

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №1, Том 13 / 2021, No 1, Vol 13 <https://esj.today/issue-1-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/31SAVN121.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Ласман И.А., Мевлидинов З.А., Левкович Т.И., Токар Н.И., Ласман В.С., Музалёв Д.В. Безобжиговый гравий, модифицированный комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора // Вестник Евразийской науки, 2021 №1, <https://esj.today/PDF/31SAVN121.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Lasman I.A., Mevlidinov Z.A., Levkovich T.I., Tokar N.I., Lasman V.S., Muzalev D.V. (2021). Burn-free gravel modified with complex additives based on technogenic pozzolan and water-reducing superplasticizer. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(13). Available at: <https://esj.today/PDF/31SAVN121.pdf> (in Russian)

УДК 691:31:69.034.7

ГРНТИ 67.15.37

Ласман Ирина Александровна

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: i.Lasman@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2865-7496>

Мевлидинов Зельгедин Алаудинович

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: zelgedinm@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7071-8339>

Левкович Татьяна Ивановна

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: tilevkovich@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8372-8114>

Токар Николай Иванович

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: nikolay_tokar@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8263-6111>

Ласман Виталия Станиславовна

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Студент 1 курса магистратуры
E-mail: vitaliyalasman@mail.ru

Музалёв Денис Валентинович

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Студент 1 курса магистратуры
E-mail: dennis11732@gmail.com

Безобжиговый гравий, модифицированный комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора

Аннотация. Производство искусственных пористых заполнителей (ИПЗ) всегда базируется вблизи карьеров пластичных высококачественных глин. Но со временем они вырабатываются и многие заводы вынуждены использовать низкосортное, запесоченное, обедненное органикой и плохо вспучиваемое сырье. Это соответственно и предопределяет необходимость изыскания для производства искусственных пористых заполнителей новых технологических приемов на основе распространенного многотоннажного дешевого сырья, обеспечивающего получение качественной, с современной точки зрения, продукции при пониженных затратах на его производство.

Применение ресурсосберегающей технологии при производстве ИПЗ позволит компенсировать ограниченность сырьевой базы качественных глин и необходимость острого использования некондиционных глин, обеспечивающих достаточно высокую насыпную плотность пористого заполнителя и низкую прочность.

Поэтому авторами статьи предложена модификация сырьевых композиций для получения безобжигового гравия комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора для повышения эксплуатационных характеристик ИПЗ.

Авторами представлены результаты исследования влияния комплексных добавок на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора на свойства и на структуру безобжигового гравия.

Экспериментально установлено, что комплексная добавка на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора С-3 приводит к повышению прочности на сжатие (2 раза) и к снижению насыпной плотности (1,18 раза) и водопоглощения (1,23 раза) модифицированного безобжигового гравия.

Исследованиями было установлено, что действие пуццолановых добавок (золы, доменных гранулированных шлаков, микрокремнезёма) характеризуется гидравлической активностью и способностью связывать гидроксид кальция, который в твердеющей системе практически исключает образование этtringита. В этом случае образуется низкоосновный гидросульфат алюмината кальция без местного увеличения объёма. Использование водоредуцирующего суперпластификатора С-3 позволяет уменьшить количество связующей жидкости, поступающей на увлажнение сырьевой композиции и улучшить свойства полученного заполнителя.

Применение модифицированных сырьевых композиций позволяет получить безобжиговый гравий с улучшенными свойствами. Полученный результат является следствием направленного воздействия на сырьевую композицию при производстве безобжигового гравия, комплексной добавки на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора – С-3, как микроармирующего, так и упрочняющего компонента.

Ключевые слова: безобжиговый гравий; гипсоцементно-пуццолановое вяжущее; микрокремнезём; доменный гранулированный шлак; зола–унос; водоредуцирующий суперпластификатор; свойства заполнителя

Введение

Сегодня строительство – одна из наиболее популярных и всеобъемлющих сфер деятельности современного общества. С течением времени человек ищет более выгодные методы строительства различных зданий – жилых, промышленных, офисных. Громоздкие и дорогие стройматериалы постепенно уходят в прошлое. На их смену приходят эффективные композиционные строительные материалы, изготовленные по ресурсосберегающим технологиям [1–4].

Для обеспечения высоких функциональных свойств строительных материалов при условии минимизации материальных, энергетических и трудовых затрат, необходимо обеспечить условия для реализации максимального комплексного внедрения сырья и отходов, а также комплексных модификаторов в строительство и промышленность строительной индустрии [5–10].

Комплексное использование сырья и отходов связано с решением проблемы создания безотходных и экологически чистых промышленных технологий [11–12]. Наиболее перспективной для этого являются промышленность строительных материалов, в которой могут использоваться практически все образующиеся в отрасли отходы.

Научными школами Российской Федерации разработаны и продолжают разрабатываться технологии по применению вторичных материальных ресурсов для производства строительных материалов и изделий [13–18]. Отходы промышленных предприятий наиболее часто используются: для отсыпки дорог; производства керамических изделий; вяжущих материалов; лёгких бетонов и искусственных пористых заполнителей^{1,2} [21].

Искусственные пористые заполнители из отходов промышленности получают путем термической обработки силикатного сырья с последующим дроблением и рассевом с применением:

- высокотемпературной обработки полуфабриката. Для этого используют дорогостоящее оборудование, например: обжиг зольных гранул на решетках агломерационных машин – получение аглопоритового щебня, песка и гравия; обжиг в коротких прямооточных вращающихся печах – получение зольного гравия; обжиг в противоточных печах – получение глинозольного керамзита³ [20–23];

¹ Способ изготовления легкого композиционного заполнителя для бетонов: пат. RU 2660970 С1 Рос. Федерация: СПК С04В 18/241 (2006/01) / Ласман И.А., Новикова В.И., Ласман В.С., Петухов В.В., Пыкина Ю.С.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный инженерно-технологический университет. – № 2017118009; заявл. 23.05.2017; опубл. 11.07.2018. Бюл. №20 – 2 с.

² Состав для получения легкого композиционного заполнителя для бетонов: пат. RU 2660971 С1 Рос. Федерация: СПК С04В 18/46 (2006/01) / Ласман И.А., Новикова В.И., Пыкин А.А., Петухов В.В.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный инженерно-технологический университет. – № 2017118011; заявл. 23.05.2017; опубл. 11.07.2018. Бюл. №20 – 2 с.

³ Сырьевая смесь для получения пористого заполнителя: пат. RU 2381190 С1, Рос. Федерация: МПК С04В 14/12(2006.01) / Пыжов А.М., Тронин П.С., Кукушкин И.К., Уткин С.А., Шаталов А.В., Пыжова Т.И., Попов Я.С., Федин Ю.Е. – 2008135081/03; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Самарский государственный технический университет, заявл. 27.08.2008; опубл. 10.02.2010.

- низкотемпературной обработки (сушка, пропаривание) полуфабриката – безобжиговый зольный гравий, безобжиговый слоистый пористый гравий^{4,5}.

Для набора прочности сырцовых гранул применяют сушильные и пропарочные камеры.

В связи с ограниченностью сырьевой базы качественных глин авторами было предложена разработка составов сырьевых композиций с применением нестандартных компонентов по ресурсосберегающей технологии [24; 25] для производства безобжигового гравия.

Решение вышеуказанной проблемы при производстве искусственного пористого заполнителя возможно, но только при комплексном использовании сырья и отходов промышленных предприятий с применением безотходных и экологически чистых технологий.

Постановка цели и определение задач

Целью работы является получение безобжигового гравия на основе сырьевых композиций, модифицированных комплексными добавками из техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора.

Для получения безобжигового гравия авторами была предложена гипотеза по созданию «полого» ядра – сердцевины из бумажной макулатуры с последующим его окатыванием в механоактивированной и модифицированной комплексными добавками сырьевой композиции.

Для достижения поставленной цели были определены следующие этапы исследования:

- комплексное изучение сырьевых материалов для получения безобжигового гравия (БГ) с использованием минеральных вяжущих, техногенных пуццолановых и водоредуцирующей добавок;
- разработка и оптимизация составов механоактивированной и модифицированной сырьевой композиции для получения оболочки БГ;
- получение безобжигового гравия и определение его свойств;
- исследование влияния комплексных модификаторов на основе пуццолановых добавок и водоредуцирующего суперпластификатора на свойства БГ.

Применение портландцемента в качестве вяжущего при изготовлении безобжигового гравия является дорогостоящим материалом. Поэтому авторами предложено использование в качестве альтернативного материала гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ), приготовленного в лабораторных условиях.

Использование ГЦПВ позволит получить безобжиговый гравий по ресурсосберегающей технологии, сократить сроки твердения сырцовых гранул, а также отказаться от тепловлажностной обработки заполнителя.

⁴ Способ изготовления безобжигового зольного гравия: пат. 2298534 Рос. Федерация: МПК С04В 20/00(2006.01) / Щепочкина Ю.А., Федосов С.В., Акулова М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Ивановская государственная архитектурно-строительная академия. – № 2005124574/03; заявл. 10.05.2007. опубл. 02.08.2005.

⁵ Способ изготовления облегченного безобжигового зольного гравия: пат. 2490225 Рос. Федерация: МПК С04В18/08. / Брылякова А.О.; Белых С.А.; Черниговская М.Н.; Буянова Э.Э.; заявитель и патентообладатель Братский государственный университет. – 2011132823/03; заявл. 04.08.2011; опубл. 20.08.2013. – 6 с.

Результаты исследования

При использовании новых нетрадиционных сырьевых материалов для производства безобжигового гравия из сырьевых композиций, модифицированных комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора, авторами было предложено использовать в качестве сырья для оболочки вяжущее состоящее из: ГЦПВ разных составов на основе строительного гипса (СГ), бездобавочного портландцемента (ПЦ Д0) и пуццолановых добавок золы-уноса (ЗУ), доменного гранулированного шлака (ДГШ) и микрокремнезема (МК).

Для изготовления ядра-сердцевины применяли отходы типографии, которые представляют собой обрезки бумаги.

Производство безобжигового гравия из сырьевых композиций, модифицированных комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора, предусматривает двухстадийное гранулирование сырьевых материалов и включает в себя следующие технологические переделы:

- подготовку компонентов и изготовление ядра – сердцевины гравия;
- подготовку сырьевых материалов для получения оболочки гравия;
- разработку и оптимизацию составов композиций оболочки на основе комплексного использования минерального сырья и техногенных пуццолановых добавок;
- механоактивацию сырьевых композиций на основе комплексного использования минерального сырья и техногенных пуццолановых добавок;
- окатывание ядра – сердцевины в модифицированной, механоактивированной и многокомпонентной сырьевой композиции для оболочки;
- твердение сырцовых гранул;
- классификация гравия по фракциям.

Для защиты ядра–сердцевины от гниения и возгорания, а также придания необходимой реологической вязкости для последующей грануляции и склеивающей способности, применяли технологическую связку, состоящую из 20 % раствор жидкого стекла Na_2SiO_4 с концентрацией $1,3 \text{ кг/м}^3$. Полученные ядра характеризуются следующими показателями: фракции 5–10 мм и 10–20 мм, влажностью 10 %, насыпной плотностью 218 кг/м^3 , минимальной прочностью, но достаточной для несения собственной массы, модулем упругости близким к нулю.

Для регулирования количества связующей жидкости, поступающей на увлажнение сырьевой композиции и улучшения процесса гранулирования, в воду добавляли водоредуцирующую добавку – суперпластификатор С-3 (С) в количестве 0,5 %.

Методом математического моделирования с помощью ортогонального центрального трёхфакторного планирования эксперимента (программные обеспечения UROFRY, MS Excel и Sigma Plot) осуществлялась оптимизация модифицированных сырьевых композиций для изготовления оболочки гранул.

Производство гранул безобжигового гравия осуществлялось на лабораторном грануляторе. Процесс грануляции включает в себя подачу сухой модифицированной, механоактивированной и многокомпонентной сырьевой композиции, связующей жидкости и ядер – сердцевины на гранулятор и окатывание их до получения гранул округлой формы. Образующиеся гранулы поднимаются на некоторую высоту с вращающейся тарелкой, а затем под действием сил тяжести и инерции свободно скатываются вниз по поверхности слоя

увлажненного мелкодисперсного порошка под углом естественного откоса. Одновременно материал орошается связующей жидкостью, подаваемой через распылительную форсунку.

Окатанные гранулы после изготовления подвергались тепловой обработке – сушке при температуре 50 °С в течении 3-х часов.

Безобжиговый гравий, модифицированный комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора (БГМКД), представляет собой искусственный наполнитель шарообразной формы. Гранулы наполнителя состоят из ядра и оболочки (рисунок 1).



Рисунок 1. Безобжиговый гравий, модифицированный комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора (разработано авторами)

Исследование влияния комплексных добавок на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора на свойства безобжигового гравия проводили на пяти составах модифицированных сырьевых композициях по стандартной методике⁶ на поверенном оборудовании в условиях аттестованной лаборатории ФГБОУ ВО «БГИТУ» г. Брянска.

Свойства безобжигового гравия, модифицированного комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства безобжигового гравия, модифицированного комплексными добавками на основе техногенных пуццолан

Вид наполнителя	Наименование компонентов сырьевой композиции	Физико-механические характеристики						
		Насыпная плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Марка по прочности	Водопоглощение по массе, %	Пористость, %	Коэффициент размягчения	Морозостойкость, потеря в массе после 35 циклов, %
К-1	СГ:ПЦ:ЗУ	476	2,78	П125	29,8	60,8	0,83	9,3
БГМКД-1	СГ:ПЦ:ЗУ:ДГШ:С	452	3,32	П150	26,6	63,1	0,81	8,5
БГМКД-2	СГ:ПЦ:ЗУ:МК:С	426	4,58	П200	25,4	61,5	0,77	8,1
БГМКД-3	СГ:Ц:ЗУ:МК:ДГШ:С	402	5,62	П250	24,3	59,0	0,76	7,5
БГМКД-4	СГ:ПЦ:ДГШ:С	385	2,93	П125	27,5	60,2	0,79	8,3
БГМКД-5	СГ: ПЦ:МК:С	340	3,81	П150	26,5	62,3	0,78	8,1

⁶ ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний. Взамен ГОСТ9758-86; введ. 01.11.2013 г. – М.: Стандартинформ, 2014. – 60 с.

Наилучшие свойства показали образцы гравия, выполненные из составов БГМКД-1, БГМКД-2 и БГМКД-3.

Исследования структуры и фазового состава безобжигового гравия проведены с применением комплекса современных физико-химических методов: электронной растровой микроскопии и рентгенофазового анализа.

Исследование структуры образцов поверхности оболочки для составов 1, 2 и 3 безобжигового гравия, модифицированного комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора, осуществлялось с помощью многофункционального растрового электронного микроскопа Versa 3D DualBeam с двулучевой системой.

Электронно-микроскопические исследования безобжигового гравия показали различия структуры поверхности образцов гравия из составов БГМКД-1 и БГМКД-2 и БГМКД-3 (рисунок 2).

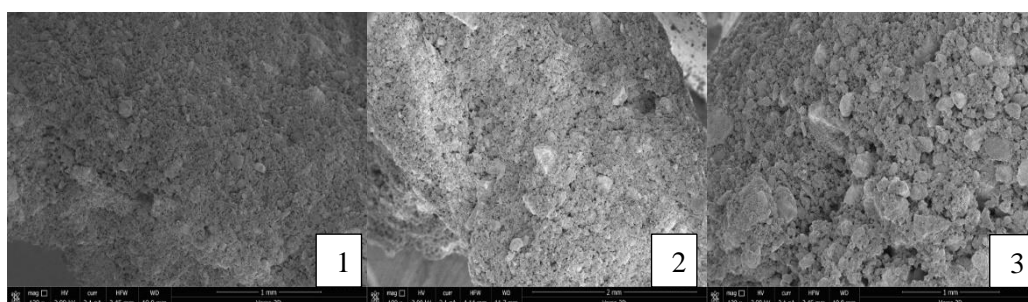


Рисунок 2. Структура поверхности состава: 1 – БГМКД-3; 2 – БГМКД-1; 3 – БГМКД-2; (сделано Агеевой А.С., описание составлено авторами)

Было установлено, что более плотную структуру поверхности имеют гранулы, выполненные из состава БГМКД-3, а поверхность гранул из составов БГМКД-1 и БГМКД-2 имеет более крупные частицы и более рыхлую структуру.

На основании исследований свойств безобжигового гравия, модифицированного комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора, было установлено, что наилучшим из пяти составов сырьевой композиции является состав БГМКД-3.

Рентгеноструктурному анализу подвергался материал, взятый из контактной зоны, оболочка – ядро безобжигового гравия после сушки (рисунок 3) и после испытания на морозостойкость (рисунок 4).

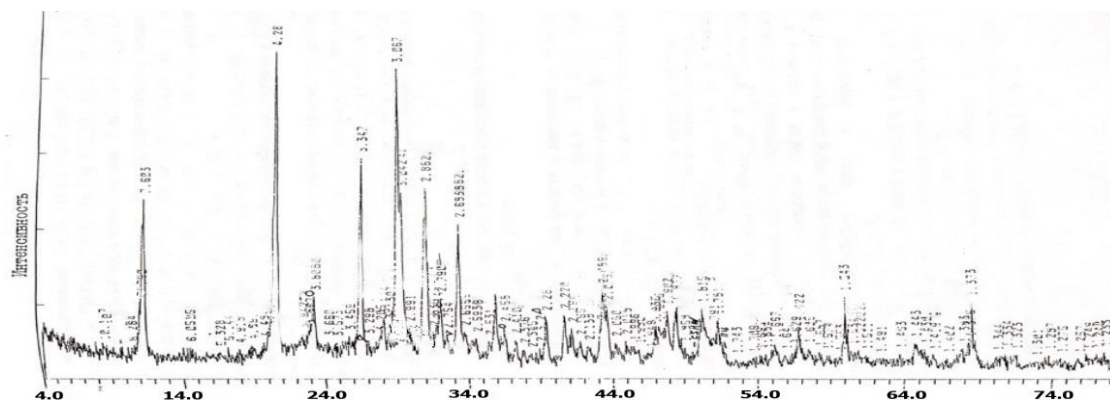


Рисунок 3. Рентгенограмма пробы из контактной зоны БГМКД-3 после сушки (сделано Соловьёвой И.А., описание составлено авторами)

В результате рентгеноструктурного анализа было установлено, что безобжиговый гравий, модифицированный комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора, является неоднородным продуктом, содержащим кристаллическую и аморфные фазы.

Аморфная часть представлена алюмосиликатным стеклом и скрытокристаллической гидратированной массой.

Контактная зона пробы состоит из двух фаз: аморфной и кристаллической в соотношении от 58 до 62 % и от 38 до 42 % соответственно.

Кристаллическая фаза состоит из следующих минералов: SiO_2 ; моносulfат кальция – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ [с d, нм: 0,89; 0,446; 0,394; 0,346], гипс полуводный $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ – с межплоскостным расстоянием [с d, нм: 0,605; 0,299; 0,280; 0,346], гипс безводный CaSO_4 [с d, нм: 0,346; 0,284; 0,232; 0,186], кальцит – CaCO_3 [с d, нм: 0,387; 0,305; 0,25; 0,228], моногидрокальцит – $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [с d, нм: 0,437; 0,308; 0,193; 0,217], ватерит – $\mu \cdot \text{CaCO}_3$ [с d, нм: 0,426; 0,358; 0,330; 0,272; 0,232; 0,2050; 0,182; 0,1648], шестиводный гидроалюминат кальция – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [с d, нм: 0,51; 0,445; 0,336; 0,281; 0,230; 0,205]. Гидроалюминаты кальция типа портландита C_4AH_x [с d, нм: 0,79; 0,83; 0,396; 0,387; 0,288; 0,246; 0,269; 0,165], $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [с d, нм: 0,491; 0,313; 0,261; 0,193; 0,179; 0,169]. Гидросиликаты типа CSH [с d, нм: 1,01; 0,307; 0,282; 0,183]. Возможно появление свободного CaO [с d, нм: 0,24; 0,278; 0,170], одновременно этот пик можно рассматривать как эттрингит и CSH на уровне фона.

После испытания на морозостойкость (35 циклов) безобжиговый гравий, модифицированный комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора, представляет собой смесь аморфной фазы от 68 до 73 % и кристаллической фазы от 32 до 27 % (рисунок 4).

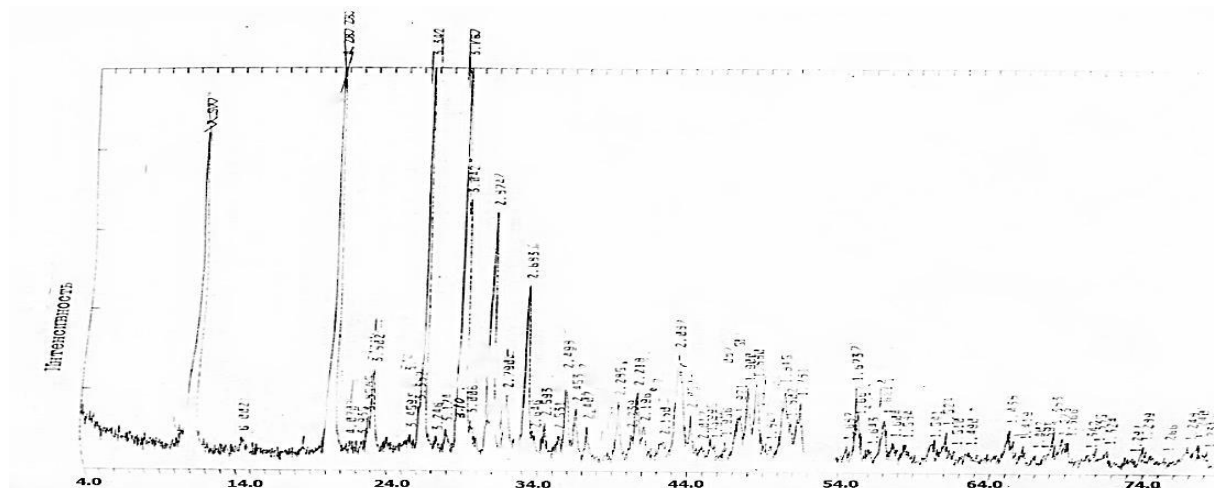


Рисунок 4. Рентгенограмма пробы из контактной зоны БГМКД-3 после испытания на морозостойкость (сделано Соловьёвой И.А., описание составлено авторами)

Кристаллическая фаза содержит: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; следы полуводного гипса и ангидрита CaSO_4 ; кальцит CaCO_3 ; алюминат кальция CA; гидроалюминат кальция типа C_4AH_x [с d, нм: 0,82; 0,79; 0,47; 0,387; 0,287; 0,245]. Резко уменьшилось содержание негидратированного цемента за счет дальнейшей гидратации. Увеличились пики двуводного гипса, кальцита и появились пики моногидрокальцита. Отсутствует моносulfат, т.е. sulfатная форма полностью перешла в двуводный гипс. Также отсутствует $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – портландит, за счет перехода в CaCO_3 и $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Гидросиликаты, очевидно, присутствуют в скрытокристаллической форме. Признаков снижения химического потенциала не обнаружено.

Заключение

На основании выполненных исследований выявлен характер влияния комплексной добавки на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора – С-3 на прочность, насыпную плотность и водопоглощение.

Установлено, что комплексная добавка на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора – С-3 позволяет повысить прочность на сжатие в 2,0 раза, уменьшить насыпную плотность в 1,18 раза и водопоглощение в 1,23 раза модифицированного безобжигового гравия.

Было установлено, что прочность П250 вместо П50-П100 для данной насыпной плотности безобжигового гравия объясняется созданием упрочненных активных контактных зон с новообразованиями кальцита, портландита, гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Данные новообразования зафиксированными РСА в слоях на многопротяженных поверхностях раздела, создаваемых при грануляции оболочки в сырьевой композиции, модифицированной комплексной добавкой на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора С-3.

При проведении электронно-микроскопического исследования проб образцов, взятых с поверхности безобжигового гравия, модифицированного комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора, показали их различия по структуре. Упорядоченное уплотнение структуры поверхности гранулы состава БГМКД-3, вызвано полученными новообразованиями за счёт совместного применения минеральных вяжущих и комплексной добавки на основе техногенных пуццолан – микрокремнезёма, золы-уноса и доменного гранулированного шлака и водоредуцирующего суперпластификатора С-3, которые способны управлять формированием микроструктуры гравия с одновременным его упрочнением.

Рентгенноструктурным анализом было установлено, что исследуемый безобжиговый гравий является жизнеспособным, так как полученный моносulfат не создаёт напряжения в полученной системе, а сама система в дальнейшем может привести к увеличению прочности за счет наличия аморфного кремнезема, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, гидрoалюминатов и гидросиликатов кальция.

По ресурсосберегающей технологии был получен безобжиговый гравий, модифицированный комплексными добавками на основе техногенных пуццолан и водоредуцирующего суперпластификатора с улучшенными свойствами, а также обоснована возможность расширения сырьевой базы нетрадиционными сырьевыми материалами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ласман И.А., Ласман В.С., Рыженко М.С., Бацанова К.С. Разработка и исследование составов сырьевой смеси для производства лёгкого композиционного гравия // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов III Международ. науч.-практ. конф. к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 320–325.
2. Ахметова Р.Т., Медведева Г.А. Новые композиционные строительные материалы на основе золошлаковых отходов ТЭЦ, модифицированные серой // Качество городской среды: строительство, архитектура и дизайн: материалы Всероссийской науч.-практ. конф. 2017. С. 10–13.

3. Новикова В.И., Петухов В.В., Терехова М.С., Ласман И.А. Шлаки в производстве легкого композиционного заполнителя // Строительство-2016: материалы II Брянского междунар. инновац. форума. 2016. С. 99–103.
4. Орендлихер Л.П., Соболева Г.Н. Безобжиговый композиционный пористый заполнитель из влажных асбестоцементных отходов и легкие бетоны на его основе // Строительные материалы. 2000. № 7. С. 18–19.
5. Горностаева Е.Ю., Ласман И.А., Федоренко Е.А., Камоза Е.В. Древесно-цементные композиции с модифицированной структурой на макро, микро и наноуровнях // Строительные материалы. 2015. №11. С. 13–16.
6. Pykin A.A., Lukutsova N.P., Golovin S.N. Disperse-Reinforced Polystyrene Concrete Modified by Silica-Containing Additive // Materials Science Forum. 2020. Vol. 992. Pp. 20–25.
7. Lukutsova N.P., Pykin A.A., Golovin S.N., Artamonova E.G. Properties and Microstructure of Gypsum Stone with Synthetic and Protein Foaming Agents // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. Pp. 313–317.
8. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Чивикова Е.В. Использование опал-кристобалит-тридимитового микрозаполнителя в тяжелом бетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. – С. 8–17.
9. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Чивикова Е.В., Моськина И.В. Структура и свойства наномодифицированного крупнопористого легкого бетона с кавитационно-обработанным заполнителем // Цемент и его применение. 2019. № 5. С. 52–56.
10. Pykin A.A., Gornostaeva E.Y., Lukutsova N.P. Lightweight Concrete Based on Gypseous Binding Materials, Modified with Microcrystalline Cellulose, and Cavitationally Processed Sawdust // Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. – Pp. 188–192.
11. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиева У.Д. Инновационные технологии производства экологически чистых строительных материалов нового поколения // Геология и геофизика Юга России. 2018. № 4. С. 149–155.
12. Ярмаковский В.Н. Об инновационных технологиях переработки крупнотоннажных техногенных отходов в низкоэнергоемкие и экономически эффективные строительные материалы. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 2 (368). С. 107–113.
13. Элинзон М.П., Васильков С.Г. Топливосодержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1980. – 234 с.
14. Лыгина Т.З., Лузин В.П., Корнилов А.В. Многоцелевое использование техногенного нерудного сырья и получение из него новых видов продукции: материалы XXII междунар. науч.-техн. конф. / Форт Диалог Исеть. Екатеринбург. 2017. С. 67–71.
15. Коренькова С.Ф., Сидоренко Ю.В. Применение природного и техногенного сырья с целью получения вяжущих и заполнителей для бетонов специального назначения // Научное обозрение. – 2016. № 2. С. 42–47.

16. Орендлихер Л.П., Королева Е.А., Соболева Г.Н., Ласман И.А. Безобжиговые слоистые пористые заполнители из техногенных отходов и легкие бетоны на их основе / Л.П. Орендлихер, Е.А. Королева, Г.Н. Соболева, И.А. Ласман // Кровельные и изоляционные материалы. 2005. № 2. С. 74–75.
17. Орендлихер Л.П., Ласман И.А. Безобжиговый пористый гравий для лёгких бетонов / Л.П. Орендлихер, И.А. Ласман // Жилищное строительство. 2001. №3. С. 24–25.
18. Гидаракос Е., Ерехинский А.Н., Зиньков А.В., Литвинец О.И., Салхофер С., Тарасенко И.А., Холодов А.С., Черныш О.Г., Петухов В.И. Комплексное устойчивое управление отходами. Горнодобывающая промышленность. Москва, 2016. С. 413–437.
19. Амеличкин И., Фролова Е. Получение гранулированных композиций из техногенного сырья // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов: VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 52–56.
20. Уфимцев В.М. Конструкционные обжиговые пористые заполнители на техногенном сырье // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 5 (172). С. 25–29.
21. Коренькова С.Ф., Сидоренко Ю.В. Применение природного и техногенного сырья с целью получения вяжущих и заполнителей для бетонов специального назначения // Научное обозрение. 2016. № 2. С. 42–47.
22. Василенко Т.А., Ламакина М.П. Физико-механические свойства керамзитового гравия, полученного с использованием электросталеплавильного шлака // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 187–196.
23. Хлыстов А.И., Белошицкий А.О. Физико-химические основы получения огнеупорного пористого заполнителя с применением фосфатных связующих // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей. Самарский государственный технический университет. Самара, 2017. С. 74–77.
24. Севостьянов М.В. Ресурсосберегающая техника и технологии для комплексной переработки техногенных материалов // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф. 2018. С. 146–158.
25. Будина Т.С., Курбанов Н.Х., Прокофьева Л.М. Золошлаковые отходы как заменитель природного материала и экономическая выгода // Новые идеи в науках о Земле: материалы XIV междунар. науч.-практ. конф. в 7-ми томах. 2019. С. 48–51.

Lasman Irina Aleksandrovna

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: i.Lasman@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2865-7496>

Mevlidinov Zelgedin Alaudinovich

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: zelgedinm@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7071-8339>

Levkovich Tatiana Ivanovna

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: tilevkovich@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8372-8114>

Tokar Nikolai Ivanovich

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: nikolay_tokar@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8263-6111>

Lasman Vitaliya Stanislavovna

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: vitaliyalasman@mail.ru

Muzalev Denis Valentinovich

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: dennis11732@gmail.com

Burn-free gravel modified with complex additives based on technogenic pozzolan and water-reducing superplasticizer

Abstract. The production of artificial porous aggregates (IPZ) is always based near quarries of plastic high-quality clays. But over time, they are produced and many factories are forced to use low-grade, sanded, organic-depleted and poorly expanded raw materials. This, accordingly, determines the need to find new technological methods for the production of artificial porous aggregates on the basis of widespread multi-tonnage cheap raw materials, which ensure the production of high-quality products from a modern point of view at reduced production costs.

The use of resource-saving technology in the production of IPZ will compensate for the limited raw material base of high-quality clays and the need for the acute use of substandard clays that provide a sufficiently high bulk density of the porous aggregate and low strength.

Therefore, the authors of the article proposed a modification of raw materials compositions for the production of non-fired gravel with complex additives based on man-made pozzolan and a water-reducing superplasticizer to improve the performance characteristics of IPZ.

The authors present the results of the study of the effect of complex additives based on technogenic pozzolan and water-reducing superplasticizer on the properties and structure of non-fired gravel.

It was experimentally established that a complex additive based on technogenic pozzolan and water-reducing superplasticizer C-3 leads to an increase in compressive strength (2 times) and to a decrease in bulk density (1.18 times) and water absorption (1.23 times) of modified non-fired gravel.

Studies have found that the action of pozzolan additives (ash, granulated blast furnace slags, microsilica) is characterized by hydraulic activity and the ability to bind calcium hydroxide, which in the hardening system practically eliminates the formation of ettringite. In this case, a low-base calcium hydrosulfoaluminate is formed without a local increase in volume. The use of the water-reducing superplasticizer C-3 allows to reduce the amount of the binding liquid entering to moisten the raw composition and to improve the properties of the resulting aggregate.

The use of modified raw materials compositions makes it possible to obtain non-burning gravel with improved properties. The obtained result is the result of the directed impact on the raw material composition in the production of non-firing gravel, a complex additive based on technogenic pozzolan and a water-reducing superplasticizer-C-3, both a micro-reinforcing and strengthening component.

Keywords: free-burning gravel; gypsum-cement-pozzolan binder; microsilica; blast-furnace granulated slag; fly ash; water-reducing superplasticizer; filler properties