



Эффективная минеральная добавка на основе отходов нефтехимических производств для бетонной строительной смеси

А.Д. Бадикова^{1*}, С.Р. Сахибгареев¹, Р.А. Федина¹, М.Н. Рахимов¹, М.А. Цадкин²

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия;

²Башкирский государственный университет; г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия.

* Контакты: e-mail: badikova_albina@mail.ru

© Коллектив авторов, 2020

РЕЗЮМЕ: Применение бетона в строительстве дает возможность надежной и долговечной эксплуатации сооружений, но для таких условий эксплуатации требуется бетон с необходимыми характеристиками. На сегодняшний день невозможно представить создание высококачественной бетонной строительной смеси без каких-либо добавок. Для активного управления структурой и свойствами бетонной смеси и бетона наряду с химическими добавками применяют минеральные добавки, представляющие порошки различной минеральной природы, получаемые из природного или техногенного сырья: молотых шлаков, горных пород и др. Они используются, например, для получения плотного бетона, повышают стойкость бетона к воздействию агрессивных сред и т.д. В данной статье предложен метод получения минеральной добавки к строительной смеси, а именно к бетону. Изучены качественные характеристики полученной добавки: индекс степени помола равен единице, стандартная консистенция (нормальная густота) – (180 ± 5) мм при массовом соотношении – «добавка : вода» – 100:70, сроки схватывания – начало 20 мин, водопоглощение 0,27%, содержание воды 9,65%, доля нерастворимого остатка в растворе соляной кислоты 1,70%. Апробирование добавки в составе бетона показало, что качество изделия не ухудшается, а фактическая прочность составляет 250,7 кгс/см², и это несколько выше прочности образца бетона без добавки. Установлено, что качество бетонных изделий с минеральной добавкой соответствует ГОСТу: плотность 1775 кг/м³; влажность по массе 0,3%; влажность по объему 0,5%. Введение минеральной добавки значительно улучшит свойства бетонной строительной смеси, а также уменьшит расход топливных ресурсов на производство самой бетонной строительной смеси, изделий конструкций на его основе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетонная строительная смесь, активная минеральная добавка, сернисто-щелочные стоки нефтехимических предприятий, отходы производства соды, вторичное использование материалов.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бадикова А.Д., Сахибгареев С.Р., Федина Р.А., Рахимов М.Н., Цадкин М.А. Эффективная минеральная добавка на основе отходов нефтехимических производств для бетонной строительной смеси // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 1. – С. 34–40. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-34-40.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство химических производств характеризуются выходом значительного количества побочных продуктов. Утилизация их, с одной стороны, способствует существенному повышению эффективности работы химических предприятий и направлена на охрану окружающей среды, а с другой — является одним из путей химизации производства строительных материалов, снижения затрат, интенсификации технологических процессов, расширения ассортимента и повышения качества строительных изделий.

Классифицировать побочные продукты химической промышленности можно по следующим критериям: по содержанию характерного химического компонента — это железистые материалы, фосфор- и фторсодержащие шлаки, гипсо- и известьсодержащие продукты; по технологическому назначению в производстве строительных материалов — это сырьевые материалы, интенсификаторы технологических процессов, добавки-модификаторы свойств материалов. [1, 2].

Для производства строительных материалов наиболее ценным сырьем из побочных продуктов химической промышленности являются шлаки электро-

термического производства фосфора, известковые и железистые отходы, полимерные продукты, гипсодержащие и др. [3, 4].

В производстве фосфора термическим способом в электропечах побочным продуктом являются фосфорные шлаки. При температуре 1300...1500°C фосфат кальция взаимодействует с углеродом кокса и кремнеземом, в результате чего образуются фосфор и шлаковый расплав. Шлак сливается из печей в огненно-жидком состоянии и гранулируется мокрым способом. При получении 1 т фосфора образуется 10–12 т шлака. На крупных химических предприятиях получают до 2 млн т шлака в год. Суммарное содержание в них CaO и SiO_2 – 95%, P_2O_5 и CaP_2 – 3%, Al_2O_3 – 4% [5].

В производстве ацетилена при действии воды на карбид кальция побочным продуктом является карбидная известь. Известковое тесто на основе так называемого «карбидного ила» содержит примеси неразложившегося карбида кальция и растворенного ацетилена. Содержание активных ($\text{CaO} + \text{MgO}$) в карбидной извести зависит от продолжительности ее пребывания на воздухе в отвалах и составляет 50–60% [6].

В производстве серной кислоты путем переработки серного колчедана отходом являются пиритные огарки (железистые побочные продукты). Количество в них Fe_2O_3 – 56–77%; SiO_2 – 9–22%; Al_2O_3 – 1–18%; CaO – 0,8–5,0%; MgO – 0,1–0,2%; SO_3 – 1–11%.

Отходами ряда химических и смежных с ними производств являются гипсодержащие побочные продукты. Гипсодержащие продукты образуются при производстве следующих продуктов: минеральных кислот (фосфогипс и фосфополугидрат, борогипс, фторангидрит, фторогипс), органических кислот (цитрогипс и др.), химической обработке древесины (гидролизный гипс), обработке водных растворов некоторых солей и кислот (кремнегипс, титаногипс и др.), очистке промышленных газов, содержащих сульфогипс; производстве солей из озерной рапы (рапной гипс) [7].

На содовых, целлюлозно-бумажных, азотно-туковых предприятиях скапливается в виде отходов значительное количество сырья, содержащего карбонат кальция. На предприятиях содовой промышленности накопились миллионы тонн твердых остатков – дистиллерных шламов. В их состав входят следующие компоненты: CaCO_3 – 50–65%, Ca(OH)_2 – 4–10%, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 5–10 %, CaCl_2 – 5–10%, примеси глинистых минералов и кварца – 5–10%. Одним из промышленных направлений использования этих ресурсов является получение известково-белитового вяжущего и силикатного кирпича на его основе. Наличие в составе отходов хлорида и сульфата кальция

значительно повышает реакционную способность сырьевой смеси, позволяя вести обжиг вяжущего при 950...1000°C [8–13].

Отходы содового производства используются также для получения наполнителя асфальтобетонных смесей, линолеума, поливинилхлоридной плитки и тампонажных материалов [14].

Сульфаткальциевые отходы производства фтороводорода используются в качестве цемента и могут найти применение при производстве строительных материалов и изделий. Это возможно благодаря получению ангидрида из отхода путем измельчения и обработки серной кислотой с последующей ее нейтрализацией кальцийсодержащим материалом, что исключает затраты тепловой энергии при получении ангидрида [15].

Шламовые отходы на основе карбоната кальция со стадий содово-каустической очистки рассола хлористого натрия применяются в качестве цементной смеси для приготовления цементного клинкера [16, 17]. Шлам предварительно разбавляют водой и обрабатывают газом на основе диоксида углерода с последующим обезвоживанием шламовых отходов и смешиванием с алюможелезосиликатным компонентом, что упрощает использование шлама в качестве цементного клинкера. Шламовый отход химводоподготовки ТЭЦ применяется в качестве вяжущего в штукатурных и кладочных растворах. Имеющийся в составе шлама карбонат кальция переводят в сульфатную фазу путем нейтрализации его раствором серной кислоты и дальнейшей автоклавной обработкой, что позволяет увеличить прочность вяжущего и уменьшить водопотребность [14, 18].

На сегодняшний день промышленность строительных материалов достаточно эффективно и в больших объемах может применять образующиеся отходы различных производств для изготовления строительных материалов.

На основе отходов различных отраслей предприятия строительных материалов выпускают изделия и материалы должного качества, причем с меньшими затратами на производство, чем при использовании первичного сырья, так как исключаются расходы на добычу, транспортирование, обработку сырья. В современных условиях вторичные сырьевые материалы используются в основном в качестве добавок, придающих строительным изделиям различные свойства, или являются заменителями минерального сырья. Промышленностью строительных материалов накоплен положительный опыт использования отходов как сырья для производства эффективных строительных материалов, таких как бетон, штукатурные и кладочные растворы, не уступающих по качеству изделиям, полученным при использовании первичного сырья [19].

Ввиду накопления большого количества различных промышленных отходов на сегодняшний день стало актуальным использовать их в качестве минеральных добавок. Например, отходы производства фосфора и бора, фосфогипс и борогипс, которые довольно эффективно заменяют гипс в бетонах и строительных растворах, но предварительная обработка этих отходов перед использованием их в качестве активной минеральной добавки — процесс довольно трудоемкий и относительно не практичный.

В сернисто-щелочных стоках нефтехимических предприятий содержание сульфат-ионов превышает нормы ПДК для рыбохозяйственных объектов в 72900 раз и для хозяйственно-бытового потребления в 72500 раз [20]. Вследствие высоких концентраций сульфат-ионов сернисто-щелочные стоки можно рассматривать как дополнительный источник сырья нефтехимических предприятий, а также производства строительных материалов [21].

В настоящей работе рассматривалось получение и определение качественных характеристик минеральной добавки на основе отходов нефтехимических и химических производств для бетонов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходных компонентов для получения минеральной добавки использовались сернисто-щелочные сточные воды нефтехимических производств и отходы химического производства соды, состав которых представлен в табл. 1 и 2.

Из предоставленных данных видно, что по количеству содержащихся в нем примесей сток более насыщен сульфат-ионами.

Сернисто-щелочной сток обрабатывался отходом содового производства (отход II).

В эксперименте использовался отход производства соды с различными концентрациями, характеристика представлена в табл. 3.

Для приготовления образцов бетона использовались портландцемент марки 400, песок и щебень соответствуют ГОСТ.

Для подготовки отхода II с концентрациями 10, 50, 75% использовался высушенный отход химического производства в количестве 100, 500, 750 г. В коническую емкость вместимостью 1000 мл насыпали предварительно определенное путем взвешивания на аналитических весах количество отхода, далее отход заливали водой в количестве 1000 мл. Перед каждым добавлением раствор предварительно перемешивали.

Извлечение сульфат-ионов осуществляли на лабораторной установке периодического действия. В реактор помещали 200 мл исследуемой пробы сернисто-щелочной сточной воды. Затем по каплям

Таблица 1

Состав сернисто-щелочных сточных вод (отход I)

Состав	Содержание, мг/л
Сульфаты	60000–100000
Сульфиды	0,001–0,500
Фенолы	35–50
Нефтепродукты	100–200

Таблица 2

Состав отхода производства соды (отход II)

Состав	Содержание, % мас.
Mg(OH) ₂	8–10
CaCO ₃	70–80
CaSO ₄	0,5–1
NaCl	16–20
Ca(OH) ₂	5–8

Таблица 3

Характеристика отхода II

№	Концентрация, %	ρ, г/см ³
1	10	1,011–1,012
2	50	1,050–1,051
3	75	1,081–1,082

добавляли соответствующее количество отхода содового производства при постоянном перемешивании. Перемешивание осуществлялось в течение 10 минут, после чего реакционная смесь отстаивалась в течение 2 часов. Затем отделялся осадок и анализировался сток на содержание сульфат-ионов.

После предварительной сушки полученный осадок применялся в качестве активной минеральной добавки в бетонах.

Сухие составляющие бетона взвешивали в определенных количествах в соответствии с маркой бетона (табл. 4–5), высыпали на деревянный щит, обитый железом, и тщательно перемешивали.

Затем добавляли воду и перемешивали все компоненты до однородной массы. Количество используемой воды нормировали путем определения степени подвижности бетонной смеси, которую определяли при помощи стандартного конуса.

Конус, предварительно смоченный водой, наполняли бетонной смесью в три слоя одинаковой высоты, штыкуя каждый слой 25 раз металлическим стержнем. После того как бетонная смесь была уложена в конус, избыток смеси срезали металлической

Таблица 4

Расход материалов на приготовление 1 м³ бетона М 200

Материалы	Содержание, % мас.
Цемент ПЦ-400	12
Гравий	45
Песок	30
Вода	13
Добавка	0

Таблица 5

Расход материалов на приготовление 1 м³ бетона М 200 с добавлением добавки

Материалы	Содержание, % мас.
Цемент ПЦ-400	9
Гравий	45
Песок	30
Вода	13
Добавка	3

линейкой, поднимали, следя за тем, чтоб он поднимался без перекосов.

Далее при помощи линейки замеряли высоту осевшей бетонной смеси после снятия конуса. Если разница между высотой конуса и бетонной смесью составляла 3 см и более, то бетонная смесь готовилась заново. Эксперимент повторялся, пока нормальная густота бетонной смеси не была установлена, и количество взятой воды не стало оптимальным [17, 22, 23].

Бетонную смесь выкладывали шпателем в заранее подготовленные смазанные маслом формы размером 10 • 10 • 10 см. Готовились 4 образца: 2 стандартных образца бетона и 2 образца с добавлением полученной минеральной добавкой. Формы с бетонной смесью ставились на вибростол на 2–3 мин. Уплотнялись и выравнивались шпателем. Затем формы относили в пропарочную камеру и оставляли до следующего дня при температуре $T = 70–90^{\circ}\text{C}$.

Таблица 7

Материальный баланс сернисто-щелочного стока

Взято	м, г	% мас.	Получено	м, г	% мас.
Сернисто-щелочной сток	100,00	50,00	Обработанная сточная вода	125,98	62,99
Отход содового производства (75% водный раствор)	100,00	50,00	Осадок	53,70	26,85
			Потери	20,32	10,16
	200,00	100		200,00	100

Таблица 6

Результаты определения сульфат-ионов

Отход содового производства, водн. раствор	Соотношение «сернисто-щелочной сток: отход содового производства»	Концентрация SO_4^{2-} в стоке после очистки, мг/л
10%	1 : 0,6	58959,72
	1 : 0,7	39750,90
	1 : 0,8	36919,78
	1 : 0,9	36804,56
	1 : 1	32261,60
50%	1 : 0,6	42300,00
	1 : 0,7	38220,00
	1 : 0,8	35340,00
	1 : 0,9	34260,00
	1 : 1	31512,56
75%	1 : 0,6	39067,81
	1 : 0,7	37421,81
	1 : 0,8	36244,92
	1 : 0,9	34409,63
	1 : 1	30180,00

Получение активной минеральной добавки из сернисто-щелочных сточных вод осуществляли на лабораторной установке периодического действия. Концентрация сульфат-ионов в исходном стоке составляла 67600 мг/л. Результаты представлены в табл. 6.

Содержание сульфат-ионов в стоке после обработки уменьшалось на 28532–37420 мг/л. При изменении концентрации отхода производства соды и соотношении 1:1 содержание сульфат-ионов в сернисто-щелочном стоке изменяется незначительно.

Исследовалась зависимость содержания сульфат-ионов в сернисто-щелочном стоке после обработки от температуры и времени процесса (рис. 1 и 2).

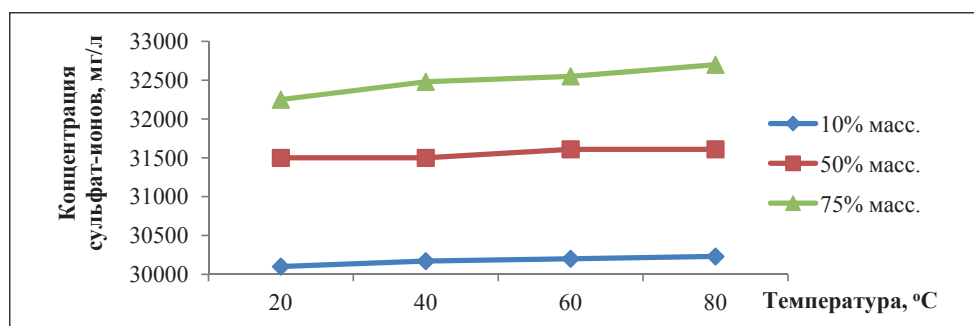


Рис. 1. Зависимость содержания сульфат-ионов в отходе I от температуры

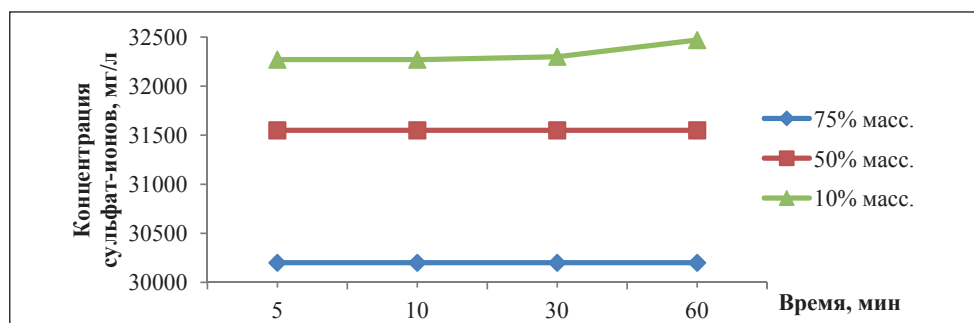


Рис. 2. Зависимость содержания сульфат-ионов в отходе I от времени

При изменении параметров процесса остаточное содержание сульфат-ионов в отходе I практически не меняется.

Рассчитан материальный баланс процесса (табл. 7).

Из рассчитанного материального баланса следует, что для получения 53,7 г осадка, который используется в дальнейшем как активная минеральная добавка в бетоны, потребуется 100 г сернисто-щелочного стока и 100 г отхода производства соды.

Для увеличения выхода осадка применяли многоэтапную обработку стока (табл. 8).

В случае обработки сернисто-щелочного стока в 3 этапа содержание сульфат-ионов в нем уменьшается в 7 раз. Исходя из полученных результатов, предпочтительна трехэтапная обработка стока для получения большего выхода осадка (табл. 9).

При обработке сернисто-щелочного стока в 3 этапа выход осадка увеличился до 230 г.

Полученный осадок использовался в качестве активной минеральной добавки для бетонов. Определялись качественные характеристики минеральной добавки по ГОСТ (табл. 10).

Экспериментальный образец является медленнотвердеющим и грубого помола. Стандартная консистенция соответствует норме при массовом соотношении «добавка : вода» — «100:70».

С полученной активной минеральной добавкой были приготовлены образцы бетона марки М 200* с содержанием добавки 3% (табл. 11).

Определены качественные характеристики полученных образцов (табл. 12).

Апробированная добавка при введении в бетон не ухудшает качества изделия, а фактическая проч-

Таблица 8

Получение минеральной добавки из сернисто-щелочных сточных вод в 3 этапа

Отход содового производства, 75% водн. р-р	№ этапа	Соотношение «сернисто-щелочной сток : отход содового производства»	Концентрация SO_4^{2-} в стоке после очистки, мг/л
	1	1:1	30180,00
	2	1:1	18929,00
	3	1:1	9546,80

Таблица 9

Материальный баланс извлечения сернисто-щелочного стока

Взято	т, г	% мас.	Получено	т, г	% мас.
Сернисто-щелочной сток	300,00	50,00	Обработанная сточная вода	309,50	51,58
Отход содового производства (75% водный р-р)	300,00	50,00	Осадок	230,00	38,33
			Потери	60,50	10,08
	600,00	100		600,00	100

Таблица 10

Показатели качества полученной активной минеральной добавки

Показатель	Экспериментальный образец	Промышленный образец
Стандартная консистенция, d-диаметр распыла, 180±5 мм	Массовое соотношение «добавка : вода» — 100:70	Массовое соотношение «добавка : вода» — 100:50–100
Сроки схватывания	Начало 20 мин — конец 2 ч	Начало 20 мин — конец не нормируется
Индекс степени помола	1	1
Содержание нерастворимого остатка, %	0,5–1,7	0,6–1,6
Водопоглощение, %	0,27	0,17–0,30
Содержание кристаллизационной воды, %	9,65	8,35–9,68

Таблица 11

Характеристика бетонных образцов

Обозначение образцов		Размер образца, см	Дата	
			Заливки	Испытания
Экспериментальный образец*	№ 1	10,06x10,04x10,06	10.05.19	11.05.19
	№ 2	10,06x9,99x10,09	10.05.19	08.06.19
Контрольный образец	№ 1	10,09x9,94x10,05	14.05.19	15.05.19
	№ 2	10,10x9,89x10,08	14.05.19	12.06.19

ность составляет 250,7 кгс/см², что несколько выше прочности образца бетона без добавки.

Таблица 12

Показатели качества бетонных образцов

Показатель	Экспериментальный образец № 2	Контрольный образец № 2
Фактическая прочность, кгс/см ²	250,7	244,9
Плотность, кг/м ³	1775	1986
Влажность по массе, %	0,3	0,3
Влажность по объему, %	0,5	0,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, получена минеральная добавка на основе отходов нефтехимических и химических предприятий, определены ее качественные характеристики: индекс степени помола 1, стандартная консистенция (нормальная густота) — (180±5) мм при массовом соотношении — «добавка: вода» — 100:70, сроки схватывания — начало 20 мин, водопоглощение 0,27%, содержание воды 9,65%, доля нерастворимого остатка в растворе соляной кислоты 1,70%.

Показано, что качество бетонных изделий с добавкой соответствует требованиям ГОСТ на марку М-200 (фактическая прочность образцов — 250,7 кгс/см²; плотность 1775 кг/м³; влажность по массе 0,3%; влажность по объему 0,5%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Л.Н. Строительные материалы из отходов промышленности. — М.: Знание, 1978. — 55 с.
2. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности. — К.: Стройиздат, 1998. — С. 38–42.
3. Гладких К.В. Шлаки — не отходы, а ценное сырье. — Л.: Химия, Ленингр. отд., 1989. — С. 55–57.
4. Щукина Е.Г., Беппле Р.Р. Комплексное использование минерального сырья и отходов промышленности для производства строительных материалов. — М.: Химия, 2004. — С. 10–16, 20–49, 51–68, 105–116.
5. Баженов П.И. Использование отходов промышленности для производства строительных материалов. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд., 1989. — С. 12–15.
6. Вихтер Я.И. Производство известково-белитовых вяжущих веществ. — М.: Высш. Школа, 1974. — С. 13–15.
7. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. — М.: Химия, 1978. — С. 76–83.
8. Патент № 2297989 Российская Федерация, МПК C04B 11/05. Способ получения активного ангидрита: № 2005132129/03; заявл. 17.10.2005; опубл. 27.04.2007 / Зыков В.М., Зыкова Н.С., Федорчук Ю.М., Цыганкова Т.С.; 3 с.
9. Патент 2081074 Российская Федерация, МПК C04B 7/00. Способ приготовления сырьевой смеси для получения цементного клинкера: заявл. 13.02.1995; опубл. 10.06.1997 / Афанасьев В.В., Колесников В.Я., Муханов А.А., Суханов М.А., Феднер Л.А., Храпов В.С., Юсупов И.Г.; 2 с.
10. Патент № 95102840 Российская Федерация, C09K8/80. Составы для усиления разрывов пропантов, используемые для подержания разрывов открытыми: заявл. 06.05.2011; опубл. 10.10.2012 / Плотников В.А., Пейчев В.Г., Прибытков Е.А., Алексеев В.В.; 3 с.
11. Патент № 2200714 Российская Федерация, C04B11/26. Способ получения вяжущего: заявл. 23.04.2001; опубл. 20.03.2003 / Сучков В.П., Киушкин Э.В.; — 2 с.
12. Смирнов Д.Н., Дмитриев А.С. Автоматическое дозирование реагентов при обработке сточных вод и водоподготовке. — М.: Химия, 1956. — С. 174–180.
13. Краузе Л.С. Приготовление растворов и бетонных смесей. — М.: Стройиздат, 1968. — С. 22–25.
14. Ланина Т.Д. Комплексная утилизация нефтегазопромышленных отходов для обеспечения экологической безопасности и дополнительного извлечения минерального сырья. Автореф. диссер. доктора технических наук. — Ухта, 2009. — 34 с.
15. Егорова Г.И. Утилизация отходов как социальная проблема повышения качества жизнедеятельности человека // Материалы Международной научно-практической конференции / Отв. Ред. Е.И. Бражник. — СПб.: Экспресс, 2012. — С. 46–50.
16. Сигитова И.С. Оценка эффективности и классификация минеральных добавок к цементам // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 11. — С. 1109–1113.
17. Липунова И.Н., Юпатов А.А., Аликин В.И. Использование твердых промышленных отходов в производстве материалов строительного назначения // Экология и промышленность России. — 2009. — № 3. — С. 19–23.
18. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. — Введ. 2016-04-01. — М.: Стандартинформ, 2016. — 20 с.
19. Ивчатов А.Л., Гляденов С.Н. Применение отхода производства фосфора в качестве минеральной добавки в строительные материалы // Экология и промышленность России. — 2007. — № 9. — С. 10–14.
20. Муртазаев С.-А.Ю. Мелкозернистые бетоны на основе наполнителей из вторичного сырья: научное издание / С.-А.Ю. Муртазаев, Д.К.-С. Батаев, З.Х. Исмаилова. — М.: Комтехпринт, 2017. — 142 с.
21. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В.Г. Батраков // Строительные материалы. — 2006. — № 10. — С. 4–7.
22. Murtazaev S.-A.Yu. Cement concrete composites on the basis of bypassed stone and stone milling wastes / Said-Alvi Yu. Murtazaev, Dena K.-S. Batayev, Magomed S. Saydumov // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved) 61, 2016. — № 4B/2016. — P. 327–336.
23. Ущеров-Маршак А.В. Эффективность добавок — тема бетоноведения и технологии бетона / А.В. Ущеров-Маршак, Т.В. Бабаевская // Технологии бетонов. — 2012. — № 7–8 (72–73). — С. 53–55.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бадикова Альбина Дарисовна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физическая и органическая химия» технологического факультета, Уфимский государственный нефтяной технический университет; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, e-mail: badikova_albina@mail.ru;

Сахибгареев Самат Рифович, аспирант 1-го года обучения факультета общенаучных дисциплин, Уфимский государственный нефтяной технический университет; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, e-mail: samat.sax2014@yandex.ru;

Федина Регина Алсыновна, соискатель кафедры «Физическая и органическая химия» технологического факультета, Уфимский государственный нефтяной технический университет; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, e-mail: r121990@yandex.ru;

Рахимов Марат Наврузович, доктор технических наук, профессор, декан технологического факультета, Уфимский государственный нефтяной технический университет; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, e-mail: tfdekan@mail.ru;

Цадкин Михаил Авраамович, доктор технических наук, профессор кафедры «Высокомолекулярных соединений и общей химической технологии» химического факультета, Башкирский государственный университет; ул. Заки Валиди 32, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450076, e-mail: kuzbassufa@gmail.com

Статья поступила в редакцию: 26.12.2019.

Статья поступила в редакцию после рецензирования: 04.02.2020.

Статья принята к публикации: 07.02.2020.