

**С.А. Монтаев¹, Б.Т. Шакешев^{2*}, А.А. Таудаева¹,
М.Ж. Рыскалиев¹, С.М. Жарылгапов¹**

¹ Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

² Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан

Информация об авторах:

Монтаев Сарсенбек Алиякбарулы – доктор технических наук, профессор Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-5072-8989>, email: montaevs@mail.ru

Шакешев Бекбулат Темержанович – кандидат технических наук, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7470-9221>, email: bekshakeshev@mail.ru

Таудаева Айнура Амангалиева – докторант, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-3373-9509>, email: taudaeva1980@mail.ru

Рыскалиев Муратбай Жанайдарович – Ph.D., Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-3361-2076>, email: muratbai_84@mail.ru

Жарылгапов Сабит Муратович – Ph.D., Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-3104-6568>, email: sabit.raisa@mail.ru

**РОЛЬ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ДОБАВОК В ПОЛУЧЕНИИ
СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТОЙ ПОРОДЫ – ОПОКИ**

Аннотация. Установлены основные закономерности изменения физико-механических свойств керамических масс в интервале температур обжига 850 -1150 °С в композиции опоки Таскалинского месторождения - глины Погодаевского месторождения – золы-унос Екибастузкого ГРЭС. Установлено, что с повышением температур повышается показатель средней плотности и повышения прочности при сжатии.

Ключевые слова: опока, глина, зола-унос, керамическая масса, температура, обжиг, коэффициент теплопроводности, керамика.

Введение

В последнее время резко возросла потребность в новых энерго- и ресурсосберегающих пористых и пустотелых керамических строительных материалах, обеспечивающих в процессе их производства значительное снижение расхода сырья и энергозатрат на сушку и обжиг.

Проблема развития производства этих материалов связана с необходимостью привязки современных технологий к местному сырью, отсутствием однозначных требований к выбору сырья, научных и технологических основ их производства.

В развитых странах за счет увеличения пористости керамических материалов позволили значительно снизить среднюю плотность материала и достичь к показателям теплопроводности до 0,14-0,18 Вт/(м°С).

Для характеристики порового пространства в керамике наиболее часто применяют следующие понятия: общая пористость, открытая и закрытая пористость, капиллярная и проницаемая пористость, эффективная и канальная пористость, фактор лабиринта и фактор структуры, величина пор и их распределение по размерам, средний размер пор, удельная поверхность, газопроницаемость, водопроницаемость.

Изучению пористости посвящено значительное число исследований в различных областях науки и промышленного производства. Однако вопросы формирования пористости и ее конечной структуры в изделиях строительной керамики изучены недостаточно [1, 2].

Керамические материалы и изделия класса пористой керамики должны обладать повышенной пористостью (обычно более 30%), которую, как правило, создают преднамеренно [3]. Поры могут занимать от нуля до 90% общего объема изделий. Из всего многообразия характеристик структуры материала одним из наиболее важных являются количественные значения показателей, характеризующих поровую структуру материала [4]. Из указанных характеристик важнейшими являются пористость, форма и размер пор. Размер пор в керамических материалах изменяется в широких пределах от долей нанометров до нескольких миллиметров. Форма пор сложна и весьма разнообразна: закрытые, открытые проницаемые, открытые тупиковые. В керамике различного назначения роль строения неодинаковы [5].

Формирование спеченной структуры керамических материалов, определяющие его конечные физико-механические свойства, формируется на стадии обжига.

При этом процесс структурообразования и скорость основных термических процессов зависит от множества факторов. Процесс обжига керамических масс сопровождается диффузии твердых, жидких и газообразных веществ через газовые, твердые и жидкие фазы, частичным плавлением легкоплавких минералов, образованием новых кристаллических фаз за счет взаимодействия реагирующих компонентов.

В достижении необходимых температур немаловажную роль играют способы подвода теплоты, конструкции печи, физические свойства обжигаемых материалов, как теплоемкость и теплопроводность, а также термические эффекты кристаллизации.

Общеизвестно, что характер изменений, претерпеваемых глинами при нагревании, определяется наличием в материале тех или иных глинистых минералов и примесей.

Фазовые превращения в глинах начинаются при температуре 600⁰С. Они связаны с аморфизацией глинистого вещества. При температуре 600⁰С глинистые минералы теряют кристаллизационную воду. Обожженный при температуре 800⁰С и выше материал представляет собой изотропную массу, в которой встречаются отдельные стекловидные участки.

Образования новых соединений за счет взаимодействия оксидов железа с глиноземом и кремнеземом происходит при температуре обжига выше 1000⁰С.

Однако при разработке новых композиционных составов с использованием нетрадиционных сырьевых ресурсов возникает объективная необходимость проведения научно-экспериментальных работ для установления основных закономерностей изменения процессов структурообразования путем исследования изменения физико-механических свойств в зависимости от температуры обжига [6-8].

Целью исследования является влияние температуры обжига на изменения физико-механических свойств керамической композиции в системе кремнистая порода – опока – монтмориллонитовая глина – зола унос для получения эффективной стеновой керамики.

Материалы и методы

В начальном этапе были проведены исследования по изучению физико-механических свойств и химико-минералогических характеристик выбранных сырьевых материалов. Ниже приводятся результаты проведенных исследований.

Комплекс исследований по определению химико-минералогического состава исследуемых сырьевых материалов проводились в Южно-Казахстанском государственном университете имени М. Ауэзова (г. Шымкент). Для определения локального элементного состава образцов опоки был использован метод растровой электронной микроскопии (РЭМ) марки JSM-6390LV с энергодисперсионным микроанализом, для определения химического элементного состава был использован метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой марки ICP-MS Agilent 7500cx. Для определения минералогического состава был использован метод рентгеновской дифрактометрии марки X'Pert PRO MPD.

Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов проводился с помощью специального аппарата ДРОН-3.

Для проведения научно-экспериментальных работ в качестве сырьевых материалов использованы кремнистые породы-опоки Таскалинского месторождения, монтмориллонитовая глина Погадаевского месторождения и зола – унос Экибастузского ГРЭС.

По результатам рентгенофазового анализа (РФА) (рис. 1) установлено, что минералогический состав глины представлен в основном монтмориллонитом $d/n=5,06; 4,46; 3,79; 3,06; 2,45; 2,28; 2,12; 1,97; 1,81; 1,67 \text{ \AA}^0$. Кроме того в составе глины присутствует кварц (SiO_2) $d/n=4,24; 3,34; 2,45; 2,28; 2,12; 1,98; 1,81; 1,66; 1,33 \text{ \AA}^0$, гематит (Fe_2O_3) $d/n= 2,69; 1,83; 1,68; 1,59 \text{ \AA}^0$ и гидрослюда $d/n= 3,21; 2,57; 2,12; 1,49 \text{ \AA}^0$

Кремнистая порода – опока Таскалинского месторождения представляет собой легкую, твердую, микропористую горную породу. Согласно геологическим данным опоки залегают в палеогеновых и меловых отложениях, образуются в морских бассейнах за счет уплотнения и цементации диатомитов и трепелов.

Их плотность составляет 1,3-1,5 г/см³. Белые или серые, зеленоватые легкие породы с редкими остатками диатомовых водорослей, радиолярий и спикул губок.

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что в качестве основного минерала присутствует аморфный кремнезем (SiO₂).

Зола-унос Екибастузкой ГРЭС представляет собой – рыхлый порошкообразный материал черно-серого цвета и обладают следующими физико-механическими свойствами золы: удельная поверхность золы – 3200-3700 см²/г, истинная плотность – 1,75-1,84 г/см³, насыпная плотность – 675-740 кг/м³.

Гранулометрический состав золы % при размере частиц, мм: более – 0,25 – 5,98%; 0,25-0,05 – 34,8%; 0,05-0,01 – 43,07%; 0,01-0,005 – 6,55%; 0,005-0,001 – 6,40%; менее 0,001 – 4,35.

В таблице 1 представлены результаты определения кристаллических фаз в золе.

Таблица 1 – Минеральный состав золы уноса Екибастузской ГРЭС

№	Наименование образца	Название кристаллических фаз	Химическая формула
1	Зола унос Екибастузской ГРЭС	Quartz alpha, alpha-Si O ₂ ; Mullite, syn	SiO ₂ Al _{4.44} Si _{1.56} O _{9.78}

Для проведения научно-экспериментальных работ сырьевые материалы сначала сушились в сушильном шкафу при температуре 90-100 °С до остаточной влажности 5-7%. Затем кремнистая порода-опока и монтмориллонитовая глина подвергались предварительному измельчению с помощью лабораторной щековой дробилки до получения фракции 10-25 мм. После измельчения оба сырья подвергались помолу в лабораторной шаровой мельнице до полного прохождения через сито 1,0 мм. Зола-унос Екибастузской ГРЭС использовались без измельчения из-за их высокой дисперсности.

Исследованию подвергались керамическая смесь следующего состава, мас. %: кремнистая порода – опока – 80, зола-унос – 10, монтмориллонитовая глина – 10.

Компоненты керамической смеси взвешивались с помощью электронных весов и высыпались в сферическую чашу и насухо перемешивались до получения гомогенной смеси. Затем в смесь добавлялась вода в количестве 10-12% от массы сухих компонентов. Затем керамическая смесь тщательно перемешивались до получения однородной влажной смеси. Из полученной керамической массы формовались образцы цилиндры с размером 50x50x50мм методом полусухого прессования. Давление прессования составляло 15 МПа.

Отформованные образцы обжигались в электрической муфельной печи без предварительной сушки со скоростью подъема температур 80°С в час. Образцы обжигались при температурах 850, 950, 1050 и 1150°С. При каждой температуре образцы выдерживались в течение одного часа. Остывание обожженных образцов осуществлялись при отключенной печи до комнатной температуры. После обжига образцы подвергались испытанию по определению наиболее важных физико-механических свойств керамики как средняя плотность кг/м³, прочность при сжатии, МПа, водопоглощение, % и теплопроводность, Вт/(м°С).

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных научно-экспериментальных работ и зависимости средней плотности (кг/м^3), прочности при сжатии (МПа), водопоглощений (%) и коэффициента теплопроводности керамической композиции в интервале температуры обжига 850-1150 $^{\circ}\text{C}$ приведены на рисунке 1.

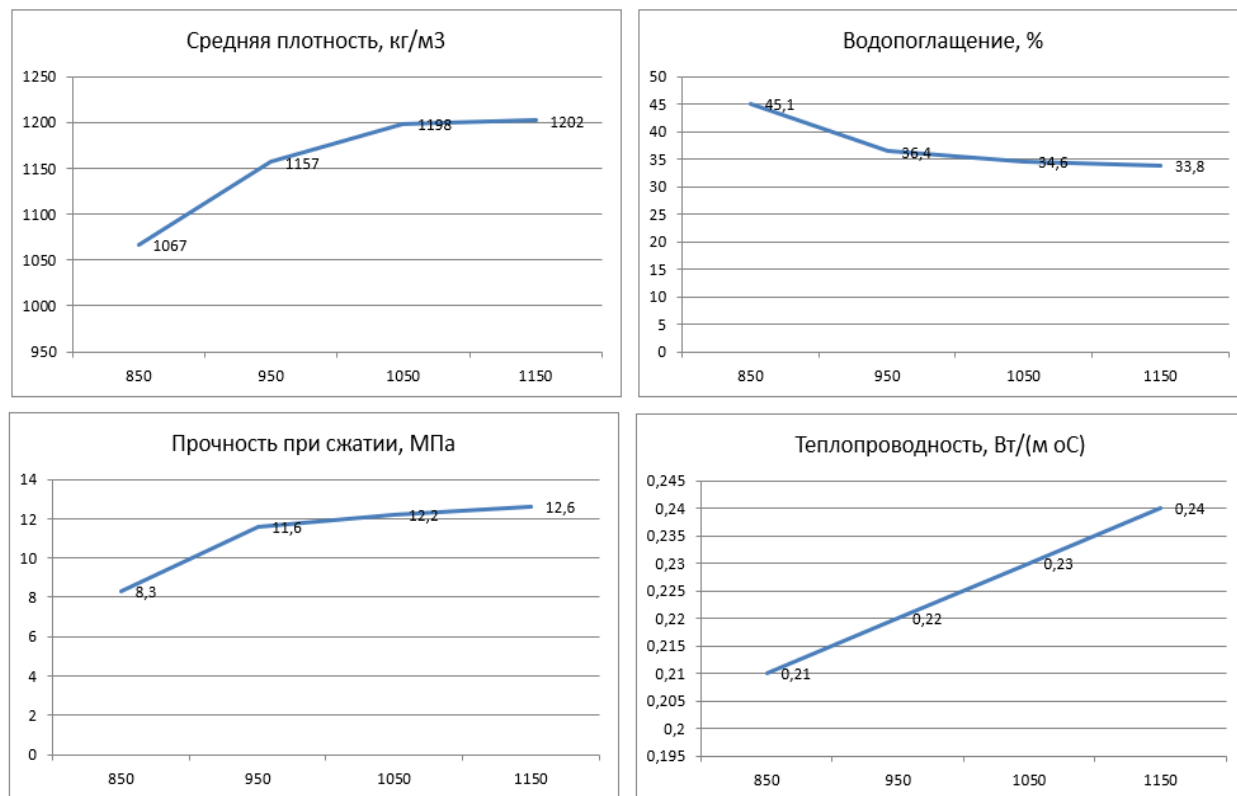


Рисунок 1 – Зависимости физико-механических свойств керамической композиции в интервале температуры обжига 850-1150 $^{\circ}\text{C}$ [материал авторов]

Как показывают результаты научно-экспериментальных работ, при температуре в интервале температур 850-1150 $^{\circ}\text{C}$ средняя плотность образцов постепенно возрастает от 1067 до 1202 кг/м^3 .

Так же наблюдается рост прочности при сжатии с повышением температур обжига от 850 до 1150 $^{\circ}\text{C}$. Повышение составляет от 8,3 до 12,6 МПа. Что касается изменения показателей водопоглощения в интервале температур 850-1150 $^{\circ}\text{C}$, то наблюдается постепенное их снижения от 45,1 до 33,8%. При этом следует отметить, что показатели водопоглощения керамических образцов на основе кремнистых пород-опок значительно выше, чем у традиционных керамических масс на основе глинистых масс. У обычных керамических масс на основе глин при максимальной температуре обжига 950-1000 $^{\circ}\text{C}$ показатели водопоглощения составляет 25-30%.

Особый интерес представляет анализ изменения показателей коэффициента теплопроводности керамических образцов в интервале температуры обжига 850-1150 $^{\circ}\text{C}$.

Несмотря на повышения температуры обжига изменения коэффициента теплопроводности керамических образцов незначительно и составляет от 0,21 до 0,24 Вт/(м °С).

Происходящие процессы объясняется тем, что модифицирующая добавка в виде монтмориллонитовой глины способствует процессу спекания керамической массы, а зола унос способствует образования пористой структуры за счет выгорания несгоревших остатков угля. Кремнистая порода-опока как основной компонент керамической массы обеспечивает легкость и пористость за счет своей естественной природы. В результате керамические образцы, обожженные в интервале температур 950-1050 °С, представляют собой спеченный микропористый черепок обладающими низкими показателями средней плотности, коэффициента теплопроводности и удовлетворительными показателями прочности при сжатии и водопоглощения.

Заключение

Установлены основные закономерности изменения наиболее важных физико-механических свойств нетрадиционных керамических масс в интервале температур обжига 850-1150 °С в системе кремнистая порода – опока Таскалинского месторождения – монтмориллонитовая глина Погадаевского месторождения – зола-унос Екибастузской ГРЭС. Установлено, что с повышением температур повышается показатели средней плотности и повышения прочности при сжатии. При этом средняя плотность и прочность при сжатии образцов обожженных в интервале температур 950-1100 °С составляет в пределах 1157 – 1202 кг/м³ и 11,6-12,6 МПа соответственно. А показатели водопоглощения находится в пределах 36,4-34,6%. Установлено, что образцы обожженные в интервале температур обладают более низкими показателями коэффициента теплопроводности (0,22-0,24 Вт/(м°С) чем образцы традиционных керамических масс на основе глины (более 0,46 Вт/(м°С)).

Согласно ГОСТа 530-2019 «Кирпич и камень керамические. Общие условия» теплотехнические характеристики изделий оцениваются по коэффициенту теплопроводности в сухом состоянии λ Вт/(м °С): до 0,20 — группа высокой эффективности; свыше 0,20 до 0,24 — группа повышенной эффективности; свыше 0,24 до 0,36 — группа эффективные; свыше 0,36 до 0,46 — группа условно-эффективные; свыше 0,46 — группа малоэффективные (обычные).

Как показывают результаты проведенных научно-экспериментальных исследований по теплотехническим характеристикам, керамические образцы исследуемого состава относится к группе повышенной эффективности.

Литература:

1. Абдрахимов В.З. Взаимосвязь пористо-капиллярной структуры и морозостойкости керамических материалов. *Материаловедение*. 2005, 6, 19-24.
2. Абдрахимова Е.С. Влияние усадочных напряжений при формировании водонепроницаемой структуры кислотоупоров. *Огнеупоры и техническая керамика*. 2004, 10, 29-31.
3. Гузман И.Я. *Химическая технология керамики*. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2003, 496 с.

4. Сенина М.О. и др. Пористый керамический материал со слоистой структурой. Успехи в химии и химической технологии. 2014, 23, 8, 80-82.
5. Абдрахимова Е.С., Рощупкина И.Ю., Абдрахимов В.З., Кайракбаев А.К., Колпаков А.В. Влияние топливосодержащих отходов на структуру пористости теплоизоляционного материала. Строительные материалы и технологии. 2018, 2(76), 113-120.
6. Сулейменов С.Т. Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах и минеральных отходах промышленности. М.: Моноскрипт, 1996, 298 с.
7. Сайбулатов С.Ж. Исследование влияния состава зол на фазовые превращения в золокерамики. Комплексное использование минерального сырья. 1985, 11, 78-81.
8. Самусева М.Н. Золошлаковые материалы – альтернатива природным материалам. Современные проблемы науки и образования. 2009, 2, 24-28.

Reference:

1. Abdrahimov V.Z. Vzaimosvyaz poristo-kapillyarnoy struktury i morozostoykosti keramicheskikh materialov [The relationship of the porous-capillary structure and frost resistance of ceramic materials] Materialovedenie = Materials science. 2005, 6, 19-24. (in Russ.)
2. Abdrahimova E.S. Vliyaniye usadochnykh napryazheniy pri formirovaniy vodonepronitsae-moy strukturyi kislotouporov [The influence of shrinkage stresses in the formation of a waterproof structure of acid-resistant materials] Ogneuporyi i tehnikeskaya keramika = Refractories and technical ceramics. 2004, 10, 29-31. (in Russ.)
3. Guzman I.Ya. (2003) Himicheskaya tehnologiya keramiki [Chemical technology of ceramics] - M.: OOO RIF «Stroymaterialy», 496. (in Russ.)
4. Senina M.O. et. al. Poristyiy keramicheskiy material so sloistoy strukturoy [Porous ceramic material with a layered structure] Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii = Advances in chemistry and chemical technology. 2014, 23, 8, 80-82. (in Russ.)
5. Abdrahimova E.S., Roschupkina I.Yu., Abdrahimov V.Z., Kayrakbaev A.K., Kolpakov A.V. Vliyaniye toplivosoderzhaschih othodov na strukturu poristosti teploizolyatsionnogo materiala [The effect of fuel-containing waste on the porosity structure of thermal insulation material] Stroitelnyie materialy i tehnologii = Construction materials and technologies. 2018, 2(76), P. 113-120. (in Russ.)
6. Suleymenov S.T. (1996) Fiziko-himicheskie protsessy strukturoobrazovaniya v stroitelnykh materialakh i mineralnykh othodov promyshlennosti [Physico-chemical processes of structure formation in building materials and mineral wastes of industry] - M.: Monuskript, 298. (in Russ.)
7. Saybulatov S.Zh. Issledovanie vliyaniya sostava zol na fazovyye prevrascheniya v zoloke-ramiki [Investigation of the effect of the composition of ash on the phase transformations into ash ceramics] Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syrya = Complex use of mineral raw materials. 1985, 11, 78-81. (in Russ.)
8. Samuseva M.N. Zoloshlakovyie materialy – alternativa prirodnyim materialam [Ash and slag materials are an alternative to natural materials] Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education. 2009, 2, 24-28. (in Russ.)

**С.А. Монтаев¹, Б.Т. Шакешев^{2*}, А.А. Таудаева¹,
М.Ж. Рыскалиев¹, С.М. Жарылгапов¹**

¹ Жәңгір хан атынд. Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

² Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан

Авторлар туралы ақпарат:

Монтаев Сәрсенбек Әлиақбарұлы – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0001-5072-8989>, email: montaevs@mail.ru

Шакешев Бекбулат Темержанович – техника ғылымдарының кандидаты, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7470-9221>, email: bekshakeshev@mail.ru

Таудаева Айнура Аманғалиева – докторант, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-3373-9509>, email: taudaeva1980@mail.ru

Рысқалиев Муратбай Жанайович – Ph.D., Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-3361-2076>, email: muratbai_84@mail.ru

Жарылғапов Сабит Муратович – Ph.D., Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-3104-6568>, email: sabit.raisa@mail.ru

КРЕМНИЙЛІ ЖЫНЫС- ОПОКАҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ТИІМДІЛІГІ ЖОҒАРЫ ҚАБЫРҒА КЕРАМИКАСЫН АЛУДАҒЫ ТҮЗЕТУШІ ҚОСПАЛАРЫНЫҢ РӨЛІ

Аңдатпа. *Керамикалық массалардың физика-механикалық қасиеттерінің өзгеруінің негізгі заңдылықтары кремнийлі опока- монтмориллонитті саз балшығы – күл-қалдық жүйесіндегі 850-1150 °C күйдіру температуралары аралығында анықталды. Температураның жоғарылауымен орташа тығыздық көрсеткіштері артып, сығымдау күші жоғарылайды.*

Түйін сөздер: *опока, саз, күл-қоқыс, керамикалық масса, температура, күйдіру, жылу өткізгіштік коэффициенті, керамика.*

**S.A. Montaev¹, B.T. Shakeshev², A.A. Taudaeva¹,
M.Zh. Ryskaliev¹, S.M. Zharylgapov¹**

¹ West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan,
Uralsk, Kazakhstan

² West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan

Information about the authors:

Montaev Sarsenbek Aliakbarovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-5072-8989>, email: montaevs@mail.ru

Shakeshev Bekbulat Temerzhanovich – Candidate of Technical Sciences, West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-7470-9221>, email: bekshakeshev@mail.ru

Taudaeva Ainura Amangalieva – doctoral student, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-3373-9509>, email: taudaeva1980@mail.ru

Ryskaliev Muratbai Janayovich – Ph.D., West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-3361-2076>, email: muratbai_84@mail.ru

Zharylgapov Sabit Muratovich – Ph.D., West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-3104-6568>, email: sabit.raisa@mail.ru

THE ROLE OF CORRECTIVE ADDITIVES IN OBTAINING HIGH-EFFICIENCY WALL CERAMICS BASED ON SILICEOUS ROCK - FLASK

Abstract. *The main regularities of changes in the physico-mechanical properties of ceramic masses in the range of firing temperatures of 850 -1150 oC in the composition of the flask of the Taskalinsky deposit - clay of the Pogodaevsky deposit – ash-entrainment of the Ekibastuzky GRES have been established. It is established that with increasing temperatures, the indicators of average density and increased compressive strength increase.*

Keywords: *flask, clay, fly ash, ceramic mass, temperature, firing, thermal conductivity coefficient, ceramics.*