

УДК 691.32

*ХАФИЗОВА ЭЛЬЗА НАЗИФОВНА, канд. техн. наук, доцент,
hafizova_elza@mail.ru
АХТЯМОВ ВАДИМ ФАРИДОВИЧ, аспирант,
sib_zhil_term@mail.ru
Тюменский индустриальный университет,
625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ НЕРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СВОЙСТВА БЕТОНОВ

В статье рассматриваются вопросы вторичной переработки отходов промышленно-сти для производства строительных материалов. Приводятся результаты исследования цементных бетонов с использованием отсевов дробления щебня карьеров Свердловской и Челябинской областей. Определены физико-механические свойства отсевов и бетонов на их основе. Установлено, что использование отсевов дробления щебня и добавок на основе поликарбоксилатов позволяет получить бетоны классов по прочности на сжатие В22,5–В40.

Ключевые слова: техногенные отходы; вторичная переработка; строительные материалы; отсева дробления щебня.

*ELZA N. KHAFIZOVA, PhD, A/Professor,
hafizova_elza@mail.ru
VADIM F. AKHTYAMOV, Research Assistant,
sib_zhil_term@mail.ru
Tyumen State Oil and Gas University,
38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen', Russia*

CONCRETE PRODUCTION BASED ON INDUSTRIAL NON-METALLIC WASTES

The paper deals with industrial waste recycling for the production of constructional materials. The research results are presented for cement concretes based on stone screening dust of quarries in Sverdlovsk and Chelyabinsk regions. Physical-mechanical properties of stone screening dust-based concretes are explored in this paper. It is shown that the use of stone screening dust and polycarboxylate additives allows producing concretes of B-22 and 5-B40 grades.

Keywords: industrial waste; recycling; constructional materials; stone screening dust.

Важным направлением развития нашей промышленности является разработка и применение энергосберегающих технологий, использование местных материалов, а также отработавших изделий, местного мусора и других отходов. В настоящее время все больше используются запасы с низким содержанием полезных компонентов, что неизбежно ведет к повышению энергозатрат на добычу и переработку сырья, при этом увеличивается количество отходов и возрастает загрязнение окружающей среды. Современные экосистемы горнодобывающих, металлургических предприятий и топливно-энерге-

тических комплексов представляют угрозу здоровью человека, что связано со значительными выбросами в атмосферу; с образованием опасных стоков, загрязнением водных и почвенных ресурсов; с нарушением сбалансированного состояния экосистем [1]. Техногенные отходы могут заменить дорогостоящее традиционное сырье и использоваться для изготовления строительных материалов и изделий различного назначения, что является особенно актуальным в наши дни. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ является основным документом в Российской Федерации, который регулирует правила обращения с отходами. Согласно ВСН 39-83 (Р) «Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве» утилизации подлежит исключительно металлолом, а остальные строительные отходы при определенных условиях представляется возможным использовать повторно в строительном производстве [2]. Около 60 % всех отходов строительства и производства строительных материалов подлежат использованию только в процессе реконструкции по прямому назначению – это относится к деревянным несущим элементам, заполнениям проемов, плитке. Если теряется несущая способность конструкции, то для каждого материала предусмотрен свой способ переработки, например: деревянные конструкции могут быть переработаны в ДСП; железобетонные элементы могут быть использованы в качестве подстилающих слоев временных дорожных покрытий или в качестве заполнителя для новых железобетонных изделий [3].

При производстве щебня из горных пород образуются тонны отходов (около 60–90 млн м³/год отсевов дробления на щебеночных заводах России), которые частично используются (от 50 до 70 %), а остальные направляются в отвалы [1, 4].

Сырьевая база мелких природных заполнителей бетона ограничена, и её объем будет уменьшаться по мере выработки месторождений кондиционных песков, поэтому рядом исследователей предлагается использование песков из отсевов дробления щебня [1, 4, 5]. Пески из отсевов дробления применяются для строительства автомобильных дорог в России, США, Германии, для строительства гидротехнических сооружений, таких как плотины Saguling (Индонезия), Jebha (Нигерия), Grand Maison (Франция), Vueltoza (Венесуэла) и др. [5].

Однако применение в бетоне отсевов дробления сдерживается из-за недостаточной изученности свойств, определяющих их пригодность как компонентов бетона, а также отсутствия научно обоснованных рекомендаций. В связи с этим представляют интерес вопросы комплексного использования отходов, образующихся при переработке скальных горных пород.

Отсевы дробления, полученные в процессе переработки плотных горных пород, представляют собой мелкодисперсный материал. В табл. 1 представлен усредненный зерновой состав отсевов по данным М.Я. Якобсона [6].

Как видно из данных табл. 1, в среднем отсевы дробления являются фракционированными, что значительно расширяет возможности использования данных отходов и позволяет применять их не только для отсыпки дорог, но и при производстве бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

Таблица 1

Зерновой состав отсевов дробления

Фракция, мм	Содержание фракций, %		
	Пределы изменения	В среднем	Требования ГОСТ 26633–2015 (ГОСТ 31424–2010)
3,0–5,0	10–54	15	0–20
1,2–3,0	12–26	22	5–25
0,6–1,20	10–42	26	15–25
0,15–0,6	13–49	27	30–70
0–0,15	4–17	11	0–10

Региональной особенностью производства бетона в Уральском федеральном округе является распространение в качестве мелкого заполнителя нерудных материалов из отсевов дробления. При этом низкая относительно природных песков цена и доступность материала обуславливают популярность отсева в качестве сырья для производства бетонов. Такие пески характеризуются повышенной крупностью, но при этом неравномерностью гранулометрического состава. В свою очередь, крупный заполнитель, характерный для Уральского федерального округа, представлен, как правило, интрузивными породами с маркой по дробимости выше 1200, который также имеет отклонения от стандартного процента по содержанию пылевидных частиц [9].

Целью данного исследования является разработка эффективных бетонов для условий Западной Сибири на полифракционных заполнителях, состоящих из щебня и отсевов дробления в виде песка и пыли карьеров, а также химических добавок – регуляторов свойств бетонной смеси.

Авторами статьи были проведены экспериментальные исследования отсевов дробления щебня с гранитного карьера г. Реж (Свердловская область) и доломитового карьера г. Сатка (Челябинская область) в соответствии со стандартными методиками по ГОСТ 31424–2010. Результаты представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Физико-механические свойства отсевов

Показатели	Щебеночные заводы, карьеры	
	Щебеночный завод, г. Реж	Карьер, г. Сатка
Горная порода	Гранит	Доломит
Модуль крупности	2,57	1,7
Фракция щебня 5–10 мм, %	5	3,8
ПГИ, %	2,9	2,0
Насыпная плотность, кг/м ³	1450	1380
Содержание глины в комках, %	0,3	0,1
Марка щебня по дробимости	1000	800

Таблица 3

Количественный химический анализ проб гранита и доломита

Лаб. проба №	Содержание основных оксидов, масс. %											
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	п. п. п
390 (гранит)	70,82	2,33	1,09	4,00	12,58	0,40	0,08	0,05	3,51	2,22	–	2,85
391 (доломит)	0,11	31,61	23,04	1,51	2,58	0,09	0,03	0,06	0,33	0,40	40,07	–

Было установлено, что отсев от производства щебня, как и любой строительный материал, обладает рядом недостатков:

– специфическая форма и качество поверхности зерен – преимущественно угловатые с шероховатой поверхностью;

– повышенное содержание слюды (отсев производства ООО «Режевской щебеночный завод»). Чешуйки слюды имеют низкую адгезию к цементу, что может в дальнейшем провоцировать образование трещин и, соответственно, снижать прочность бетона;

– запыленность отсева (проход через сито № 0,16 составляет 16,5 %) способствует повышению водопотребности бетонной смеси, что также негативно отражается на показателях прочности бетона;

– повышенное водопоглощение отсева (12–23 %) снижает морозостойкость готовых бетонных изделий.

Авторами статьи были проведены исследования по разработке составов бетонных смесей с использованием отсевов дробления щебня [7, 8]. Часть исследований выполнена в рамках реализации программы «Актуальные проблемы молодежной науки и инноваций в Тюменской области» (грант УМНИК). В табл. 4 представлен сравнительный анализ бетонов, приготовленных с использованием крупнозернистого песка и отсевов от дробления щебня.

Таблица 4

Результаты исследования свойств мелкозернистого бетона

Показатели	Класс бетона, вид заполнителя			
	В22,5		В35	
	Крупнозернистый песок*	Отсев от дробления щебня	Крупнозернистый песок*	Отсев от дробления щебня
Плотность, кг/м ³	1950	1980	2235	2265
В/Ц	0,30	0,31	0,26	0,27
Подвижность бетонной смеси (марка по удобоукладываемости)	28 с (Ж 3)	22 с (Ж 3)	25 с (Ж 3)	21 с (Ж 3)
Прочность при сжатии, МПа	32,1	31,4	50,6	46,9

* Крупнозернистый песок производства ООО «Тюменьнеруд» имеет характеристики: насыпная плотность – 1492 кг/м³; модуль крупности – 2,35; содержание пылевидных и глинистых частиц – 0,2 %.

Как видно из данных табл. 4, использование отсевов от дробления щебня незначительно снижает прочность бетона (на 2–8 %), сохраняя при этом марку по удобоукладываемости (Ж 3).

Экспериментальные исследования, проведенные в лаборатории Тюменского индустриального университета и на заводе ЖБИ «Ротор» (п. Винзили, Тюменский район), показали пригодность разработанных составов бетонных смесей с использованием отсевов дробления щебня для производства мелкоштучной продукции в соответствии с требованиями ГОСТ 17608–91 и ГОСТ 6133–99. Однако для производства высокоэффективных бетонов необходимо получение смесей с меньшим водосодержанием, высокой прочностью и морозостойкостью. В связи с этим нужно было произвести поиск и исследование влияния добавок на свойства полученных бетонных составов.

В ходе проведения экспериментального исследования были изучены свойства разработанных составов бетонов на основе отсевов дробления щебня с добавкой гиперпластификатора марки MC-PowerFlow (производства компании MC Bauchemie, Германия) (табл. 5).

Таблица 5

**Свойства бетонов, полученных на различных песках
из отсевов дробления щебня**

№ состава	Содержание добавки, % от массы Ц	Жесткость, с	Плотность, кг/м ³	В/Ц	Прочность на сжатие в 28 сут, МПа
1-0	0	23	2270	0,4	39,1
1-1	0,4	20	2320	0,4	41,5
1-2	0,6	14	2380	0,4	47,1
1-3	0,8	5	2400	0,4	53,2
2-0	0	26	2200	0,4	32,5
2-1	0,4	19	2290	0,4	32,7
2-2	0,6	11	2320	0,4	34,8
2-3	0,8	5	2350	0,4	37,8

Добавка MC-PowerFlow представляет собой эфиры поликарбоксилатов, позволяет улучшить гидратацию цемента, реологию бетонной смеси при предельно низком водоцементном отношении. На рис. 1 представлен механизм влияния поликарбоксилатов на гидратацию цемента, суть которого заключается в адсорбции гиперпластификаторов на продуктах гидратации цемента и изменении дзета-потенциала (ζ -потенциал).

В табл. 5 базовым являлся следующий состав бетонной смеси: вода – 180 л/м³, цемент – 450 кг/м³, щебень – 1040 кг/м³, отсев от дробления щебня – 750 кг/м³. В составах 1-1, 1-2, 1-3 был применен гранитный отсев, в составах 2-1, 2-2, 2-3 – доломитовый отсев.

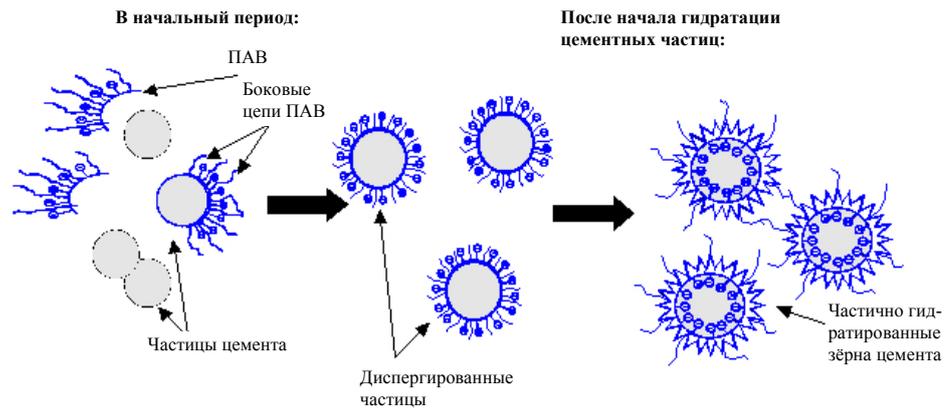


Рис. 1. Механизм взаимодействия эфиров полиакрилатов при гидратации цемента

Полученные данные (табл. 5) позволяют судить, что количество добавки, адсорбированной на цементе, может быть сопоставлено с удобоукладываемостью бетонной смеси. Введение добавки MC-PowerFlow в бетонную смесь в количестве от 0,4 до 0,8 % (от массы цемента) позволяет снизить жесткость смеси с 26 до 5 с и способствует созданию плотной контактной зоны у поверхности заполнителя (отсева щебня) и повышению прочности сцепления с цементным камнем. Гиперпластификатор снижает отрицательное влияние пылевидных частиц мелкого заполнителя на водопотребность бетонной смеси, повышает смачиваемость зёрен заполнителя, снижает вязкость бетонной смеси, уменьшая вероятность образования несплошностей контактов цементного камня с заполнителем. Кроме того, введение добавки гиперпластификатора MC-PowerFlow способствует росту прочности бетона, и к 28 сут нормального твердения прочность находится в пределах 32,7–53,2 МПа (рис. 2, 3).

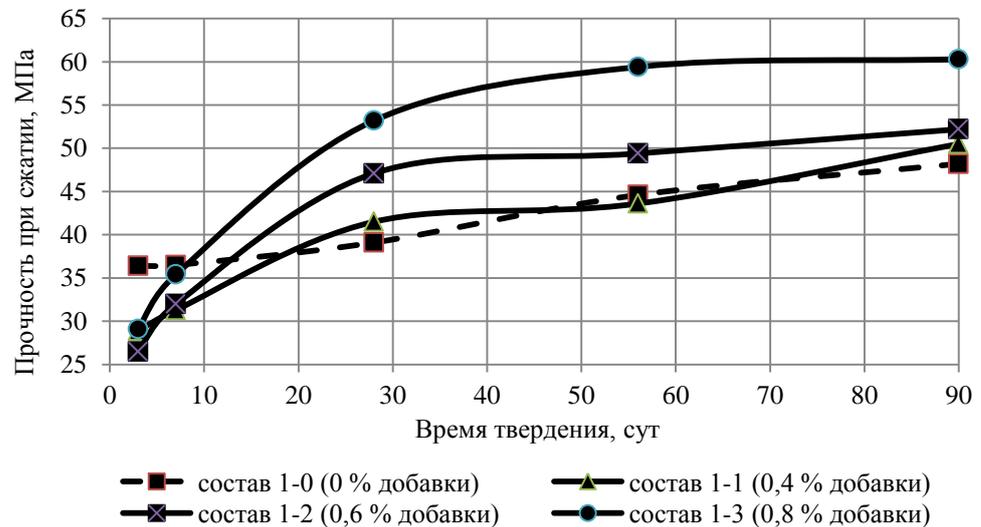


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии бетона (3, 7, 28, 56, 90 сут твердения) на гранитном отсеве от содержания добавки MC-PowerFlow

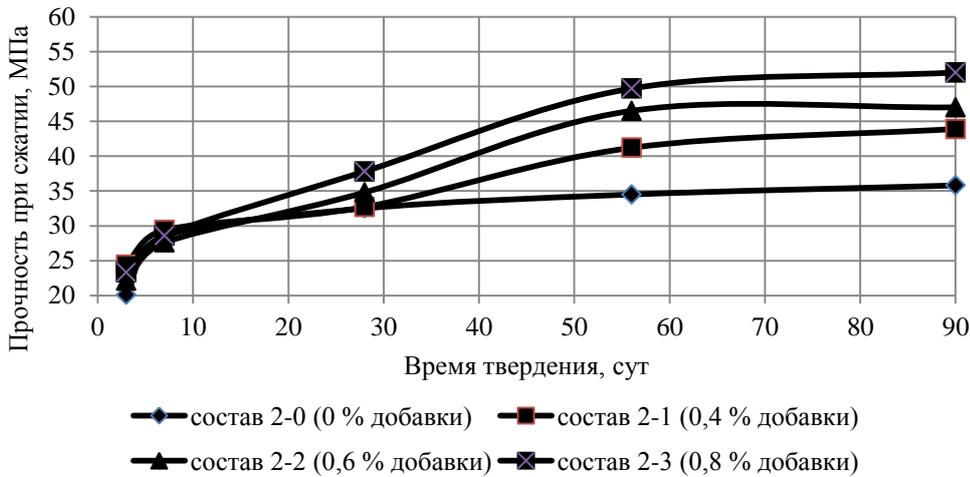


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии бетона (3, 7, 28, 56, 90 сут твердения) на доломитовом отсеве от содержания добавки MC-PowerFlow

Как было установлено, применение отсевов дробления может отрицательно влиять на морозостойкость бетона, т. к. вследствие возрастания водопотребности увеличивается объем открытых пор и степень заполнения их водой; введение отсевов дробления способствует снижению объема условно-замкнутой пористости, которая является одним из условий формирования долговечной структуры. Поэтому понижение показателя В/Ц и увеличение показателя вовлеченного воздуха является наиболее эффективным способом получения долговечных бетонов.

Было изучено влияние комплексной добавки, состоящей из эфиров поликарбоксилатов MC-PowerFlow (80 % от массы комплексной добавки) и воздухововлекающей добавки Centrament Air 202 (20 % от массы комплексной добавки), на свойства бетонов, содержащих отсева дробления щебня (табл. 6).

Таблица 6

Влияние комплексной добавки на свойства бетонов, содержащих отсева дробления щебня

№ состава	Комплексная добавка, % от массы Ц	В/Ц	Плотность, кг/м ³	Объем вовлеченного воздуха, %	Прочность при сжатии до испытаний на морозостойкость, МПа	Относительное изменение прочности при сжатии, %, после числа циклов замораживания и оттаивания				
						5	10	20	30	45
1-4	0	0,41	2250	0,1	37,5	+0,4	+0,1	-8,4	-	-
1-5	0,4	0,41	2310	1,4	41,5	+1,6	+0,9	-1,7	-	-
1-6	0,6	0,41	2360	2,9	47,1	+1,8	0	-2,1	-1,5	-
1-7	0,8	0,41	2390	5,3	53,2	+4,2	0	-2,5	-3,4	-8,5

Окончание табл. 6

№ состава	Комплексная добавка, % от массы Ц	В/Ц	Плотность, кг/м ³	Объем вовлеченного воздуха, %	Прочность при сжатии до испытаний на морозостойкость, МПа	Относительное изменение прочности при сжатии, %, после числа циклов замораживания и оттаивания				
						5	10	20	30	45
2-4	0	0,41	2230	0,4	29,5	+2,0	-1,3	-5,2	-	-
2-5	0,4	0,41	2250	2,0	32,7	+1,3	+0,1	-1,4	-	-
2-6	0,6	0,41	2310	3,6	34,8	0,0	-0,4	0	-	-
2-7	0,8	0,41	2350	5,9	37,8	+2,5	+0,7	0	-6,8	-

Примечание. Состав бетонной смеси: вода – 185 кг/м³, цемент – 450 кг/м³, щебень – 1040 кг/м³, отсев от дробления щебня – 750 кг/м³. В составах 1-4, 1-5, 1-6, 1-7 был применен гранитный отсев, в составах 2-4, 2-5, 2-6, 2-7 использовался доломитовый отсев. Испытания проводились по ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» по второму ускоренному методу испытания.

Использование комплексной добавки способствовало созданию условно-замкнутых пор, что позволило получить бетоны с маркой по морозостойкости F 300.

Научная значимость проведенных исследований заключается в обосновании возможности получения эффективных бетонов для условий Западной Сибири на основе отсевов дробления в виде песков Свердловской и Челябинской областей в комплексе с гиперпластификатором MC-PowerFlow и воздухововлекающей добавкой Centrament Air 202, способствующими получению условно-замкнутых пор и, как следствие, высокой морозостойкости бетона.

Выводы

1. Проведенные физико-механические и химические исследования отходов производства щебня гранитного карьера г. Реж (Свердловская область) и доломитового карьера г. Сатка (Челябинская область) позволили обосновать возможность и целесообразность применения отсевов дробления в составе тяжелого цементного бетона.

2. На основе проведенных исследований были разработаны составы эффективных тяжелых бетонов с использованием песка из отсевов дробления щебня в качестве мелкого заполнителя. Получены бетоны классов по прочности на сжатие В22,5–В40 на гранитных отсевах.

3. Изучено влияние добавки MC-PowerFlow и Centrament Air 202 на свойства бетонной смеси, на кинетику набора прочности и морозостойкость бетонных образцов с применением отходов от дробления щебня в качестве мелкого заполнителя.

4. Проведены опытно-промышленные испытания результатов на заводе ЖБИ «Ротор» (п. Винзили, Тюменская область).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Использование отходов переработки горных пород* при производстве нерудных строительных материалов / О.Е. Харо, Н.С. Левкова, М.И. Лопатников, Т.А. Горностаева // *Строительные материалы*. – 2003. – № 9. – С. 18–19.
2. *Крючкова, И.В.* Анализ нормативно-правовой базы по регулированию рынка вторичного сырья для строительства / И.В. Крючкова. – Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2006. – 5 с.
3. *Ткачева, Ю.Ю.* Обоснование мероприятий по переработке отходов строительной деятельности и управление в области обращения с отходами / Ю.Ю. Ткачева, В.Е. Довбыш. – Казань : Казанский издательский дом, 2010. – 4 с.
4. *Левкова, Н.С.* Повышение эффективности комплексного использования сырья за счет отсевов дробления щебня из изверженных пород / Н.С. Левкова, Т.А. Горностаева // *Вестник БГТУ имени Шухова*. – 2003. – № 5. – С. 308–311.
5. *Применение рециклируемых материалов* в дорожном строительстве США и Европы // *БИНТИ*. – 2002. – № 1. – С. 16–18.
6. *Якобсон, М.Я.* Дорожный бетон с использованием отсевов дробления изверженных горных пород для строительства покрытий автомобильных дорог : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2000. – 12 с.
7. *Ахтямов, В.Ф.* Отсевы дробления щебня в составе тяжелых бетонов / В.Ф. Ахтямов, Э.Н. Хафизова, Ш.З. Тенкачев // *Сборник материалов XV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ: в 2 т.* – Тюмень : Тюменский гос. архит.-строит. ун-т, 2015. – С. 11–16.
8. *Ахтямов, В.Ф.* Перспективы использования отсева от дробления щебня в производстве мелкоштучных изделий / В.Ф. Ахтямов, Э.Н. Хафизова // *Актуальные проблемы архитектуры, строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири : сб. материалов Международной научно-практической конференции: в 2 т.* – Тюмень : Тюменский гос. архит.-строит. ун-т, 2015. – С. 83–89.
9. *Шатов, А.Н.* Способ получения качественных товарных бетонов с учетом специфики материальной базы УрФО / А.Н. Шатов // *Технологии бетонов*. – 2017. – № 1–2. – С. 10–11.

REFERENCES

1. *Kharo O.E., Levkova N.S., Lopatnikov M.I., Gornostaeva T.A.* Ispol'zovanie otkhodov pererabotki gornyykh porod pri proizvodstve nerudnykh stroitel'nykh materialov [Use of rock-recycling wastes in manufacture of non-metallic building materials]. *Stroitel'nye Materialy*. 2003. No. 9. Pp. 18–19. (rus)
2. *Kryuchkova I.V.* Analiz normativno-pravovoi bazy po regulirovaniyu rynka vtorichnogo syr'ya dlya stroitel'stva [Regulatory framework analysis for secondary raw materials market for construction]. Voronezh: Voronezh State Architecture and Building University, 2006. 5 p. (rus)
3. *Tkacheva Yu.Yu., Dovbysh V.E.* Obosnovanie meropriyatii po pererabotke otkhodov stroitel'noi deyatel'nosti i upravlenie v oblasti obrashcheniya s otkhodami [Measures justification for construction waste recycling and management]. Kazan: Kazanskii izdatel'skii dom, 2010. 4 p. (rus).
4. *Levkova N.S., Gornostaeva T.A.* Povyshenie effektivnosti kompleksnogo ispol'zovaniya syr'ya za schet otsevoy drobleniya shchebnya iz izverzhennykh porod [Efficient use of raw materials due to stone screening dust of effusive rocks]. *Vestnik BGTU*. 2003. No. 5. Pp. 308–311. (rus)
5. *Primenenie retsikliruemykh materialov v dorozhnom stroitel'stve SShA i Evropy* [Application of recyclable materials in road construction in Europe and the United States]. *BINTI*. 2002. No. 1. Pp. 16–18. (rus).
6. *Yakobson M.Ya.* Dorozhnyi beton s ispol'zovaniem otsevoy drobleniya izverzhennykh gornyykh porod dlya stroitel'stva pokrytii avtomobil'nykh dorog [Road concrete with stone screening dust of effusive rocks for road pavements. PhD Abstract]. Moscow: Soyuzdornii Publ., 2000. 12 p. (rus)

7. Akhtyamov V.F., Khafizova E.N., Tenkachev Sh.Z. Otsevy drobleniya shchebnya v sostave tyazhelykh betonov. [Stone screenings dusts in heavy concrete compositions]. *Proc. 15th Sci. Conf. of Young Scientists*. Tyumen, 2015. Pp. 11–16. (rus).
8. Akhtyamov V.F., Khafizova E.N. Perspektivy ispol'zovaniya otseva ot drobleniya shchebnya v proizvodstve melkoshtuchnykh izdelii [Perspective use of stone screening dust in small-piece product production]. *Proc. Int. Sci. Conf. 'Actual Problems of Architecture, Construction, Ecology and Energy Efficiency in Western Siberia'*. 2015. Pp. 83–89. (rus)
9. Shatov A.N. Sposob polucheniya kachestvennykh tovarnykh betonov s uchetom spetsifiki material'noi bazy UrFO [Production technique for high-quality commercial concretes with regard to facility specificity of the Urals Federal District]. *Tekhnologii betonov*. 2017. No 1–2. Pp. 10–11. (rus)