

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ОТХОДОВ В ТЕХНОЛОГИИ ЯЧЕИСТОГО ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА

Н.Е. Посаднова, В.А. Абызов[✉], В.В. Абызов

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

[✉]abyzovva@susu.ru

Аннотация. Разработан жаростойкий ячеистый фосфатный бетон на шамотном заполнителе с использованием дисперсных алюмосиликатных отходов (отходы шамотного производства) с температурой применения 1500 °С и средней плотностью 600–800 кг/м³. В процессе разработки предметом исследования являлось влияние данных отходов на материальные затраты в производстве фосфатного ячеистого бетона. Дисперсные отходы были применены и как компонент для получения связующего, и как частичная замена мелких фракций шамотного заполнителя. Целью работы являлось уточнение жаростойких свойств ячеистого бетона при использовании дисперсных алюмосиликатных отходов и определение уровня удешевления разработанного материала относительно ближайших аналогов (ячеистого бетона на алюмофосфатном связующем и шамотном заполнителе).

В работе были использованы стандартные методики для исследования жаростойкого бетона по ГОСТ 20910, оценка экономической эффективности проводилась по среднему уровню цен на использованные сырьевые компоненты в Челябинской области во II квартале 2025 г. Исследованы основные свойства разработанного бетона, показано, что он не уступает бетону на традиционном сырье. Проведена предварительная оценка экономической эффективности разработанного ячеистого бетона. Установлено, что даже частичная замена используемых компонентов на отходы шамотного производства обеспечивает снижение себестоимости в части затрат на используемые материалы на 19 %.

Ключевые слова: ячеистый бетон, промышленные отходы, газобетон, жаростойкий бетон, шамот, фосфатное связующее

Для цитирования. Посаднова Н.Е., Абызов В.А., Абызов В.В. Экономическая эффективность применения дисперсных алюмосиликатных отходов в технологии ячеистого жаростойкого бетона // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2026. Т. 26, № 1. С. 38–43. DOI: 10.14529/build260104

Original article
DOI: 10.14529/build260104

ECONOMIC EFFICIENCY OF USING DISPERSED ALUMINOSILICATE WASTE IN REFRACTORY CELLULAR PHOSPHATE CONCRETE TECHNOLOGY

N.E. Posadnova, V.A. Abyzov[✉], V.V. Abyzov

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

[✉]abyzovva@susu.ru

Abstract. A refractory cellular phosphate concrete based on fireclay filler using dispersed aluminosilicate waste (fireclay production waste) with an application temperature of 1500 °C and an average density of 600–800 kg/m³ has been developed. During the development process, the impact of these waste materials on their costs in the production of cellular phosphate concrete has been studied. The dispersed waste materials are used as a component in binder production and as a partial replacement for small fractions of fireclay fillers. The purpose of this work is to clarify the heat-resistant properties of cellular concrete using dispersed aluminosilicate waste and to determine the level of cost reduction of the developed material compared to its closest analogues (cellular concrete using an aluminophosphate binder and fireclay fillers).

The study uses standard methods for the investigation of refractory concrete according to GOST 20910. The economic efficiency is assessed based on the average price of the raw materials used in the Chelyabinsk Region in the second quarter of 2025. The main properties of the developed concrete were investigated, and it was shown that it is not inferior to concrete made from traditional raw materials. A preliminary assessment of the economic efficiency of the developed aerated concrete has been conducted. It has been found that even partial replacement of the components used with refractory concrete and fireclay production waste can reduce the cost of materials by up to 19%.

Keywords: cellular concrete, industrial waste, aerated concrete, heat-resistant concrete, fire-clay, phosphate binder

For citation. Posadnova N.E., Abyzov V.A., Abyzov V.V. Economic efficiency of using dispersed aluminosilicate waste in refractory cellular phosphate concrete technology. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2026;26(1):38–43. (in Russ.). DOI: 10.14529/build260104

Введение

Тепловая изоляция – важнейшая часть практически любого современного теплового агрегата. В области высоких температур (свыше 1000 °С) номенклатура используемых материалов представлена главным образом вспененными огнеупорными материалами [1–3], изделиями на основе огнеупорного волокна, а также ячеистыми жаростойкими бетонами [4–6]. Поскольку указанные материалы являются весьма дорогостоящими (например, стоимость 1 м³ шамотно-волоконистой плиты в 2025 г. превышала 120 000 р.), важнейшими задачами являются расширение сырьевой базы и снижение стоимости материалов за счет совершенствования технологии и введения в их состав сырья, обеспечивающего понижение стоимости. Одним из традиционных путей понижения стоимости высокотемпературных теплоизоляционных материалов является введение в их состав дисперсных промышленных отходов нормируемого состава (глиноземистых, алюмосиликатных и др.) [7–9]. Отходы алюмосиликатного состава являются одними из самых доступных и распространенных [9–11].

В области температур 1400–1600 °С наилучшими показателями остаточной прочности и термостойкости из широкой гаммы существующих теплоизоляционных материалов выделяются фосфатные ячеистые бетоны [9–11]. Технология их получения требует использования как дорогостоящих фосфатных связующих, так и дисперсных огнеупорных наполнителей. Использование в качестве частичной замены таких наполнителей алюмосиликатных промышленных отходов представляет значительный практический интерес [12–14]. Кроме того, удешевление газобетона может быть достигнуто путем частичной или полной замены сырья, используемого для получения фосфатного связующего, на дисперсное алюмосиликатное [8, 9, 11]. Активность алюмосиликатного сырья по отношению к ортофосфорной кислоте повышается благо-

даря термообработке при умеренных температурах (до начала твердофазных реакций и процессов спекания) [8, 11, 15], что создает предпосылки для эффективного применения алюмосиликатных отходов в технологии ячеистого фосфатного бетона. Выбор в качестве связующего именно алюмофосфатного обусловлен его высокими огнеупорными свойствами [16, 17].

Материалы и методы

В процессе разработки фосфатного связующего и жаростойкого ячеистого бетона были использованы алюмосиликатные дисперсные материалы – порошки, представляющие собой пыль с фильтров, образующуюся в шамотном производстве. Они обладают весьма развитой удельной поверхностью (до 390 см²/г), что делает их пригодными для замены тонкомолотого шамота. В работе также были использованы: шамотный порошок фракции 0–1,25 мм, дисперсные алюмохромовые отходы – диалюминия триоксид с примесью хромтриоксида (ДАТ) по ТУ 2173-017-73776139-2009 с удельной поверхностью не менее 3500 см²/г. Алюмосиликатные отходы, использованные в работе, из-за неполного обжига обладают химической активностью и были также использованы для получения связующего.

Химический состав использованных в работе материалов приведен в табл. 1.

Для получения алюмофосфатного связующего (АФС) в работе была использована ортофосфорная кислота (ОФК) термическая по ГОСТ 10678-76.

В качестве газообразователя в состав ячеистобетонной смеси вводили алюминиевую пудру марки ПАП-2 по ГОСТ 5494-95.

Методика получения АФС с использованием алюмосиликатных дисперсных отходов и требования к ним были изложены ранее в работе [17].

Оценку основных свойств разработанного ячеистого бетона, содержащего добавку алюмосиликатных промышленных отходов, проводили по

Таблица 1

Физико-химические свойства порошковых сырьевых материалов

Наименование	Массовая доля, %							
	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO+ Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	R ₂ O
Алюмосиликатные дисперсные отходы	35–37	–	55–57	–	< 5	< 1,0	< 0,5	–
Диалюминия триоксид с примесью хромтриоксида	71–74	9–14	11–13	0,6–0,8	1,2–1,5	–	–	0,6–0,8
Шамотный порошок фр. 0–1,25 мм	28–30	–	60–62	0,6–1	2,6–3	–	–	0,9–1,3

ГОСТ 20910-2019, предельная температура применения назначалась по величине 2%-ной огневой усадки, как у ближайших аналогов [8, 14, 15].

В связи с тем, что технология получения фосфатных связующих (нагрев смеси и последующая фильтрация) и ячеистого фосфатного бетона имеют минимальные отличия [8, 11, 15], оценку экономической эффективности при использовании алюмосиликатных отходов производили только в части материальных затрат. И использованные в расчете цены – средние значения для Челябинской обл. по состоянию на II квартал 2025 г., расход материалов для аналога (бетона на АФС и собственно АФС) был принят по результатам ранее проведенных нами исследований [15, 17].

Результаты и обсуждение

Жаростойкий ячеистый бетон

с использованием алюмосиликатных отходов

С использованием разработанного алюмофосфатного связующего был получен ячеистый бетон со средней плотностью 600 и 800 кг/м³, основные свойства которого приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, введение дисперсной добавки алюмосиликатных отходов шамотного производства обеспечило рост прочностных показате-

лей (в пределах 10–15 %) при сохранении прежнего уровня средней плотности [15]. При этом свойства материала в целом находятся на уровне известных аналогов – ячеистого бетона на других фосфатных связующих и шамотного заполнителя [8, 14, 15].

Оценка экономической эффективности введения алюмосиликатных отходов в разработанный ячеистый бетон

В табл. 3 показан расчет материальных затрат при приготовлении 1 л фосфатного связующего с использованием алюмосиликатных дисперсных отходов. Цены на сырье, использованные в расчете, это оптовые цены по состоянию на начало 2025 г. в г. Челябинске. Если пренебречь затратами на нагрев смеси (которые одинаковы для всех фосфатных связующих), то себестоимость в части использованных материалов составляет 80 руб./л.

Для сравнения стоимости связующего с аналогом был выполнен расчет для АФС [16], полученного по стандартной технологии с использованием гидроксида алюминия технического (табл. 4).

Таким образом, путем сравнения данных в табл. 3 и 4 получаем, что благодаря использованию алюмосиликатных отходов затраты при производстве 1 л АФС будут меньше на 7,49 %,

Таблица 2
Основные свойства разработанного с использованием алюмосиликатных промышленных отходов ячеистого бетона

Показатель	Ед. изм.	Марка по средней плотности	
		D600	D800
Прочность при сжатии после сушки при 105 °С	МПа	1,23	2,38
Прочность при сжатии после нагрева до температуры применения	МПа	1,20	2,23
Остаточная прочность при температуре 800 °С	%	116	124
Термическая стойкость при температуре 800 °С в воздушных теплосменах	теплосмены	14	19
Огнеупорность, не менее	°С	1750	1750
Предельная температура применения	°С	1500	1500

Таблица 3
Материальные затраты на сырье при получении АФС на основе алюмосиликатных отходов шамотного производства

Наименование компонента	Ед. изм.	Расход	Цена, руб./ед. изм.	Цена 1 л АФС(АС), руб.
ОФК 85%-ная	кг	1,23	65	80
Вода	кг	0,31	0,045	0,014
Отходы алюмосиликатные	кг	0,11	2	0,22
Всего:				80,2

Таблица 4
Материальные затраты на сырье при получении АФС из чистого сырья

Наименование сырьевого материала	Ед. изм.	Расход	Цена, руб./ед. изм.	Цена 1 л АФС, руб.
ОФК, 85%-ная	кг	1,18	65	77
Вода	кг	0,30	0,045	0,014
Гидроксид алюминия	кг	0,13	73	9,49
Всего:				86,5

Таблица 5
Затраты на сырье при получении 1 м³ шамотного ячеистого бетона марки D600 (на чистом техническом сырье)

Наименование сырьевого материала	Ед. изм.	Расход	Цена, руб./ед. изм.	Стоимость, руб.
Порошок шамотный фр. 0–1,25 мм	кг	478	5,5	2 639
Дисперсная добавка ДАТ	кг	96	27	2 580
Пудра алюминиевая ПАП-2	кг	33	515	16 914
АФС	л	115	86,5	9 207
Всего:				32 164

Таблица 6
Затраты на сырье при производстве 1 м³ шамотного бетона (D600) с применением отходов шамотного производства

Наименование сырьевого материала	Ед. изм.	Расход	Цена, руб./ед. изм.	Стоимость, руб.
Порошок шамотный фр. 0–1,25 мм	кг	481	5,5	2 660
Дисперсная добавка ДАТ	кг	48	27	1 300
Отход шамотного производства	кг	48	2	96
Пудра алюминиевая ПАП-1	кг	28	515	14 565
АФС(АС)	л	93	80	7 437
Всего:				26 057

чем при использовании чистого сырья. Данное сравнение является корректным, так как связующие отличаются только сырьевыми материалами, технология их получения идентична.

Далее проведем сравнение стоимости 1 м³ ячеистого шамотного бетона без использования отходов шамотного производства (табл. 5) и с применением данных отходов (табл. 6).

Таким образом, замена только 10 % дисперсных компонентов при производстве ячеистого фосфатного бетона на отходы алюмосиликатного состава (в сочетании с получением связки на данных отходах) обеспечивает снижение себестоимости 1 м³ в размере (см. табл. 5 и 6):

$$C1 - C2 = 32164 - 26057 = 6106 \text{ (руб.)}$$

В процентном отношении это составит 19 % стоимости сырьевых компонентов. Таким образом, даже частичная замена заполнителя обеспечивает существенное понижение себестоимости

без какой-либо заметной потери эксплуатационных свойств (см. табл. 2, сравнение с аналогом).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что достигается значительный экономический эффект при использовании отходов шамотного производства для получения АФС и ячеистого жаростойкого бетона. Наибольший эффект возникает при замене части дисперсных заполнителей алюмосиликатными отходами, формирующимися при производстве шамота в значительных количествах. Применение активной добавки позволило повысить прочностные показатели при сохранении средней плотности на том же уровне. Себестоимость разработанного материала в части затрат на сырье снижается на 19 % по сравнению с аналогичным ячеистым бетоном, полученным на основе стандартных заполнителей (шамотный порошок).

Список литературы

1. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учебник. М.: ИНФРА-М, 2003. 265 с.
2. Соков В.Н. Энергоэффективная скоростная технология получения высокотемпературных теплоизоляционных материалов: монография. М.: МГСУ, 2014. 328 с.
3. Frasca F., Bartolucci B., Parracha J.L., Ogut O., Mendes M.P., Siani A.M., Tzortzi J.N., Bertolin C., Flores-Colen I. A quantitative comparison on the use of thermal insulation materials in three European countries through the TEnSE approach: Challenges and opportunities // Building and Environment. 2023. Vol. 245, 110973.
4. Wang X., Wenbo G., Lu H. Effects of three-dimensional pore structure on effective thermal conductivities of thermal insulation materials // International communications in heat and mass transfer. 2022. Vol. 139, 106523.
5. Байбасарова А.Р., Умыржан Н.Н. К вопросу эффективности применения современных теплоизоляционных материалов // VII Международная научно-практическая конференция. Энергетика и энергосбережение: Сборник научных трудов. Кемерово: КузГТУ, 2023. С. 106-1-106-4.
6. Сапожников А.А., Елесин М.А. Анализ современных тенденций развития теплоизоляционных строительных материалов, стойких в суровых эксплуатационных условиях // Научный вестник Арктики. Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского. 2023. С. 68–76.

7. Andiç-Çakır Ö., Son A.E., Sürmelioglu S., Tosun E., Sarıkanat M. Improvement of traditional clay bricks' thermal insulation characteristics by using waste materials // *Case studies in construction materials*, 2021. Vol. 15, e00560.
8. Абызов В.А., Клинов О.А. Жаростойкий фосфатный газобетон с огнеупорными волокнистыми промышленными отходами // *Использование отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности: сб. науч. ст.* Челябинск: Челябинский Дом ученых. 2004. С. 80–82.
9. Перепелицын В.А., Яговцев А.В., Мерзляков В.Н. Перспективные техногенные минеральные ресурсы для производства огнеупоров // *Новые огнеупоры*. 2019. № 6. С. 12–16.
10. López-Perales J.F., Sánchez-Rodríguez R., Suárez-Suárez D.D., Rodríguez E.A. Fired electrical porcelain scrap (chamotte waste) recycling and reuse as an alternative raw material for sustainable porcelain stoneware production // *Journal of cleaner production*. 2024. Vol. 434, 140385.
11. Абызов В.А., Посаднова Н.Е. Фосфатное связующее и жаростойкий газобетон на основе дисперсных отходов шамотного производства // *Новые огнеупоры*. 2022. № 5. С. 15–16.
12. Замятин С.Р., Мамыкин П.С. Комплексные исследования глинисто-фосфатной связки // *Журнал прикладной химии*. 1972. Т. XLV, № 5. С. 956–960.
13. Zemlyanoi K.G., Kamenskih V.A. Dependence of properties of clay-phosphate binder on production technology // *Refractories and industrial ceramics*. 2010. Vol. 51, no. 3, pp. 206–209.
14. Клинов, О.В. Жаростойкий газобетон на основе алюмосиликофосфатного связующего с добавкой огнеупорного волокна: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2008. 22 с.
15. Абызов В.А., Посаднова Н.Е. Жаростойкий фосфатный газобетон на связующем из техногенного алюмосиликатного сырья // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2023. Т. 23, № 1. С. 23–27.
16. Будников П.П., Хорошавин Л.Б. Огнеупорные бетоны на фосфатных связках. М.: Металлургия, 1971. 192 с.
17. Abyzov V.A., Posadnova N.E. Development of fire-resistant phosphate adhesive based on alumina and aluminosilicate dispersed industrial waste // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2024. Vol. 64, no. 5, pp. 550–554. DOI: 10.1007/s11148-024-00888-4. EDN: JTHGGM

References

1. Bobrov Y.L., Ovcharenko E.G., Shoykhet B.M., Petukhova E.Yu. *Teploizolyatsionnye materialy i konstruksii: uchebnik* [Insulation materials and constructions: Textbook]. Moscow, INFRA-M Publ., 2003. 265 p. (in Russ.)
2. Sokov V.N. *Energoeffektivnaya skorostnaya tekhnologiya polucheniya vysokotemperaturnykh teploizolyatsionnykh materialov: monografiya* [Energy-efficient fast technology for obtaining high-temperature insulation materials: Monograph]. Moscow, MGSU Publ., 2014. 328 p. (in Russ.)
3. Frasca F., Bartolucci B., Parracha J.L., Ogut O., Mendes M.P., Siani A.M., Tzortzi J.N., Bertolin C., Flores-Colen I. A quantitative comparison on the use of thermal insulation materials in three European countries through the TEnSE approach: Challenges and opportunities. *Building and Environment*, 2023, vol. 245, 110973.
4. Wang X., Wenbo G., Lu H. Effects of three-dimensional pore structure on effective thermal conductivities of thermal insulation materials. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2022, vol. 139, 106523.
5. Bajbasarova A.R., Umyrzhhan N.N. [On the issue of the effectiveness of using modern thermal insulation materials]. In: *VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Energetika i energosberezhenie: Sbornik nauchnykh trudov* [VII International Scientific and Practical Conference. Energy and Energy Saving: Collection of Scientific Papers]. 2023, pp. 106-1-106-4. (in Russ.)
6. Sapozhnikov A.A., Eleisin M.A. [Analysis of current trends in the development of heat-insulating building materials resistant to harsh operating conditions]. *Nauchny vestnik Arktiki. Zapolyarny gosudarstvenny universitet im. N.M. Fedorovskogo* [Science Herald of the Arctic. Polar State University named after N.M. Fedorovskiy], 2023, pp. 68–76. (in Russ.)
7. Andiç-Çakır Ö. Son A.E., Sürmelioglu S., Tosun E., Sarıkanat M. Improvement of traditional clay bricks' thermal insulation characteristics by using waste materials. *Case studies in construction materials*, 2021, vol. 15, e00560.
8. Abyzov V.A., Klinov O.A. [Heat-resistant phosphate aerated concrete with fire-resistant fibrous industrial waste]. *Ispol'zovanie othodov gornodobyvayushchej i pererabatyvayushchej promyshlennosti: Sb. nauchn. statej* [Use of waste from mining and processing industries], 2004. pp. 80–82. (in Russ.)
9. Perepelitsyn V.A. Yagovcev A.V., Merzlyakov V.N. [Promising technogenic mineral resources for the production of refractories]. *Novye огнеупоры* [New refractories], 2019, no. 6, pp. 12–16. (in Russ.)
10. López-Perales J.F., Sánchez-Rodríguez R., Suárez-Suárez D.D., Rodríguez E.A. Fired electrical porcelain scrap (chamotte waste) recycling and reuse as an alternative raw material for sustainable porcelain stoneware production. *Journal of Cleaner Production*, 2024, vol. 434, 140385.

11. Abyzov V.A., Posadnova N.E. [Phosphate binder and heat-resistant aerated concrete based on dispersed waste from fireclay production]. *Novye ognepory* [New refractories], 2022, no. 5, pp. 15–16. (in Russ.)
12. Zamyatin S.R., Mamykin P.S. [Comprehensive studies of clay-phosphate binder]. *Zhurnal prikladnoj himii* [Journal of Applied Chemistry], 1972, vol. XLV, no. 5, pp. 956–960. (in Russ.)
13. Zemlyanoi K.G., Kamenskikh V.A. Dependence of properties of clay-phosphate binder on production technology. *Refractories and industrial ceramics*, 2010. vol. 51, no. 3, pp. 206–209.
14. Klinov O.V. Zharostoykiy gazobeton na osnove alyumosilikofosfatnogo svyazuyushchego s dobavkoy ognepornogo volokna: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Heat-resistant aerated concrete based on an aluminum silicophosphate binder with the addition of refractory fiber. Abstract of cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, 2008, 22 p. (in Russ.)
15. Abyzov V.A., Posadnova N.E. [Heat-resistant phosphate aerated concrete with a binder made from technogenic aluminosilicate raw materials]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 23–27. (in Russ.)
16. Budnikov P.P., Khoroshavin L.B. *Ogneupornye betony na fosfatnykh svyazkakh* [Refractory concretes based on phosphate binders]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1971. 192 p. (in Russ.)
17. Abyzov V.A., Posadnova N.E. Development of fire-resistant phosphate adhesive based on alumina and aluminosilicate dispersed industrial waste. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2024, vol. 64, no. 5, pp. 550–554. (in Russ.). DOI: 10.1007/s11148-024-00888-4. EDN: JTHGGM

Информация об авторах:

Посаднова Наталья Евгеньевна, аспирант кафедры «Строительные материалы и изделия», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; natasha4545@mail.ru

Абызов Виктор Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные материалы и изделия», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; abyzovva@susu.ru

Абызов Валентин Викторович, студент, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; valentin_a2014@mail.ru

Information about the authors:

Natalya E. Posadnova, postgraduate student, Department of Construction Materials and Products, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; natasha4545@mail.ru

Viktor A. Abyzov, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Construction Materials and Products, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; abyzovva@susu.ru

Valentin V. Abyzov, student, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; valentin_a2014@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.12.2025, принята к публикации 10.12.2025.

The article was submitted 01.12.2025, approved after reviewing 10.12.2025.