, А. В. Котляр // Строительные материалы. – 2017. – № 4. – С. 8-10.

10. Котляр, А. В. Особенности компрессионного формования тонкодисперсных продуктов углеобогащения при производстве керамического кирпича / Х. С. Явруян, Е. С. Гайшун, А. В. Котляр // Строительные материалы. – 2017. – № 12. – С. 14-17.

Патенты на изобретения и полезные модели

11. Патент на изобретение № 2616041 (RU). Технологическая линия для производства керамических изделий на основе камнеподобного сырья / А. В. Котляр, А. В. Козлов, Ю. В. Терёхина и др. – Оpubл. 12.04.2017, Бюл. № 11.

12. Решение о выдаче патента РФ на изобретение «Керамическая масса» / А. В. Котляр, А. В. Козлов, Ю. В. Терёхина и др. – Заявка № 201711002103/03(017656) от 27.03.2017 г.

Материалы конференций и другие издания

13. Котляр, А. В. Влияние степени измельчения аргиллитоподобных глин Жирновского месторождения на прочность черепка / А. В. Котляр, Я. В. Черевкова, В. А. Мирина, Н. С. Каргин // Материалы междунар. научно-практической конференции «Строительство – 2014», Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ. – 2014. – С. 54-57.

14. Котляр, А. В. Камневидные глинистые породы Восточного Донбасса перспективное сырьё для производства стеновой керамики / А. В. Котляр, Б. В. Талпа // Сборник трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле», Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ. – 2015. – С. 49-51.

15. Котляр, А. В. Особенности аргиллитоподобных глин юга России как сырья для производства клинкерного кирпича / А. В. Котляр, Б. В. Талпа // Сборник трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ – 2015. – С. 51-53.

16. Котляр, А. В. Перспективы развития производства клинкерного кирпича в России / Каргин Н. С., Котляр А. В., Терехина Ю. В. // Сборник трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и преподава-

телей по направлению «Технология художественной обработки материалов», Кострома: Изд-во КГТУ. – 2015. – С. 523-524.

17. Котляр, А. В. Технологическая линия по производству клинкерного кирпича на основе аргиллитоподобных глин / А. В. Котляр, Н. С. Каргин // Материалы международной научно-практической конференции «Строительство и архитектура – 2015», Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ. – 2015. – С. 73-75.

18. Котляр, А. В. Классификация камнеподобного глинистого сырья по степени размокаемости / А. В. Котляр, А. В. Козлов // Сборник материалов XVII Международ. научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности» Тула: Изд-во ТГУ. – 2016. – С. 79-80.

19. Котляр, А. В. Типы месторождений камнеподобного глинистого сырья / А. В. Котляр, Я. В. Лазарева // Сборник материалов XVII Международ. научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности», Тула: Изд-во ТГУ. – 2016. – С. 80-81.

20. Котляр, А. В. Генезис и общая характеристика аргиллитоподобных глин как сырья для производства клинкерного кирпича / А. В. Котляр // Вестник Тувинского государственного университета. – 2016. – № 3. – С. 14-21.

21. Котляр, А. В. Влияние апатитового концентрата на спекаемость аргиллитоподобных глин и аргиллитов / А. В. Котляр // Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России», Новокузнецк: Изд-во СиБГИУ. – 2016. – С. 38-43.

22. Котляр, А. В. Применение доломита в производстве клинкерного кирпича на основе аргиллитоподобных глин и аргиллитов / А. В. Котляр, А. Ю. Ионов, Р. А. Яценко // Сборник тезисов докладов по материалам конференции «Научно технические достижения студентов строительной-архитектурной отрасли». Макеевка.: ДонНАСА. – 2017. – С. 115-116.

23. Котляр, А. В. Применение апатита при производстве дорожного клинкерного кирпича на основе аргиллитов и аргиллитоподобных глин / А. В. Котляр, А. Ю. Ионов, Р. А. Яценко // Сборник тезисов докладов по материалам конференции «Научно технические достижения студентов строительной-архитектурной отрасли». Макеевка: Изд-во ДонНАСА. – 2017. – С. 204.

24. Котляр, А. В. История производства, дизайн и значение клинкерного кирпича в современном строительстве / А. В. Котляр // Сборник трудов XX-ой Национальной научно-практической конференции по направлению подготовки «Технология художественной обработки материалов». Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ. – 2017. – С. 67-70.

Подписано в печать 13.03.2018.
Формат 60 × 84/16. Объем л. 1,0. усл. печ. л.
Тираж 120 экз. Заказ № 59
Отпечатано в издательском центре Донского
государственного технического университета.
344000, г. Ростов н/Д, пл. Гагарина, 1