



**А. И. ХЛЫСТОВ
Д. И. ИСАЕВ**

ФОСФАТНОЕ СВЯЗЫВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ТОНКОМОЛОТЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

PHOSPHATE LINKING OF MINERAL THIN-MOLTED INDUSTRIAL WASTE

В статье приводятся различные способы синтеза жаростойких вяжущих на основе многотоннажных отходов предприятий. Применение пиритных огарков и керамзитовой пыли, соответственно с Чапаевского химзавода и Самарского керамзитового завода, в составах жаростойких бетонов на фосфатных связующих позволило повысить их остаточную прочность в зоне критических температур (1300–1350 °С). Огнеупорность данных фосфатных связующих оказалась весьма низкой (~1300 °С), что потребовало применения такого способа её повышения, как введение в состав связующего тонкодисперсных высокоглинозёмистых наполнителей с высокими показателями их температуры плавления. Выявлено и обосновано, что использование алюмохромистого отхода нефтехимии ИМ-2201 позволило повысить огнеупорность жаростойкой композиции до 1600 °С. На основе разработанных алюможелезофосфатного, цирконожелезофосфатного и алюмо-силикофосфатного связующих были подобраны составы тяжёлых бетонов с шамотным и высокоглинозёмистым заполнителями марок 400 и 500.

Ключевые слова: жаростойкий бетон, промышленные отходы, пиритные огарки, керамзитовая пыль, алюмохромистый отход нефтехимии ИМ-2201, жаростойкие заполнители, фосфатное связующее

В последнее время для футеровочных конструкций различных тепловых агрегатов и промышленных печей вместо штучных огнеупоров применяют крупногабаритные элементы из жаростойких бетонов, использование которых позволяет увеличить стойкость и повысить долговечность футеровки.

The article describes various methods of synthesizing heat-resistant binders based on large-tonnage wastes of enterprises. The use of pyrite butts and expanded clay dust, respectively, from the Chapayevsky Chemical Plant and the expanded clay plant of the city of Samara in the compositions of heat-resistant concrete on phosphate binders allowed to increase their residual strength in the zone of critical temperatures (1300–1350 °C). The refractoriness of these phosphate binders turned out to be very low (~1300 °C), which required the use of such a method of its increase as the introduction of fine high-alumina fillers with high melting points into the composition of the binder. It was revealed and justified that the use of an alumina-chromium petrochemical waste IM-2201 allowed to increase the refractoriness of the heat-resistant composition to 1600 °C. On the basis of the developed alumina-iron-phosphate, zirconyl-iron-phosphate and alumino-silicophosphate binders, the compositions of heavy concrete with chamotte and high-aluminous aggregates of grades 400 and 500 were selected.

Keywords: refractory concrete, industrial waste, pyrite cinders, expanded clay dust, aluminum-chrome waste petrochemistry IM-2201, refractory aggregates, phosphate binder

Вяжущие вещества, пригодные для приготовления жаростойких бетонов, делятся на гидравлические, воздушные (силикатные) и сульфатно-хлоридные (периклазовый цемент), химические (силикат-глыба, фосфатные и подобные им соединения) и органические. Проведённые в последние годы исследования

показали, что жаростойкие бетоны на фосфатных связующих обладают высокими физико-механическими и термическими характеристиками. Применение фосфатных связующих позволяет повысить температуру применения жаростойких бетонов примерно на 150–200 °С по сравнению с бетонами на других вяжущих.

Основным направлением совершенствования технологий специальных строительных композитов является широкое применение новых материалов, снижение материалоемкости, обеспечение механизации и индустриализации строительства, повышение эксплуатационных характеристик изделий и конструкций, внедрение безотходных технологий в производство строительных материалов за счёт использования отходов промышленности и сохранения таким путём окружающей среды от загрязнения.

Такая задача, как изготовление материалов, обладающих заданными физико-механическими свойствами, важна для футеровочных конструкций промышленных печей и для других тепловых агрегатов, работающих в сложных эксплуатационных условиях (высокая температура, агрессивная газовая или жидкая среда, контакт огнеупорной футеровки с расплавленными шлаками, металлами и сплавами).

Для изготовления фосфатных связующих используются многие оксиды металлов, которые затворяют ортофосфорной кислотой [1, 2] или их кислыми фосфатами.

Большинство работ, посвященных изготовлению огнеупорных материалов на основе фосфатных связующих, связано с применением композиций, содержащих в качестве вяжущего компонента алюмофосфаты. Вызвано это тем, что составы в системе $Al_2O_3 - P_2O_5 - H_2O$, а именно $AlPO_4$ имеют высокую температуру плавления [1, 2]. Алюмофосфатную связку готовят при растворении $Al(OH)_3$ в 65 %-м растворе H_3PO_4 и последующем нагревании массы до 100 °С.

Алюмофосфатные связки (АФС) применяют в качестве жаропрочных клеев для склеивания кварца, стали, стекла, а также в качестве высокотемпературных покрытий по стали и другим металлам [3, 4]. Вводя различные наполнители в состав клея, можно регулировать коэффициент термического расширения (КТР), термостойкость и другие свойства бетонов [5].

Разновидности АФС для жаростойких бетонов получают при нейтрализации H_3PO_4 отвальными шлаками, образующимися при выплавке алюминия или алюминиевых сплавов и содержащими до 10–35 вес. % металлического алюминия [5]. Известна глинистофосфатная связка, получаемая кипячением смеси глины с ортофосфорной кислотой [6].

Хромофосфатную связку (ХФС) получают, растворяя оксиды и гидроксиды хрома, хромит или $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ в ортофосфорной кислоте [2, 3]. В работе [7] хромофосфатную связку получили при смешивании CrO_3 с 60 %-м раствором H_3PO_4 . При нагревании связки CrO_3 восстанавливается до Cr_2O_3 с одновременным образованием фосфатов. Хромофосфатную связку обезвоживают и в этом случае получают стекловидную массу. После измельчения ее затворяют водой и используют как связующее.

Магнийфосфатную связку получают взаимодействием ортофосфорной кислоты с магниевыми материалами (оксид магния, гидроксид магния, периклазовый цемент и каустический магнезит). В воде растворяется только $Mg(H_2PO_4)_2$, поэтому магнийфосфатная связка – это раствор однозамещенного фосфата магния. H_3PO_4 добавляют небольшими порциями в один из видов указанных магниевых материалов в количестве, необходимом для получения однозамещенного фосфата магния. После охлаждения раствор отфильтровывают при производстве различных жаростойких бетонов.

Алюмохромофосфатные связки получают при взаимодействии фосфата алюминия с 5–60 % фосфата хрома или при нейтрализации ортофосфорной кислоты катионами Cr^{3+} и Al^{3+} . Самыми высокими вяжущими свойствами обладает соединение, отвечающее формуле $Al_2O_3 \cdot Cr_2O_3 \cdot 2P_2O_5$. Алюмохромофосфатная связка при хранении значительно дольше сохраняет вяжущие свойства без изменения по сравнению с алюмофосфатными связками. Известны также в практике натрийхромфосфатная, магнийхромфосфатная, цирконийфосфатная связки, которые получают при взаимодействии соответствующих оксидов с ортофосфорной кислотой.

Жаростойкие бетоны на фосфатных связующих практически не разупрочняются при средних температурах нагрева (300–1000 °С). Такое поведение бетонов вызвано постепенным замещением фосфатной связки керамической. Их общим недостатком является то, что для своего затвердевания они требуют термической обработки до 600 °С.

Большинство разработанных бетонов включают в свой состав такие дефицитные материалы, как корунд, электрокорунд, технический глинозем, хромит, циркон и другие [8–10]. Поэтому изыскание более дешевых сырьевых материалов для фосфатных бетонов является актуальной задачей.

Связующие на основе алюмохромистого отхода ИМ-2201 и ортофосфорной кислоты обладают более высокими прочностными харак-

теристиками при высоких температурах по сравнению со связующими на глиноземистом и портландском цементах. Это вызвано тем, что при высоких температурах, начиная с 500 °С, ортофосфорная кислота образует с отходами стабильную фосфатную связку.

Полученные на основе отхода нефтехимии и ортофосфорной кислоты как легкие, так и тяжелые бетоны превосходят по физико-механическим показателям соответствующие виды жаростойких бетонов на других видах вяжущего.

Уфимским филиалом Росортгестрома [11] на основе отходов асбестового производства получены в лабораторных и производственных условиях асбофосфатные изделия (кирпич и др.), обладающие повышенными физико-механическими свойствами (механическая прочность до 80 МПа, морозостойкость более 35 циклов).

Г.Д. Дибров с сотрудниками [12] провел исследования по использованию шламов карбида кремния, электрокорунда в жаростойких бетонах фосфатного твердения и для получения огнеупорных заполнителей. В результате исследований установлено, что на основе шламовых отходов абразивного производства можно получить стабильные фосфатные связующие при термической обработке до температуры 200–250 °С с пределом прочности при сжатии до 25,0–30,0 МПа и огнеупорный тяжелый фосфатный заполнитель с прочностью до 140 МПа. В процессе исследования авторами [12] установлено, что температура термической обработки фосфатного связующего и бетонов на его основе снижена с 500–600 до 200–250 °С за счет наличия в шламовых отходах активных по отношению к ортофосфорной кислоте оксидов: CaO, MgO, FeO и др.

Установлено, что основным фактором, определяющим возможность применения оксидов для получения фосфатных связующих, является тепловой эффект реакции $Me_nO_m + H_3PO_4$ [2].

Коэффициент активности оксидов, определяемый по их структурно-энергетическим характеристикам, является основой проектирования составов фосфатных связующих, твердеющих в заданных условиях [13, 14].

Согласно этому коэффициенту оксиды подразделяются на группы по степени их активности. Величины коэффициента активности и теплового эффекта позволяют достоверно подбирать составы различных фосфатных композиций для получения связующих с заданными свойствами.

По химическому составу любого техногенного неорганического продукта возможно определить его коэффициент активности и спрогнозировать процесс фосфатного свя-

зывания, т. е. оценить условия применения тех или иных сырьевых компонентов для синтеза жаростойких композиций.

При изучении физико-механических свойств, а также химического состава железосодержащих отходов сернокислотной промышленности – так называемых пиритных огарков Чапаевского химзавода Самарской области было установлено, что они могут быть использованы в качестве тонкомолотого компонента железосодержащего связующего. В естественном состоянии пиритные огарки представляют собой тонкодисперсный порошок, в состав которого входят до 70 % Fe_2O_3 , 5–6 % FeO и 14–24 % SiO_2 . Оксид трехвалентного железа Fe_2O_3 при нормальной температуре взаимодействует с ортофосфорной кислотой H_3PO_4 очень медленно: поэтому требуется подогрев смеси до 70 °С:



Оксид двухвалентного железа FeO, наоборот, реагирует с кислотой энергично, выделяя при этом значительное количество тепла:



В связи с этим использование оксидов железа в отдельности связано с преодолением обычных для фосфатных связующих трудностей: либо требуется частичная нейтрализация ортофосфорной кислоты – в случае применения FeO, либо бетонную смесь нужно подогреть для обеспечения твердения – в случае применения Fe_2O_3 .

В пиритных огарках оксиды железа обычно находятся в оптимальном соотношении: оксид двухвалентного железа быстро реагирует с H_3PO_4 и разогревает смесь до необходимой для проявления вяжущих свойств Fe_2O_3 с H_3PO_4 . В случае использования пиритных огарков после гидроудаления их приходится сушить при температуре 100–120 °С. Фосфатное связующее, полученное путем затворения пиритных огарков 70 %-й ортофосфорной кислотой, начинает схватываться через 45–50 мин и через 2–2,5 ч затвердевает. В дальнейшем, по мере увеличения содержания в цементном камне ортофосфатов железа, прочность его растет примерно пропорционально времени твердения в воздушных условиях и в 7-суточном возрасте стабилизируется на уровне 55,0–60,0 МПа. Таким образом, железосодержащее связующее по основным свойствам аналогично портландцементу марки 500, но контрольный срок его твердения равен 7 суткам. Жаростойкие бетоны на основе железосодержащего связующего в нормальных условиях твердения в суточном

возрасте приобретают прочность, достаточную для распалубки, транспортировки и монтажа изделий. В 7-суточном возрасте они приобретают конечную прочность, величина которой определяется свойствами заполнителей.

Огнеупорность железофосфатного связующего равна 1300 °С, а рабочая температура футеровки из бетона, где применяется керамзит в качестве крупного заполнителя, составляет 1000 °С. При использовании в качестве заполнителя шамотных песка и щебня рабочая температура может достигать 1200 °С.

В целях увеличения температуры бетона на железофосфатном связующем в его состав достаточно ввести огнеупорные глиноземистые и цирконийсодержащие тонкомолотые добавки.

Для получения смешанного алюможелезофосфатного связующего в качестве алюминийсодержащего компонента можно использовать технические продукты, такие как высокоглиноземистый муллитовый мертель ММЛ-62, технический глинозем, тонкодисперсный корунд и др., а также отходы промышленности, например, алюмохромистый отход нефтехимии – отработанный катализатор ИМ-2201, состоящий на 70–75 % из Al_2O_3 и 13–15 % Cr_2O_3 . Для получения смешанного цирконожелезофосфатного связующего можно использовать тонкомолотый цирконовый концентрат КЦ-1. При введении указанных компонентов в композицию пиритных огарков с ортофосфорной кислотой образуются смешанные вяжущие, обладающие иными свойствами, чем чистое железофосфатное. Огнеупорность смешанного железофосфатного вяжущего возрастает практически прямо пропорционально количеству глиноземсодержащего продукта, введенного в фосфатную композицию. Сроки схватывания смешанного вяжущего удлиняются, но даже при введении 80–90 % глинозема, отработанного катализатора ИМ-2201 или мертеля ММЛ-62 сохраняется способность фосфатного связующего схватываться в воздушных условиях и набирать прочность. При последующей термообработке прочность вяжущего возрастает за счет образования алюмофосфатов, цирконийфосфатов и хромофосфатов.

Таким способом удалось создать воздушно-твердеющее алюможелезофосфатное связующее с температурой применения 1500 °С и цирконожелезофосфатное связующее с температурой применения 1600 °С. Термостойкость вяжущих превышает 30 теплосмен, т. е. она близка к термостойкости обычных алюмофосфатных и цирконофосфатных связующих.

На основе разработанных алюможелезофосфатного и цирконожелезофосфатного связующих были подобраны составы тяжелых

бетонов с шамотным и высокоглиноземистым заполнителями марок 400 и 500.

Также воздушно-твердеющие фосфатные связующие были получены на основе такого широко распространённого тонкодисперсного отхода промышленности строительных материалов, как керамзитовая пыль. Она образуется практически на всех предприятиях по производству керамзитового гравия и накапливается в пылесадительной камере, циклонах или в результате выпадения из двухбарабанных печей в месте стыка сушильного барабана с обжиговым. По химическому составу керамзитовая пыль представляет собой алюмосиликатный продукт с присутствием небольшого количества оксида железа (Fe_2O_3 и FeO). Данное присутствие позволило получить воздушно-твердеющий состав фосфатного связующего на основе тонкодисперсной керамзитовой пыли с применением таких затворителей, как ортофосфорная кислота 70 %-й концентрации и водорастворимая алюмохромофосфатная связка (производство Воскресенского химзавода, Московская область) с плотностью $\rho = 1,52$ г/см³. Огнеупорность данного фосфатного связующего оказалась весьма низкой (~1300 °С), что потребовало применения такого способа её повышения, как введение в состав связующего тонкодисперсных высокоглиноземистых наполнителей с высокими показателями их температуры плавления. В наших исследованиях в качестве такого высокотемпературного материала использовался алюмохромистый отход нефтехимии ИМ-2201, имеющий огнеупорность более 2000 °С.

На рис. 1 приведены графические зависимости изменения огнеупорности комплексного фосфатного цемента с применением керамзитовой пыли и алюмохромистого отхода и влияния высокоогнеупорного наполнителя на вяжущие свойства связующего. Данное связующее было названо алюмо-силикофосфатным.

Как видно из графика, фосфатные смешанные цементы, содержащие в составе до 40–50 % алюмохромистого отхода, способны схватываться и твердеть в воздушно-сухих условиях, сохраняя при этом все технологические параметры. На основе разработанного смешанного фосфатного цемента с применением керамзитовой пыли были разработаны составы тяжёлых бетонов с использованием шамотного заполнителя, изготовленного из огнеупорного лома. Затворителями тяжёлых бетонных смесей являлись ортофосфорная кислота 70 %-й концентрации и алюмохромофосфатная связка с плотностью $\rho = 1,52$ г/см³. Физико-термические параметры жаростойких бетонов на смешанных фосфатных цементах представлены в таблице.

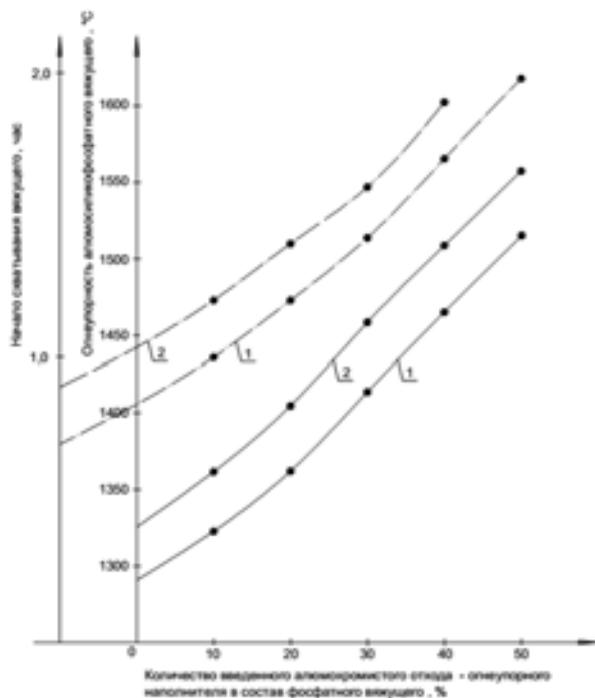


Рис. 1. Изменение огнеупорности и вяжущих свойств смешанных цементов фосфатного твердения
 1 – затворитель – H_3PO_4 – 70 %-й концентрации;
 2 – затворитель – АХФС $\rho=1,52 \text{ г/см}^3$
 ———— – кривые, характеризующие огнеупорность вяжущего
 - - - - - – кривые, характеризующие сроки схватывания вяжущего

Полученные результаты свидетельствуют о весьма высоких физико-термических показателях тяжёлых жаростойких бетонов, что позволяет применять их как для приготовления отдельных элементов и деталей, а также в монолитном варианте.

Разработанные составы бетона можно применять для футеровок плавильно-литейных агрегатов цветной металлургии и тепловых агрегатов керамической промышленности. Изучение химической стойкости новых фосфатных материалов в расплавах флюсов (криолит, карналит), металлического алюминия и его сплавов из легкоплавкого стекла (фритты, предназначенные для приготовления глазури) показало, что жаростойкие бетоны не смачиваются агрессивными расплавами. По химической стойкости фосфатные жаростойкие бетоны значительно превосходят штучные шамотные огнеупоры, т. е. силикатные. Повышенная химическая стойкость фосфатных материалов объясняется специфической структурой ортофосфатов, у которых расположенные на поверхности тетраэдры PO_4 обращены в сторону расплава кислородом, связанным с центральным атомом «Р» двойной связью и поэтому полностью пассивированным (рис. 2).

На фрагменте структуры ортофосфатов видно, что на поверхности структурной группы располагаются ионы кислорода с полностью компенсированным зарядом [3]. Эти соображения подтверждаются результатами наблюдений

Физико-термические свойства жаростойких бетонов на смешанных фосфатных цементах с применением керамзитовой пыли

Состав бетона, $кг/м^3$	Средняя плотность в сухом состоянии, $кг/м^3$	Предел прочности при сжатии, МПа, после нагрева, °С				Термостойкость водной теплосмены
		20 (3 сут)	100	800	1200	
Керамзитовая пыль – 180 Алюмохромистый отход – 260 Шамотный щебень – 650 Шамотный песок – 750 Ортофосфорная кислота (70 %-я концентрация) – 360	2100	5,5	28,6	33,2	30,5	25
Керамзитовая пыль – 160 Алюмохромистый отход – 280 Шамотный щебень – 650 Шамотный песок – 750 АХФС ($\rho = 1,51 \text{ г/см}^3$) – 380	2120	7,5	31,7	35,4	34,2 (1400 °С)	28

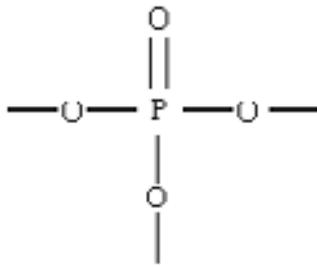


Рис. 2. Фрагмент структурной группы

ний за поведением отдельных бетонных элементов футеровок печей для плавки алюминиевых сплавов. В связи с этим жаростойкие бетоны на фосфатных связующих из-за дороговизны следует применять в крайне редких случаях, т. е. в футеровках тепловых агрегатов с высокими химической агрессивией и температурой.

Выводы. 1. Доказано, что использование керамзитовой пыли и пиритных огарков в составах жаростойких бетонов на фосфатных вяжущих позволило повысить их остаточную прочность в зоне критических температур (1300–1350 °С).

2. Выявлено и обосновано, что использование алюмохромистого отхода нефтехимии ИМ-2201 позволило повысить огнеупорность жаростойкой композиции на основе керамзитовой пыли до 1600 °С.

3. Фосфатные смешанные цементы, содержащие в составе до 40–50 % алюмохромистого отхода, способны схватываться и твердеть в воздушно-сухих условиях, сохраняя при этом все технологические параметры.

4. Полученные таким образом жаростойкие вяжущие на основе пиритных огарков, керамзитовой пыли, алюмохромистого отхода ИМ-2201, фосфатного затворителя явились основой для получения эффективных жаростойких бетонов, используемых непосредственно для продления срока службы футеровок тепловых агрегатов на заводах, где образуются данные отходы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Судакас Л.Г. Фосфатные вяжущие системы: монография. СПб.: РИА «Квинтет», 2008. 260 с.
2. Будников П.П., Хорошавин Л.Б. Огнеупорные бетоны на фосфатных связках. М.: Металлургия, 1971. 192 с.
3. Абызов В.А., Черногорлов С.Н. Глиноземистые вяжущие на основе шлака алюминотермического производства ферротитана и ячеистые бетоны на их основе // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2015. Т. 15, № 3. С. 45–52.

4. Баженов Ю.М. Новому веку – новые эффективные бетоны и технологии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2001. № 1. С. 12–13.

5. Ахтямов Р.Р., Трофимов Б.Я. Жаростойкий бетон на шлакощелочном вяжущем и заполнителе из шамота и высокоглиноземистых шлаков алюминотермического производства // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 1–2. С. 45–47.

6. Замятин С.Р. Шамотный бетон на глинофосфатной связке: автореф. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1969. 19 с.

7. Ефремов А.Н. Сравнительная термостойкость алюмосиликатных бетонов на основе различных вяжущих // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2012. № 5 (97). С. 81–85.

8. Лемешев В.Г., Мельников А.М., Черняховский В.А. Влияние технологических факторов на свойства лёгкого фосфатного заполнителя. Фосфатные материалы: Труды ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Вып. 57. М.: Стройиздат, 1975.

9. Хлыстов А.И., Широков В.А., Сульдин В.В., Исаев Д.И. Повышение физико-термических характеристик огнеупорных защитных покрытий футеровок тепловых агрегатов // Огнеупоры и техническая керамика. 2018. Т. 1–2. С. 7–14.

10. Дворкин Л.И., Гоц В.И., Дворкин О.Л. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 422 с.

11. Абзильдин Ю.Ф. Разработка и исследование фосфатных строительных материалов из отходов промышленности в Уфимском филиале Росортгестрома // Фосфатные и силикатные строительные материалы из отходов промышленности. Уфа, 1978. С. 5–8.

12. Дибров Г.Д., Шпирько Н.В., Козубов В.Г. Жаростойкие вяжущие на отходах промышленности. Приднепровья // Решение проблемы охраны окружающей среды путем использования отходов промышленности в композиционных материалах: Тез. докл. Пенза, 1983. С. 47–48.

13. Хлыстов А.И. Повышение эффективности и улучшение качества огнеупорных футеровочных материалов. Самара, 2004. 134 с.

14. Хлыстов А.И., Власов А.В., Власова Е.М. Высокоглиноземистое шламоподобное нанотехногенное сырье – комплексный модификатор в составах огнеупорных футеровочных материалах // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 11. С. 33–38.

REFERENCES

1. Sudakas L.G. *Fosfatnye vyazhushchie sistemy* [Phosphate knitting systems]. St. Petersburg, RIA "Quintet" Publ., 2008, 260 p.
2. Budnikov P.P., Khoroshavin L.B. *Ogneupornyye betony na fosfatnykh soyazkakh* [Refractory phosphate

ligament concretes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1971, 192 p.

3. Abyzov V.A., Chernogorlov S.N. Aluminous binders on the basis of slag of aluminothermal production of ferrotitanium and cellular concrete based on them, *Vestnik YuUrGU Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»* [Proc. of the YuUrGU Series "Building and architecture"]. 2015, Vol.15 No 3, pp. 45-52. (in Russian)

4. Bazhenov Yu.M. New century - new efficient concretes and technologie, *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies of the XXI century]. 2001, No 1, pp. 12-13.

5. Akhtyamov R.R., Trofimov B.Ya. Heat-resistant concrete on slag binder and aggregates of fireclay and high-alumina slags of aluminothermic production *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and Technical Ceramics]. 2014, No 1-2, pp. 45-47. (in Russian)

6. Zamyatin S.R. *Shamotnyy beton na glinofosfatnoy svyazke, avtoreferat kand. tekhn. nauk*. [Fireclay concrete on the clay phosphate bond: abstract of Cand. tech. sciences.]. Sverdlovsk, 1969, 19 p.

7. Efremov A.N. Comparative heat resistance of aluminosilicate concrete based on various binders, *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury* [Proc. of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2012, No 5, pp. 81-85. (in Russian)

8. Lemeshev V.G., Mel'nikov A.M., Chernyakhovskiy A.M. [Influence of technological factors on the properties of light phosphate aggregate. Fosfatnye materialy. Trudy TsNIISK im. V.A. Kucherenko, Moscow, No 57, Stroyizdat Publ., 1975. (in Russian)

9. Khlystov A.I., Shirokov V.A., Sul'din V.V., Isaev D.I. Improvement of physical and thermal characteristics of refractory protective coatings of thermal units lining. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and Technical Ceramics]. No 1-2, 2018, Moscow, pp. 7-14. (in Russian)

10. Dvorkin L.I., Gots V.I., Dvorkin O.L. *Ispytaniya betonov i rastvorov. Proektirovanie ikh sostavov*. [Testing of concrete and mortar. Designing their compositions]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ, 2014, 422 p.

11. Abzgil'din Yu.F. *Razrabotka i issledovanie fosfatnykh stroitel'nykh materialov iz otkhodov promyshlennosti v Ufimskom filiale Rosorgtekhstroma* [Development and research of phosphate building materials from industrial waste in the Ufa branch of Rosorgtekhstrom]. Phosphate and silicate building materials from industrial waste, Ufa, 1978, pp. 5-8.

12. Dibrov G.D., Shpir'ko N.V., Kozubov V.G. Heat-resistant binders on waste industry. Dnieper. *Reshenie problemy okhrany okruzhayushchey sredy putem ispol'zovaniya otkhodov promyshlennosti v kompozitsionnykh materialakh, Tez. dokl.* [Solving the problem of environmental protection through the use of industrial waste in composite materials: Proc. report]. Penza, 1983, pp. 47-48.

13. Khlystov A.I. *Povyshenie effektivnosti i uluchshenie kachestva ogneupornykh futerovochnykh materialov* [Improving the efficiency and improving the quality of refractory lining materials]. Samara, 2004, 134 p.

14. Khlystov A.I., Vlasov A.V., Vlasova E.M. High-alumina slime-like nanotechnogenic raw materials – a complex modifier in the compositions of refractory lining materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], 2017, No 11, pp. 33-38. (in Russian)

Об авторах:

ХЛЫСТОВ Алексей Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: alex-x1950@yandex.ru

ИСАЕВ Дмитрий Игоревич

аспирант Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: d.i.isaev@bk.ru

KHLYSTOV Aleksey I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Production of building materials, products and structures Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: alex-x1950@yandex.ru

ISAEV Dmitriy I.

post-graduate student Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: d.i.isaev@bk.ru

Для цитирования: Хлыстов А.И., Исаев Д.И. Фосфатное связывание минеральных тонкомолотых отходов промышленности // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 85–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.11. For citation: Khlystov A.I., Isaev D.I. Phosphate Linking of Mineral Thin-Molting Industrial Waste // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 85–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.11.