

МРНТИ 70.27.00

DOI: <https://doi.org/10.62724/202530704>

Максотова Арайлым Бақыткерейқызы*¹

магистр технических наук,

Западно Казахстанский аграрно-технических университет им.Жангир хана
Уральск, Казахстан, maksotova.aray@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-4725-2825

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ КИРПИЧА НА НИЗКОСОРТНЫХ СУГЛИНОК

Аннотация. В статье рассматривается возможности повышения физико-механических свойств керамического кирпича на основе низкосортных суглинков. Изучены особенности использования низкосортных глин, которые обычно не подходят для производства качественного кирпича из-за высокой влажности, низкой прочности и других неблагоприятных характеристик. Рассматриваются методы улучшения этих свойств через добавление различных минеральных добавок, модификации состава глинистой массы и изменения технологических процессов обжига.

Анализируются возможные пути повышения прочности, водо- и морозостойкости, а также улучшения теплоизоляционных характеристик керамического кирпича. Описание экспериментальных исследований включает в себя разнообразные способы воздействия на структуру и состав глины, что способствует увеличению прочности, улучшению плотности и других механических свойств готового кирпича. Исследуются методы повышения экологической безопасности и экономической эффективности производства кирпича на основе низкосортных суглинков. Кроме того, рассматриваются аспекты экологической безопасности и экономической целесообразности применения низкосортного сырья.

Полученные результаты подтверждают, что при правильной технологии обработки и добавлении модифицирующих компонентов возможно значительное улучшение свойств керамического кирпича, что открывает новые возможности для эффективного использования местных природных ресурсов и снижения себестоимости строительных материалов.

Ключевые слова. физико-механические свойства, керамический кирпич, низкосортные суглинки, улучшение свойств, прочность, водо- и морозостойкость, теплоизоляция, минеральные добавки, обжиг, глинистая масса.

КЕРАМИКАЛЫҚ КІРПІШТІҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ТӨМЕН СҰРЫПТЫ САЗДАҚТАРДА АРТТЫРУ МҮМКІНДІКТЕРІ

Максотова Арайлым Бақыткерейқызы*¹

техника ғылымдарының магистрі,

Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті
Орал, Қазақстан, maksotova.aray@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-4725-2825

Аңдатпа. Мақалада төмен сұрыпты саздақтар негізінде керамикалық кірпіштің физика-механикалық қасиеттерін арттыру мүмкіндіктері қарастырылады. Ылғалдылығы жоғары, беріктігі төмен және басқа да қолайсыз сипаттамаларға байланысты сапалы кірпіш өндіруге жарамсыз төмен сортты саздарды пайдалану ерекшеліктері зерттелді. Әр түрлі минералды қоспаларды қосу, саз массасының құрамын өзгерту және

технологиялық күйдіру процестерін өзгерту арқылы осы қасиеттерді жақсарту әдістері қарастырылады.

Керамикалық кірпіштің беріктігін, су мен аязға төзімділігін арттырудың, сондай - ақ жылу оқшаулау өнімділігін жақсартудың мүмкін жолдары талданады. Эксперименттік зерттеулердің сипаттамасы саздың құрылымы мен құрамына эсер етудің әртүрлі тәсілдерін қамтиды, бұл дайын кірпіштің беріктігін арттыруға, тығыздығын жақсартуға және басқа механикалық қасиеттеріне ықпал етеді. Төмен сұрыпты саздақ негізіндегі кірпіш өндірісінің экологиялық қауіпсіздігі мен экономикалық тиімділігін арттыру әдістері зерттелуде. Сонымен қатар, экологиялық қауіпсіздік аспектілері және төмен сортты шикізатты қолданудың экономикалық орындылығы қарастырылады.

Нәтижелер дұрыс өңдеу технологиясымен және модификациялаушы компоненттерді қосу арқылы керамикалық кірпіштің қасиеттерін едәуір жақсартуға болатындығын растайды, бұл жергілікті табиғи ресурстарды тиімді пайдалануға және құрылыс материалдарының құнын төмендетуге жаңа мүмкіндіктер ашады.

Кілт сөздер. Физика-механикалық қасиеттер, керамикалық кірпіш, төмен сортты сазбалшықтар, қасиеттерді жақсарту, беріктік, суға және аязға төзімділік, жылу оқшаулау, минералдық қоспалар, күйдіру, сазды масса.

Maksotova Araylym Bakytkereikyzy*¹

Master of Technical Sciences,

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University

Oral, Kazakhstan, maksotova.aray@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-4725-2825

POSSIBILITIES FOR IMPROVING THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF CERAMIC BRIKS MADE FROM LOW-GRADE LOAMS

Abstract. The article discusses the possibilities of improving the physico-mechanical properties of ceramic bricks based on low-grade loams. The features of using low-grade clays, which are usually not suitable for the production of high-quality bricks due to high humidity, low strength and other unfavorable characteristics, have been studied. The methods of improving these properties through the addition of various mineral additives, modification of the composition of the clay mass and changes in the technological processes of firing are considered.

Possible ways of increasing the strength, water and frost resistance, as well as improving the thermal insulation characteristics of ceramic bricks are analyzed. The description of experimental studies includes a variety of ways to influence the structure and composition of clay, which helps to increase strength, improve density and other mechanical properties of the finished brick. The methods of increasing environmental safety and economic efficiency of brick production based on low-grade loams are being investigated. In addition, aspects of environmental safety and the economic feasibility of using low-grade raw materials are considered.

The results obtained confirm that with the right processing technology and the addition of modifying components, it is possible to significantly improve the properties of ceramic bricks, which opens up new opportunities for the efficient use of local natural resources and reducing the cost of building materials.

Keywords. physicochemical properties, ceramic brick, low-grade loams, property improvement, strength, water and frost resistance, thermal insulation, mineral additives, firing, clay mass.

Введение. Исследование возможностей повышения физико-механических свойств керамического кирпича на основе низкосортных суглинков является актуальным в условиях современного строительства и промышленности. На фоне ограниченности высококачественного глинистого сырья, применение низкосортных суглинков становится не только экономически выгодным, но и необходимым для устойчивого развития строительной отрасли. [1,2]

Европейский опыт показывает положительную динамику на примере стран ЕЭС, так в 2022 году уровень переработки стекла в Европе составлял 80,2% [3].

Результаты проведенных испытаний авторами, показали, что пористость и морфологию пор керамических материалов можно регулировать, просто изменяя содержание порошка из отходов стекла, тем самым влияя на плотность и прочность керамических материалов на сжатие.[4].

В химическом составе отработанного масла присутствуют тяжелые металлы, опасные как для человека, так и для окружающей среды, и, таким образом, поиск альтернативных вариантов утилизации является серьезной проблемой. Авторами был получен керамзитовый гравий с использованием отработанного масла и разработан оптимальный состав лёгкого бетона.[5]

Исследование [6] было проведено с целью изучения технической осуществимости использования отработанного смазочного масла в низкотехнологичных операциях по производству глиняного кирпича в Южной Африке.

Материалы и методы исследования. В качестве глинистой породы использован суглинок Рубежинского месторождения. В качестве модифицирующих добавок использовали :

- стеклобой фракции 0,315-0,63;
- конгломерат в смеси стеклобоя и отработанного масла;
- бентонитовая глина Погодаевского месторождения ЗКО

Пробы бентонита были взяты из штабелей материала, хранящегося на складе, методом вычерпывания. Пробу брали лопаткой на глубине не менее 30 см из 20 точек. В каждой точке были отобраны по 5—6 кусков массой около 60 г каждый.

Проба суглинка Рубежинского месторождения отобрана с месторождения из 4 точечных проб. Масса точечной пробы составляла 6 кг. Точечные пробы смешивались для получения объединенной пробы.

Стеклобой дробили из отходов тарного и боя стекла, предварительно промытых и очищенных от бумажных этикеток на дробильном оборудовании на базе научно-исследовательской лаборатории «Строительных материалов и технологий» при ЗКАТУ им. Жангир хана.

Химический состав глинистого сырья Рубежинского и бентонитовой глины Погодаевского месторождений приведены в таблице 1,2.

Таблица 1 – Химический состав глины Рубежинского месторождения ЗКО.

Содержание окислов, % по массе									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Nnn	Сумма
68	11,8	3,6	5,6	1,6	1,5	2,22	-	4,8	99,1

Таблица 2 - Химический состав бентонитовой глины Погодаевского месторождения ЗКО

Наименование сырья	Содержание оксидов, мас.%							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	п.п.п
Бентонитовая глина	61,51	17,06	2,27	3,21	6,36	1,27	3,57	6,75

Определение пластичности проводилось по ГОСТу 21216.1-93 «Сырье глинистое. Методы анализа» и ГОСТу 9169-75 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация». Глина Рубежинского месторождения умереннопластичное с числом пластичности 9,22, бентонитовая глина относится к категории высокопластичных с числом 26,5.

Технологическая подготовка сырцов и методы определения физико-механических свойств

Исследования проводились в различных компонентных сырьевых системах суглинок – бентонитовый порошок – стеклобой и суглинок – когломат.

В таблице 3 представлены предельные содержания компонентов (в мас.%), по которым проводилось исследование.

Таблица 3 - Составы и маркировка образцов

№ состава	Состав композиции	Маркировка состава	Компонентное содержание, %
1	Рубежинская-бентонитовая-стекло	РБ2	90/5/5
		РБ3	90/7/3
		РБ4	90/10/-
2	Рубежинская /стекольный конгломерат	РК	80/20
3	Рубежинская/бентонит	РБ20%	80/20
4	Рубежинская/бентонит	РБ30%	80/30
5	Рубежинская/бентонит/стекло	РБС	70/20/10
6	Рубежинская/ конгломерат	РК ³⁰	70/30
7	Рубежинская/ конгломерат	РК ⁴⁰	60/40
8	Рубежинская/ конгломерат	РК ⁵⁰	50/50

Для составления керамической композиции в системе лессовидный суглинок – бентонитовый порошок – стеклобой, бентонитовую глину и суглинок предварительно высушивали при температуре 90-100°C до постоянной массы. Высушенную глину подвергали помолу в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 1000-1200 см²/г. Стеклобой дробился и отсеивался на ситах 0,315-0,63. Все компоненты смешивались в однородную смесь.

Для получения конгломерата в композиции с отработанным маслом, стекло, предварительно измельченное, смачивали с маслом до получения влажности 12%. Подготовка образцов в виде кубиков с размерами ребер 5x5x5 см осуществляли из сырьевых смесей методом пластичного формования. Влажность масс составляла 12-18% от массы сухих компонентов, давление прессования 15 – 20 МПа.

Сырцовые образцы сушились в сушильной камере при температуре 50-70°C до постоянной массы, затем изделия обжигались в муфельной печи при температурах 1000°C. Скорость подъема температур 1,5-2°C в минуту.

За параметры оптимизации керамических масс принимались: воздушная и огневая усадка, средняя плотность изделий и водопоглощение, как показатель физических свойств смеси и прочность при сжатии готовых изделий и как критерий качества изделий.

Морозостойкость определена с использованием камеры тепла и холода КТХ с микропроцессорным устройством. Температура камеры -17°C – при замораживании и 22°C – при оттаивании. Устройство Камеры тепла и холода обеспечивает высокую точность поддержания заданной температуры и большую степень надежности в работе. Водопоглощение определяли на обожженных образцах в соответствии с ЕН 771-1:2020. В среднем три образца высушивали до постоянной массы. Затем укладывали в сосуд, наполненный водой с температурой (20±5) так, чтобы вода была выше образцов на 2-10 см. Керамические образцы выдерживали в течении 48^{±1} часов. Насыщенные водой образцы вынимались, обтирались сухой тканью и взвешивались.

За значение водопоглощения принимали среднее арифметическое результатов определения водопоглощения с точностью до 1%. Пластичность глин определяли по пределу текучести (ПТ) и пределу пластичности (ПП), которые используются в качестве ориентиров для количественной оценки пластичности глин, определяя соответственно верхний и нижний пределы содержания воды, при которых глина (или почва) является пластичной. Индекс пластичности (ИП) представляет собой разницу между этими двумя параметрами (Казагранде, 1948; ASTM D 4318-10e1, 2010; ASTM D 2487-11, 2011).(7)



Результаты и обсуждение. Показатели физико-механических свойств по исследуемым параметрам в рассматриваемых композициях, согласно таблице 3 представлены в сводной таблице 4

Результаты определения пластичности глин показали, что пластичность бентонитовой глины составила 26,5, что относит ее к категории высокопластичных глин. Напротив, пластичность Рубежинского месторождения доказывает низкосортность глины и составляет 9,22.

Анализ полученных данных физико-механических свойств образцов показал, что наибольший прирост прочностных характеристик наблюдается при добавлении

бентонитовой глины, где предел прочности варьируется от 8,0-13,25 МПа, но при добавлении бентонита более 10% прочностные характеристики уменьшаются. Значительный прирост прочности наблюдается у образцов с добавлением бентонита от 3-7% и стекла 3-7% с увеличением прочности с 11-13 МПа. Наибольшая прочность 13,25 Мпа образовалась при 10% добавлении стекла к глине Рубежинского месторождения.

Однако учитывая, что уменьшение плотности приводит к улучшению теплоизоляционных свойств следует отметить композиции Рубежинская/бентонит/стекло под номером 4,2,4,3 которые имеют наименьшие показатели плотности обожженных образцов от 1,13-1,6 г/см³.

Таблица 4 - Сравнительные показатели физико-механических свойств керамических композиций оптимальных составов

№ состава	Составы керамических композиций	Темп. обжига, °С	Предел прочности, МПа при сжатии	Воздушная усадка, %	Огневая усадка, %	$\rho_{\text{ср}}$, г/см ³ после обжига	Водопоглощение W, %
1	Рубежинская-бентонитовая-стекло	1000	11,50	7,5	1	1,9	18,86
			12,18	5	2,58	1,6	20,58
			13,15	4	2,58	1,13	11,45
			13,25	9	1,92	1,96	14,70
2	Рубежинская /конгломерат	1000	4,4	19,15	1	1,85	13,51
2	Рубежинская/бентонит 20%	1000	8,18	18,05	2	1,89	14,2
3	Рубежинская/бентонит 30%	1000	13,24	3,77	1,96	7,64	23,52
4	Рубежинская/бентонит 40%	1000	7,04	3,92	1	3,89	17,6
5	Рубежинская/бентонит 50%	1000	8,93	5,45	1	4,9	20
6	Рубежинская/бентонит 30%	1000	9,07	19,17	1	1,73	17,6
7	Рубежинская/бентонит/стекло	1000	6,84	18,15	1	1,75	20

Заклучение. Проведённые исследования подтвердили возможность повышения физико-механических свойств керамического кирпича на основе низкосортных суглинков Рубежинского месторождения за счёт введения модифицирующих добавок. Установлено, что:

- Бентонитовая глина значительно повышает прочностные характеристики сырья, особенно при содержании до 20%. Оптимальный прирост прочности (8,0–13,25 МПа) достигается при введении 3–7% бентонита. Однако при превышении 30% добавки наблюдается снижение прочности и ухудшение технологических свойств массы.
- Стеклобой положительно влияет на плотность и прочность изделий: наибольшая прочность (13,25 МПа) получена при 10% введении стекла. Одновременно снижение плотности образцов указывает на улучшение теплоизоляционных характеристик.
- Композиции с конгломератом (стеклобой + отработанное масло) продемонстрировали более низкие показатели прочности (4,4 МПа), что ограничивает их применение в традиционном кирпичном производстве, однако они могут быть использованы для получения лёгких теплоизоляционных материалов.

• Наиболее сбалансированные свойства продемонстрировали образцы системы «суглинок – бентонит – стеклобой», которые обеспечивают сочетание достаточной прочности (11–13 МПа), приемлемой плотности (1,13–1,6 г/см³) и пониженного водопоглощения.

Таким образом, добавление бентонитовой глины и стеклобоя в низкосортный суглинок позволяет регулировать свойства керамических масс и получать материалы с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Это открывает перспективы широкого применения местного низкосортного сырья с вовлечением техногенных отходов (стеклобоя и отработанного масла), что соответствует современным требованиям экологичности и устойчивого развития строительной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солопов С.В. «Лицевой керамический кирпич на основе низкосортного глинистого сырья» [Текст] / (2010). диссертация и автореферата по ВАК РФ 05.23.05,
2. Семенова Л.А., Гаврилова О.А., Гаврилов С.А. «Керамический кирпич из сырья Якутии с добавлением стеклобоя». [Текст] / Вестник белгородского государственного технологического университета им. В.Г. ШУХОВА Том 4 № 4 , 2019
3. FEVE European container glass industry on path to net zero calls for fast access to low carbon energy infrastructures <https://feve.org/decarbonisation-press-release/> 2024
4. Toya T, Kameschina Y, Yasumori A, Okada K. Preparation and properties of glass-ceramics from wastes (Kira) of silica sand and kaolin clay refining. J Eur Ceram Soc 2004;24:2367-72. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(03\)00628-9](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00628-9)
5. Claudia Burbano-Garcia, AnaHurtado, Yimmy Fernando Silva, Silvio Delvasto, Gerardo Araya-Letelier Utilization of waste engine oil for expanded clay aggregate production and assessment of its influence on lightweight concrete properties. [Construction and Building Materials. Volume 273, 1 March 2021, 121677, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121677](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121677)
6. [Mutsago, Mukayi N](http://hdl.handle.net/11427/7716) Technical feasibility of using spent lubricating oil as a body fuel in traditional clay brick making operations Master Thesis. 2002 - <http://hdl.handle.net/11427/7716>

REFERENCES

1. Solopov S.V. «Licevoj keramicheskij kirpich na osnove nizkosortnogo glinistogo syr'ya» ["Face ceramic bricks based on low-grade clay raw materials"] / (2010). dissertaciya i avtoreferata po VAK RF 05.23.05, – (In Rus)
2. Semenova L.A., Gavrilova O.A., Gavrilov S.A. «Keramicheskij kirpich iz syr'ya Yakutii s dobavleniem stekloboya». [Tekst] / Vestnik belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. ShUHOVA Tom 4 № 4 , (2019) – (In Rus)
3. FEVE European container glass industry on path to net zero calls for fast access to low carbon energy infrastructures <https://feve.org/decarbonisation-press-release/> (2024)
4. Toya T, Kameschina Y, Yasumori A, Okada K. Preparation and properties of glass-ceramics from wastes (Kira) of silica sand and kaolin clay refining. J Eur Ceram Soc 2004;24:2367-72. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(03\)00628-9](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00628-9)
5. Claudia Burbano-Garcia, AnaHurtado, Yimmy Fernando Silva, Silvio Delvasto, Gerardo Araya-Letelier Utilization of waste engine oil for expanded clay aggregate production and assessment of its influence on lightweight concrete properties. Construction and Building Materials. Volume 273, 1 March (2021) 121677, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121677>

6. Mutsago, Mukayi N Technical feasibility of using spent lubricating oil as a body fuel in traditional clay brick making operations Master Thesis. (2002) - <http://hdl.handle.net/11427/7>