

# Строительные материалы и изделия Building materials and products

Научная статья

УДК 624.04 + 69.056.52/.53 + 693.9

DOI: 10.14529/build230103

## ЖАРСТОЙКИЙ ФОСФАТНЫЙ ГАЗОБЕТОН НА СВЯЗУЮЩЕМ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ

**В.А. Абызов**, *abyzovva@susu.ru*

**Н.Е. Посаднова**, *natasha4545@mail.ru*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

**Аннотация.** Разработано модифицированное алюмофосфатное связующее из техногенного алюмосиликатного сырья. В качестве компонента для получения связующего использованы отходы – побочный продукт производства, образующийся при обжиге огнеупорных глин Нижне-Увельского месторождения. На основе модифицированного алюмофосфатного связующего получен жаростойкий фосфатный газобетон с плотностью 600–800 кг/м<sup>3</sup> и температурой применения 1400–1450 °С. Изучены основные жаростойкие свойства газобетона. Установлено, что газобетон с использованием модифицированного алюмофосфатного связующего не уступает чистым материалам на известных алюмофосфатных связующих.

**Ключевые слова:** алюмофосфатное связующее, фосфаты алюминия, промышленные отходы, алюмосиликатные отходы, жаростойкий газобетон, газобетон, фосфатное связующее, жаростойкий бетон

**Для цитирования.** 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. DOI: 10.14529/build230103

Original article

DOI: 10.14529/build230103

## LIGHTWEIGHT PHOSPHATE REFRACTORY CONCRETE BASED ON A BINDER MADE FROM INDUSTRIAL ALUMINOSILICATE RAW MATERIALS

**V.A. Abyzov**, *abyzovva@susu.ru*

**N.E. Posadnova**, *natasha4545@mail.ru*

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

**Abstract.** A modified aluminophosphate binder has been technogenically developed using aluminosilicate. Waste – a by-product of production firing of refractory clays from the Nizhne-Uvelskoye deposit – was used for obtaining the raw materials for the binder. Heat-resistant phosphate aerated concrete was developed based on the modified aluminophosphate binder. Its density was 600–800 kg/m<sup>3</sup> and the temperature of application about 1400–1450 °C. The main heat-resistant properties of aerated concrete were investigated and aerated concrete using a modified aluminophosphate binder is not inferior to cellular materials based on known aluminophosphate binders.

**Keywords:** aluminophosphate binder, aluminum phosphates, industrial waste, aluminosilicate waste, heat-resistant aerated concrete, aerated concrete, phosphate binder, heat-resistant concrete

**For citation.** Abyzov V.A., Posadnova N.E. Lightweight phosphate refractory concrete based on a binder made from industrial aluminosilicate raw materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(1):23–27. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230103

### **Введение**

С целью сокращения потерь тепла и экономии энергоресурсов, затрачиваемых на такие технологические процессы, как нагрев, научно-исследовательскими и производственными организациями постоянно ведется работа по поиску наиболее эффективных способов теплоизоляции агрегатов и расширению номенклатуры материалов. Широкое распространение в качестве теплоизоляционного материала получили безобжиговые материалы (главным образом, бетоны) [1]. В отличие от термообработанных (обоженных) материалов, технология безобжиговых бетонов и изделий освобождает от дополнительных затрат на обжиг при сохранении аналогичных эксплуатационных свойств. Особое место среди безобжиговых материалов занимают ячеистые бетоны на фосфатных связующих, обладающие высокими теплоизоляционными свойствами и повышенными (до 1500 °С на корундовом заполнителе) температурами применения [2–4].

Фосфатные связки, обладая высокими жаростойкими свойствами, повышенной термостойкостью, отсутствием существенного снижения прочности практически во всем интервале температур (от температуры сушки до температуры применения), позволяют получать наиболее эффективные материалы. Однако стоимость чистых фосфатных связующих высока. Для снижения стоимости, повышения степени замещения производят модифицирование фосфатных связок алюмо-, хром-, борсодержащими материалами [5–8]. Помимо сокращения затрат модифицирование позволяет расширить номенклатуру фосфатных связующих и повысить эффективность материалов, изготавливаемых на их основе.

Известны работы по модифицированию фосфатных и алюмофосфатных связующих алюмосиликосодежащими материалами [9–13]. Взаимодействие огнеупорных глин с ортофосфорной кислотой позволило получить глинофосфатную связку. Технология такой связки обычно подразумевает кипячение и последующее удаление непрореагировавших примесей (песчаные примеси). На основе глинофосфатной связки разработаны тяжелые бетоны. Применение глинофосфатной связки в технологии ячеистых бетонов не изучено и является перспективным направлением [14].

### **Материалы и методы**

Глины, прошедшие обжиг при умеренных температурах, обладают повышенной химической активностью [15, 16]. В настоящей работе в качестве глинистого сырья было использовано техногенное алюмосиликатное сырье – побочный продукт, образующийся при изготовлении шамота, производства ООО «Мечел-Материалы» (г. Челябинск). Данный продукт представляет собой дисперсный порошок (удельная поверхность в пределах 600–700 см<sup>2</sup>/г), состоящий из смеси обожженной и дегидратиро-

ванной глины. Отбор продукта произведен из системы аспирации (с электрофильтров) туннельных печей, в которых производят обжиг глин для последующего получения шамота. Содержание оксида алюминия в продукте свыше 35–37 %, в связи с высокой дисперсностью порошка дополнительное измельчение не требуется.

В качестве сырьевых материалов для ячеистого бетона в работе использовали дисперсный отработанный алюмохромовый катализатор ИМ-2201 по ТУ 2173-017-73776139-2009 – отходы производства АО «Синтез-Каучук» (г. Стерлитамак), шамотный наполнитель фракции 0–1,25 мм производства ООО «Мечел-Материалы», алюминиевую пудру марки ПАП-2 по ГОСТ 5494-95. Отработанный катализатор содержит 70–75 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 14 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и до 12 % SiO<sub>2</sub>, а также незначительные примеси оксидов железа и кальция. Он стабилен по составу.

Шамотный порошок содержит 28–30 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, кремнезем и незначительные примеси оксидов железа, кальция, магния и щелочных.

Для получения 1-замещенного модифицированного алюмофосфатного связующего использовали ортофосфорную кислоту (термическую) по ГОСТ 10678-76 и шамотный продукт с электрофильтров. Приготовление связующего производили путем кипячения смеси из ортофосфорной кислоты с концентрацией 60 % и указанного продукта. После кипячения смесь охлаждали, отстаивали и отделяли жидкую фазу.

Свойства разработанного ячеистого бетона оценивали согласно ГОСТ 20910-2019 [17].

### **Результаты**

Связующее (модифицированное АФС), полученное на основе побочного продукта производства шамота, прозрачно, сохраняет стабильность при хранении в течение 10–12 месяцев. Плотность связующего составляет 1,52 г/см<sup>3</sup>.

На основе приготовленной алюмофосфатной связки были разработаны составы ячеистого бетона – газобетон со средней плотностью 600–800 кг/м<sup>3</sup>.

Свойства полученного газобетона на алюмофосфатной связке представлены в табл. 1.

Исследование методами рентгенофазового анализа и дериватографии фазового состава газобетона на модифицированной АФС показало, что при нагревании до температуры 260 °С ступенчато удаляется адсорбционная и химически связанная вода, происходит образование водных алюмофосфатов. При нагревании до температуры 520 °С отмечается образование метафосфата алюминия. К 680 °С зафиксирован экзотермический эффект, свидетельствующий об окислении алюминиевой пудры. Конечными продуктами при температуре 1400 °С отмечены высокоогнеупорные соединения – корунд и фосфат алюминия тримитовой и кристаллитовой форм. Рентгенофазовый анализ подтвердил наличие фаз, зафиксированных на дерива-

Таблица 1  
Основные свойства жаростойкого ячеистого фосфатного бетона на модифицированном АФС

Показатель	Плотность газобетона, кг/м <sup>3</sup>	Температура термообработки, °С				
		105	600	800	1000	1400
Прочность при сжатии, МПа	600	1,12	1,25	1,31	1,37	1,15
	800	2,26	2,50	2,68	2,73	2,33

Таблица 2  
Жаростойкие свойства ячеистого фосфатного бетона на модифицированном кремнием АФС

№ п/п	Показатель	Значение при плотности, кг/м <sup>3</sup>	
		600	800
1	Предел прочности после сушки, МПа	1,12	2,26
2	Остаточная прочность при температуре 800 °С, %	108	119
3	Температурная усадка (–) или расширение (+) при температуре 1400 °С, %	+0,26	+0,30
4	Термическая стойкость при температуре 800 °С, воздушные теплосмены	14	18
5	Коэффициент теплопроводности при +20 °С, Вт/(м·К)	0,14	0,17
6	Огнеупорность, °С, не менее	1750	1750
7	Предельная температура применения, °С	1400	1450

тограмме. Дополнительно к этому на рентгенограмме отмечено наличие силикофосфатов. Интенсивность пиков силикофосфатов в сравнении с остальными фазами невысока, вследствие чего пики слабо визуализируются.

Жаростойкие свойства газобетона на модифицированной связке представлены в табл. 2. Отмечена повышенная прочность разработанного газобетона за счет введения дисперсного отработанного катализатора. Температура применения и термостойкость находятся на уровне чистой АФС [6]. Предельная температура газобетона составила 1400–1450 °С, что связано с использованием шамота класса Б (из ниже-увельской глины). Вероятно, применение шамота класса А позволит повысить температуру применения.

### Заключение

По итогам проведенных исследований на основе техногенного алюмосиликатного сырья получено модифицированное кремнием АФС, применение которого позволило разработать фосфатный ячеистый материал со средней плотностью от 600 до 800 кг/м<sup>3</sup> и температурой применения до 1400–1450 °С. Температура применения зависит от плотности и ограничена 1450 °С, по-видимому, из-за использования заполнителя из шамота класса Б. Показано, что конечными продуктами при нагревании фосфатного газобетона до температуры применения являются высокоогнеупорные соединения (корунд, AlPO<sub>4</sub> тридимитовой и кристобалитовой форм). Основные показатели газобетона соответствуют бетону на шамоте и АФС.

### Список литературы

1. Соков В.Н. Энергоэффективная скоростная технология получения высокотемпературных теплоизоляционных материалов: монография. М.: МГСУ, 2014. 328 с.
2. Abyzov V.A. Lightweight refractory concrete based on aluminum-magnesium-phosphate binder // Procedia Engineering, 2016, vol. 150. P. 1440–1445. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.077
3. Химические основы технологии и применения фосфатных связок и покрытий / С.Л. Голынкин-Вольфсон, М.М. Сычев, Л.Г. Судакас и др. Л.: Химия, 1968. 192 с.
4. Копейкин В.А., Климетьева В.С., Красный Б.Л. Огнеупорные растворы на фосфатных связующих. М.: Металлургия, 1986. 104 с.
5. Жаростойкий газобетон на алюмоборфосфатном связующем / А.Н. Абызов, В.А. Абызов, В.А. Магилат, Б.Я. Трофимов // Строительные материалы и изделия: сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2002. С. 143–148.
6. Кирьянова Л.А., Абызов А.Н. Ячеистые жаростойкие бетоны на алюмофосфатном связующем и шамоте // Жаростойкие бетоны, материалы и конструкции: сб. науч. тр. Челябинск: УралНИИСтромпроект, 1981. С. 63–70.
7. Некрасов К.Д., Александрова Г.Н. Высокоогнеупорный бетон на алюмохромфосфатной связке // Жаростойкие бетоны. М.: Стройиздат, 1974. С. 113–123.
8. Судакас Л.Г. Фосфатные вяжущие системы. СПб.: Квинтет, 2008. 254 с.

9. Abyzov V., Kononova V. Refractory concretes with additives of fine-milled high-alumina industrial waste // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. vol. 451. P. 012040. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012040
10. Luz A.P., Gomes D.T., Pandolfelli V.C. High-alumina phosphate-bonded refractory castables: Al(OH)<sub>3</sub> sources and their effects // *Ceramics International*. 2015. vol. 41, issue 7. P. 9041–9050. DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.03.276
11. Zemlyanoi K.G., Kamenskih V.A. Dependence of properties of clay-phosphate binder on production technology // *Refractories and industrial ceramics*. 2010. № 51. P. 206–209. DOI: 10.1007/s11148-010-9290-9
12. Замятин С.Р. Шамотный бетон на глинисто-фосфатной связке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск: УПИ, 1969. 18 с.
13. Патент № 2485071 С1 РФ, МПК C04B 28/34, C04B 111/20. Глинофосфатный материал / Л.Б. Сватовская, М.Н. Латутова, Е.И. Макарова М.В. Шершнева, С.А. Ершова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения». № 2012100920/03: заявл. 11.01.2012; опубл. 20.06.2013. Бюл. № 17. 5 с.
14. Абызов В.А. Выбор рациональных областей применения промышленных отходов в технологии жаростойкого бетона // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2008. № 25 (125). С. 37–39.
15. Simplified synthesis of silicophosphate materials using an activated metakaolin as a natural source of active silica / M. Khabbouchi, K. Hosni, M. Mezni, E. Srasra // *Applied Clay Science*. 2018. vol. 158. P. 169–176. DOI: 10.1016/j.clay.2018.03.027
16. Sahnoun R.D., Bouaziz J. Sintering characteristics of kaolin in the presence of phosphoric acid binder // *Ceramics International*. 2012. vol. 38, issue 1. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.ceramint.2011.06.058
17. ГОСТ 20910-2019. Бетоны жаростойкие. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2019. 20 с.

#### References

1. Sokov V.N. *Energoeffektivnaya skorostnaya tekhnologiya polucheniya vysokotemperaturnykh teploizolyatsionnykh materialov: monografiya*. [Energy-efficient high-speed technology for obtaining high-temperature thermal insulation materials: monograph]. Moscow: MGSU, 2014. 328 p. (In Russ.)
2. Abyzov V.A. Lightweight refractory concrete based on aluminum-magnesium-phosphate binder. *Procedia Engineering*. 2016;150:1440–1445. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.077
3. Golynko-Volfson S.L., Sychev M.M., Sudakas L.G. et al. *Khimicheskie osnovy tekhnologii i primeneniya fosfatnykh svyazok i pokrytiy* [Chemical fundamentals of technology and application of phosphate binders and coatings]. Leningrad: Khimiya, 1968. 192 p. (In Russ.)
4. Kopeykin V.A., Klimet'eva V.S., Krasnyy B.L. Ogneupornye rastvory na fosfatnykh svyazuyushchikh [Refractory solutions based on phosphate binders]. Moscow: Metallurgiya, 1986. 104 p. (In Russ.)
5. Abyzov A.N., Abyzov V.A., Magilat V.A., Trofimov B.Ya. [Heat-resistant aerated concrete on an aluminum phosphate binder]. *Stroitel'nye materialy i izdeliya: sb. nauch. tr.* Magnitogorsk: MGTU, 2002. P. 143–148. (In Russ.)
6. Kir'yanova L.A., Abyzov A.N. [Cellular heat-resistant concrete based on aluminum phosphate binder and chamotte] *Zharostoykie betony, materialy i konstruksii: Sb. nauch. tr.* Chelyabinsk: UralNIStromproekt, 1981. P. 63–70. (In Russ.)
7. Nekrasov K.D., Aleksandrova G.N. [High-refractory concrete on an alumochromophosphate bond]. *Zharostoykie betony*. Moscow: Stroyizdat Publ., 1974. P. 113–123. (In Russ.)
8. Sudakas L.G. *Fosfatnye vyazhushchie sistemy* [Phosphate binding systems]. St. Petersburg: Kvintet, 2008. 254 p. (In Russ.)
9. Abyzov V., Kononova V. Refractory concretes with additives of fine-milled high-alumina industrial waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;451:012040. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012040
10. Luz A.P., Gomes D.T., Pandolfelli V.C. High-alumina phosphate-bonded refractory castables: Al(OH)<sub>3</sub> sources and their effects. *Ceramics International*. 2015;41(7):9041–9050. DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.03.276
11. Zemlyanoi K.G., Kamenskih V.A. Dependence of properties of clay-phosphate binder on production technology. *Refractories and industrial ceramics*. 2010;51:206–209. DOI: 10.1007/s11148-010-9290-9
12. Zamyatin S.R. Shamotnyy beton na glinisto-fosfatnoy svyazke: Avtoref. kand. tekhn. nauk. [Fireclay concrete on clay-phosphate bond. Abstract of cand. sci. diss.] Sverdlovsk: UPI; 1969. 18 p. (In Russ.)
13. Svatovskaya L.B., Latutova M.N., Makarova E.I., Shershneva M.V., Ershova S.A. *Glinofosfatnyy material* [Clay phosphate material]. Patent RF, no 2485071, 2013. (In Russ.)
14. Abyzov V.A. Choice of rational application domains of industrial waste in the refract concrete technology. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2008;25(125):37–39. (In Russ.)

15. Khabbouchi M., Hosni K., Mezni M., Srasra E. Simplified synthesis of silicophosphate materials using an activated metakaolin as a natural source of active silica. *Applied Clay Science*. 2018;158:169–176. DOI: 10.1016/j.clay.2018.03.027

16. Sahnoun R.D., Bouaziz J. Sintering characteristics of kaolin in the presence of phosphoric acid binder. *Ceramics International*. 2012;38(1):1–7. DOI: 10.1016/j.ceramint.2011.06.058

17. GOST 20910-2019. *Betony zharostoykie. Tekhnicheskie usloviya*. [Heat-resistant concretes. Technical conditions] Moscow: Standartinform Publ., 2019. 20 p. (In Russ.)

**Информация об авторах:**

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

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

**About the authors:**

**Viktor A. Abyzov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials and Products, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; abyzovva@susu.ru

**Natalya E. Posadnova**, post-graduate student of the Department Building Materials and Products, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; natasha4545@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 21.11.2022, принята к публикации 15.12.2022.*

*The article was submitted 21.11.2022; approved after reviewing 15.12.2022.*