

УДК 691.32

ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ НЕРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СВОЙСТВА ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ

В.Ф. Ахтямов, Э.Н. Хафизова

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»,
Россия, г. Тюмень.*

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматриваются вопросы использования отходов нерудного производства в составе тяжелых бетонов.

Материалы и методы. В исследованиях используется совокупность стандартных методов.

Результаты. Изучены физические, химические и гранулометрические характеристики отсевов из карьеров Свердловской и Челябинской областей. Разработаны составы эффективных тяжелых бетонов классов В22, 5 - В40 с применением отсевов дробления щебня и добавок MC-Power Flow и Centrament Air 202. Исследованы структурные свойства и строительно-технические характеристики бетонных смесей и тяжелых бетонов с применением отсевов горных пород. Установлено, что введение добавки MC-Power Flow в бетонную смесь в количестве от 0,4 до 0,8% (от массы цемента) позволяет снизить жесткость смеси с 26 до 5 сек и способствует созданию плотной контактной зоны у поверхности заполнителя. Определено влияние комплексной добавки на поровые параметры тяжелого бетона и на морозостойкость образцов с применением отсева от горных пород в качестве мелкого заполнителя. Получены образцы тяжелого бетона марки по морозостойкости F300.

Обсуждения и заключения. Выполнена оценка экономической эффективности применения отсевов от дробления горных пород в составе тяжелых бетонов и проведена опытно-промышленная апробация на предприятии ЖБИ Тюменской области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отходы нерудного производства; строительные материалы; отсевы дробления щебня, тяжелый бетон.

ВВЕДЕНИЕ

Строительная отрасль в России в последние десятилетия показывает бурный рост, что в итоге создает большую потребность в сырьевых материалах. На данный момент этот вопрос решается с применением классических материалов, таких как природный песок, но высокий спрос и растущая нагрузка на окружающую среду создают потребность в качественной альтернативе этому материалу. По всем характеристикам и удельной стоимости отсев от дробления щебня способен создать конкуренцию песку в качестве мелкого заполнителя для тяжелых бетонов [1,2,3,4,5].

Отсев от дробления щебня – это неорганический сыпучий материал, полученный в процессе переработки плотных горных пород на щебень, с минимальным размером зерен, равным 5 мм [6,7,8,9,10,11,12]. Процент выхода отсева при производстве щебня очень высок, на данный момент это порядка 20–30% по массе [9]. Применение инновационных тех-

нологий дробления с использованием новых разработок в области дробилок позволяет снизить количество отходов, но тем не менее проблема остается актуальной.

В настоящее время этот материал находит ограниченное применение, а именно: в строительстве асфальтобетонных дорог, при отсыпке железнодорожных путей [8]. Новым направлением применения является использование отсева в сухих строительных смесях (ССС) и керамической промышленности. Сдерживающим фактором использования отсевов от дробления щебня часто является малая изученность его свойств, особенно при применении его в тяжелых цементных бетонах.

Отсевы дробления имеют значительные различия: порой отсев от разных производителей сильно отличается по форме и рельефу зерен, и даже их минеральный и зерновой состав (если сравнивать отсев с природными песками) различен. На предприятиях по выпуску нерудных щебеночных материалов образуются 60–90 млн м³/год отсевов дробле-

ния, определенная часть используется, однако большая часть отправляется в отвалы [2, 13, 14, 15, 16, 17].

Наилучшее качество отсевов получается при дроблении мелко-среднезернистых каменных пород. Шероховатость поверхности зерен такого песка характеризуется высотой микрорельефа около 170 – 190 мкм, что обеспечивает наилучшее сцепление с цементным камнем в бетоне. Недостатком использования крупнозернистых пород полиминерального состава, в частности гранита, является тот фактор, что образуются зерна песка мономинерального состава (кварц, полевой шпат, слюда), отличающиеся незначительным сцеплением с цементным камнем.

Бетонные смеси, изготовленные из отсевов дробления, характеризуются повышенной водопотребностью. Это практически исключает возможность достижения высоких прочностных и других эксплуатационных показателей. Однако рядовые классы по прочности зависят от водоцементного отношения не меньше. Другими словами, любой фактор, увеличивающий водопотребность, закономерно провоцирует повышение расхода цемента, а значит, себестоимости [6]. Другой побочный эффект использования отсевов, связанный с водопоглощением пылевидными частицами заполнителя в процессе изготовления и транспортировки, проявляется в ускоренной потере подвижности бетонных смесей. Актуальное требование неизменности реологических свойств в течение двух часов становится затруднительным даже в условиях довольно умеренного уральского климата. В свою очередь крупный заполнитель, характерный для Уральского Федерального округа, представлен, как правило, интрузивными породами с маркой по дробимости выше 1200 [12]. Однако и здесь нередки отклонения от стандартного

процента по содержанию пылевидных частиц.

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

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели составлен план эксперимента, включающий изучение региональных особенностей карьеров Тюменского и близлежащих регионов и разработку составов эффективных бетонов с использованием отходов нерудного производства. Для исследований использованы отсевы дробления щебня с гранитного карьера г. Реж (Свердловская область) и доломитового карьера г. Сатка (Челябинская область).

Для получения бетонов с низким водосодержанием, высокой прочностью и морозостойкостью был проведен анализ и исследование эффективности 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 MC-Power Flow и воздухововлекающей добавкой Centrament Air 202. В экспериментальных исследованиях использована совокупность стандартных методов [18, 19, 20].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного исследования свойств отсевов дробления щебня с гранитного карьера г. Реж (Свердловская область) и доломитового карьера г. Сатка (Челябинская область) были получены данные, которые приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1
СВОЙСТВА ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ЩЕБНЯ
Table 1

PROPERTIES OF SCREENING CRUSHED STONE

Основные характеристики	Карьер щебня, Челябинская область, г. Сатка	Щебеночный завод, Свердловская область, г. Реж
Горная порода	доломит	гранит
Модуль крупности	3,3	2,57
Фракция щебня 5–10 мм, %	14,7	11,2
ПГИ, %	5,0	4,0
Насыпная плотность, кг/м ³	1450	1450
Содержание глины в комках, %	0,8	0
Марка щебня по дробимости	800	1 000

Таблица 2
РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОТСЕВОВ
Table 2
RESULTS OF SCREENINGS' CHEMICAL ANALYSIS

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 выявлено, что как и любой строительный материал отсев от производства щебня 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.

Результаты многочисленных исследований [1, 2, 4, 15, 16] показывают, что морозостойкость цементных бетонов зависит от различных факторов, к основным из которых относятся начальное водоцементное отношение, вид и активность цемента, состав и условия твердения бетона, его возраст к моменту замораживания, морозостойкость заполнителей. К сожалению, не все факторы поддаются регулированию, что в итоге сводит задачу увеличения морозостойкости бетонов к двум основным способам:

- понижение показателя В/Ц путем уменьшения количества вводимой в бетонную смесь воды;

- увеличение показателя вовлеченного воздуха посредством образования в теле бетона условно-замкнутых пор.

Авторами статьи были проведены исследования по разработке составов бетонных смесей с использованием отсевов дробления

щебня [4,5]. Часть исследований выполнена в рамках реализации программы «Актуальные проблемы молодежной науки и инноваций в Тюменской области» (грант У.М.Н.И.К. 2015 г.).

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

Введение добавки MC-Power Flow в бетонную смесь в количестве от 0,4 до 0,8 % (от массы цемента) позволяет снизить жесткость смеси с 26 до 5 сек 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-Power Flow способствует росту прочности бетона и к 28 сут нормального твердения прочность находится в пределах 32,7–53,2 МПа (рисунки 1,2).

Кроме того, было изучено влияние комплексной добавки, состоящей из эфиров поликарбоксилатов MC-Power Flow 3 100 (80 % от массы комплексной добавки) и воздухововлекающей добавки Centrament Air 202 (20 % от массы комплексной добавки) на свойства бетонов, содержащих отсевы дробления щебня (таблицы 3, 4).

Было выявлено изменение структуры пористости тяжелого цементного бетона с применением отсевов от дробления щебня.

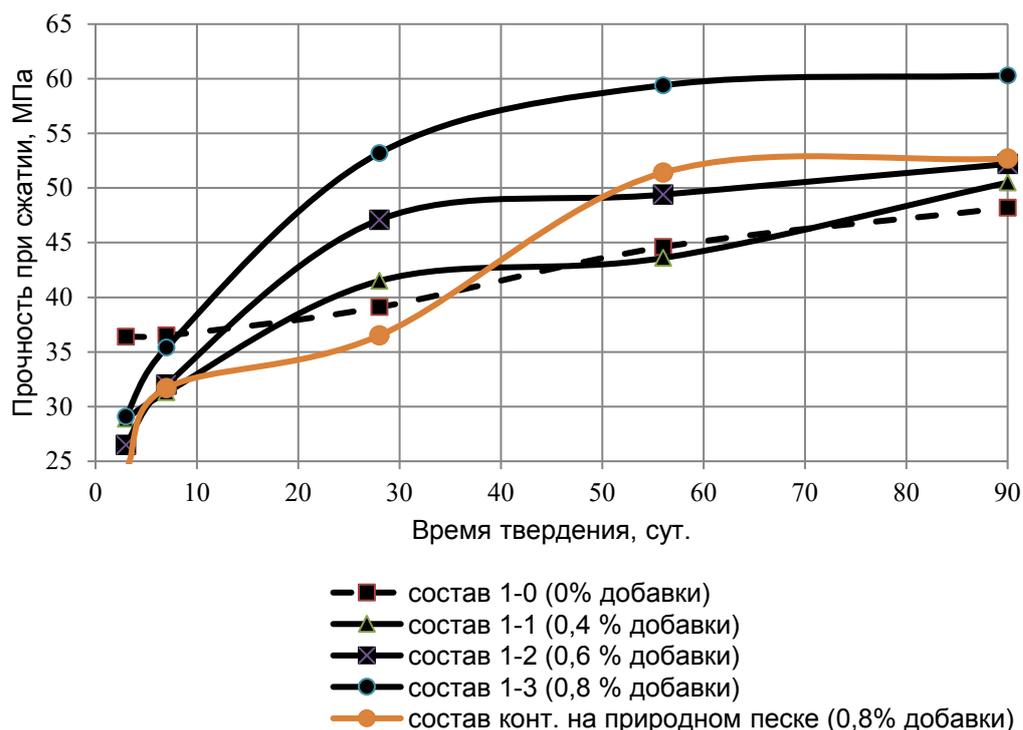


Рисунок 1 – Влияние добавки MC-Power Flow и гранитного отсева на прочность бетона при сжатии (3, 7, 28, 56, 90 сут твердения)

Figure 1 – Influence of additive MC-Power Flow and granite screening on the concrete strength while the compression process (3, 7, 28, 56, 90 days of hardening)

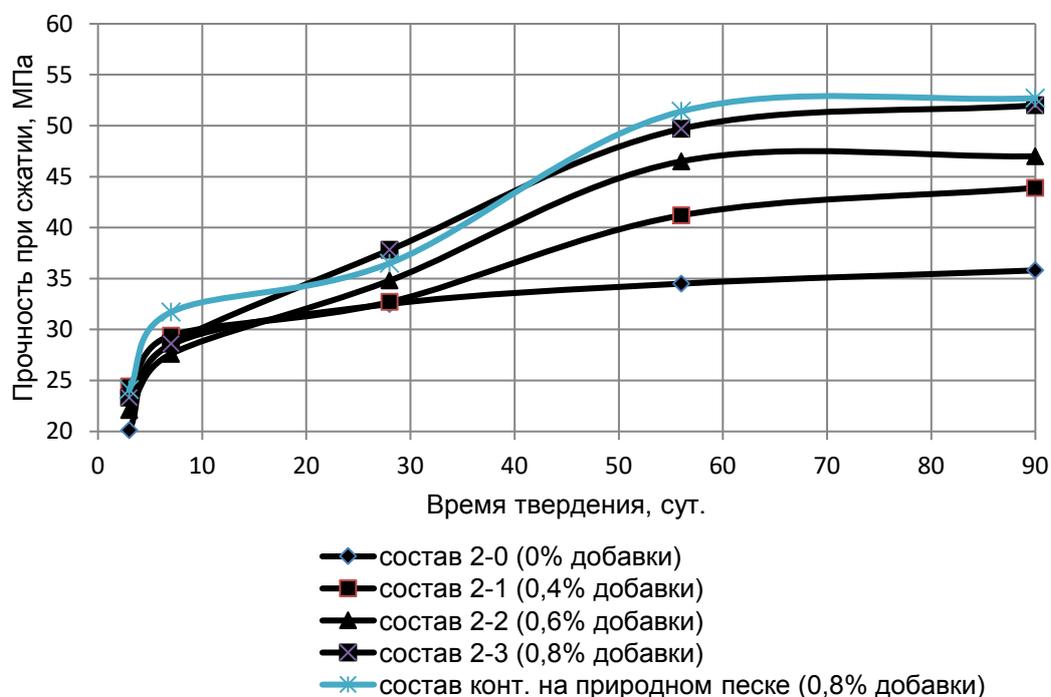


Рисунок 2 – Влияние добавки MC-Power Flow и доломитового отсева на прочность бетона при сжатии (3, 7, 28, 56, 90 сут твердения)

Figure 2 – Influence of additive MC-Power Flow and dolomite screening on the concrete strength while compression (3, 7, 28, 56, 90 days of hardening)

Таблица 3
ПОКАЗАТЕЛИ ПОРИСТОСТИ ОБРАЗЦОВ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА
Table 3
POROSITY INDICATORS OF THE HEAVY CONCRETE SAMPLES

№ состава	Показатели поровой структуры					
	полный объем пор, P_n , %	показатель микропористости, P_{mk}	средний размер пор, λ	объем условно-закрытых пор, P_z , %	объем открытых капиллярных пор, P_{m3} , %	однородность размера пор, α
1-4	14,6	2,2	41,5	2,7	10,8	0,57
1-5	13,9	1,4	38,4	2,3	8,7	0,65
1-6	11,8	1,8	32,5	2,9	6,5	0,59
1-7	8,3	1,5	20,5	1,8	3,5	0,4
2-4	14,2	2,1	40,9	3,2	10,4	0,55
2-5	14,0	1,5	40,1	2,4	9,6	0,49
2-6	13,8	1,8	34,9	2,7	8,9	0,62
2-7	12,4	2,3	29,4	2,6	6,7	0,65

Примечание. Состав бетонной смеси: вода – 185 кг/м³, цемент – 450 кг/м³, щебень – 1 040 кг/м³, отсеv от дробления щебня – 750 кг/м³. В составах 1-4, 1-5, 1-6, 1-7 был применен гранитный отсеv, в составах 2-4, 2-5, 2-6, 2-7 использовался доломитовый отсеv. Испытания проводились по ГОСТ 12730.4 –78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости [19]».

Полученные результаты позволяют однозначно утверждать, что введение в тяжелый бетон с применением отсеvов от дробления щебня в качестве мелкого заполнителя комплексной добавки позволяет существенно снизить общую пористость образцов. Также было отмечено увеличение количества условно-закрытых пор и уменьшение их размера. В сумме данные изменения дают существенный прирост показателя морозостойкости тяжелого бетона и получение марок F200-F300, что является хорошей возможностью для применения данного бетона в климатических условиях Западной Сибири.

Таблица 4
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА БЕТОНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОТСЕВЫ ДРОБЛЕНИЯ ШЕБНЯ
Table 4
EFFECT OF THE COMPLEX ADDITIVE ON THE CONCRETES' PROPERTIES CONTAINING SCREENING CRUSHED STONE

Основные свойства бетона	Составы бетона								
	1-4	1-5	1-6	1-7	2-4	2-5	2-6	2-7	
Добавка, % от массы цемента	0	0,4	0,6	0,8	0	0,4	0,6	0,8	
В/Ц	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	
Плотность, кг/м ³	2250	2310	2360	2390	2230	2250	2310	2350	
Объем вовлеченного воздуха, %	0,1	1,4	2,9	5,3	0,4	2,0	3,6	5,9	
Прочность при сжатии, МПа	37,5	41,5	47,1	53,2	29,5	32,7	34,8	37,8	
Относительное изменение прочности при сжатии, %, после замораживания и оттаивания	5 циклов	+0,4	+1,6	+1,8	+4,2	+2,0	+1,3	0,0	+2,5
	10 циклов	+0,1	+0,9	0	0	-1,3	+0,1	-0,4	+0,7
	20 циклов	-8,4	-1,7	-2,1	-2,5	-5,2	-1,4	0	0
	30 циклов	-	-	-1,5	-3,4	-	-	-	-6,8
	45 циклов	-	-	-	-8,5	-	-	-	-

Примечание. Испытания проводились по ГОСТ 10060—2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» по второму ускоренному методу испытания [20].

Опытнo-промышленная апробация была выполнена путем изготовления в производственных условиях железобетонных изделий. Объектом апробации стали железобетонные лотки Л-15/2 (Серия 3.006.1-2.87.) производства завода ЖБИ «Ротор» п. Винзили Тюменской области.

Апробация показала высокую экономическую эффективность применения отсеvов дробления щебня в качестве мелкого заполнителя для тяжелых цементных бетонов с требованиями по морозостойкости (таблица 5).

Таблица 5

СЕБЕСТОИМОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ КЛАССА В30 НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ
Table 5
THE PRIME COST OF HEAVY CONCRETE B30 CLASS ACCORDING TO VARIOUS TYPES OF FINE AGGREGATE

Состав бетона	Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг	Стоимость компонента, руб. (с НДС)
Цемент (ОАО Сухоложскцемент)	400	150 8,4
Щебень, фракции 5-20 (Курманский щебеночный завод)	1 110	912,4
Крупнозернистый песок (ООО Тюменьнеруд)	800	680,00
Отсев от дробления щебня (Режевской щебеночный завод)	800	620,00
Комплексная добавка (МС Vauchemie)	2,8	296,00
Вода	150	10,5

В итоге цена 1 м³ бетона класса В30 при применении природного крупного песка в качестве заполнителя – 3407,3 рублей, цена 1 м³ бетона класса В30 при применении отсева – 3347,3 руб., что дает экономию 60 руб. на 1м³. Данные исследования позволяют утверждать об экономической перспективности применения отсевов дробления в составе тяжелых цементных бетонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны составы эффективных тяжелых бетонов классов В22,5 - В40 с применением отсевов дробления щебня гранитного карьера г. Реж и доломитового карьера г. Сатка в качестве мелкого заполнителя. Выявлено повышение прочности и морозостойкости бетона за счет применения комплексной добавки, которая способствует повышению степени гидратации цемента и снижению капиллярной пористости.

2. Изучены количественные и качественные характеристики гранитных отсевов г. Реж и доломитовых отсевов г. Сатка и установлена возможность применения этих отходов в составе тяжелого цементного бетона.

3. Изучено влияние добавки MC-PowerFlow 3100 и Centrament Air 202 на свойства бетонной смеси, кинетику набора прочности и морозостойкость бетонных образцов с применением отходов от дробления щебня в качестве мелкого заполнителя.

4. Проведены опытно-промышленные испытания результатов при производстве железобетонных лотков Л-15/2 (Серия 3.006.1-2.87.) на заводе ЖБИ «Ротор» (п. Винзили, Тюменская область).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонович С.Н., Полейко Н.Л. Эксплуатационные характеристики бетона на заполнителе из осадочных горных пород // Строительные материалы. 2016. №8. С. 66-69.
2. 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.
3. Груздев А.А., Клавдиева Т.Н., Пушкарская О.Ю. Комплексная оценка строительных композитов на основе техногенных отходов // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы V Международной конф. г. Волгоград, 2009. С. 190 – 192.
4. Ахтямов В.Ф., Батуринов А.С., Елизаров И.А., Хафизова Э.Н. Исследование возможности получения высокоэффективных бетонов на основе отходов от производства нерудных материалов и добавок эфиров поликарбонилатов // Международная научно-практическая конференция молодых ученых им. Д.И. Менделеева: материалы конференции. Тюмень: ТИУ, 2016. С. 315-318.
5. Хафизова Э.Н., Ахтямов В.Ф. Исследование влияния техногенных отходов нерудного производства на свойства бетонов // Вестник ТГАСУ. 2017. №4. С.107-116.
6. Хамидуллина Д.Д., Гаркави М.С., Якубов В.И., Родин А.С., Кушка В.Н. Отсевы дробления - эффективный способ повышения качества бетонов // Строительные материалы. 2006. №11. С. 50-51.
7. Харо О.Е., Левкова Н.С., Лопатников М.И., Горностаева Т.А. Использование отходов переработки горных пород при производстве нерудных строительных материалов // Строительные материалы. 2003. № 9. С. 18-19.
8. Применение рециклируемых материалов в дорожном строительстве США и Европы. БИНТИ. 2002. №1. С. 16-18.
9. Левкова Н.С. Т.А. Горностаева Повышение эффективности комплексного использования сырья за счет отсевов дробления щебня из изверженных пород // Вестник БГТУ имени Шухова. 2003. №5. С. 308-311.
10. Malhotra V.M., A.R.Ramezaniapour Fly Ash in Concrete // 2nd Ed, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa. Canada. 1994. 307 p.
11. Лотов В.А., Тарбеев О.Г., Кутугин В.А. Приготовление бетонных смесей при производстве высокопрочных бетонов // Сб. докладов 3-го (XI) Международного совещания по химии и технологии цемента. Санкт-Петербург:

АЛИТинформ. 2009. С. 141.

12. Хамидулина, Д.Д., Гаркави М.С. Мелкозернистый бетон на основе песка из отсевов дробления // Материалы 64 –й научной технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 гг. сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Т.2. С. 39-42.

13. Нгуен Вьет Кыонг, Чумаков Л.Д. Комплексное использование базальтовых заполнителей в бетоне // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». 2009. №1. С. 164-167.

14. Федосов С.В., Акулова М.В., Падохин В.А. Мелкозернистый бетон на механомагнитоактивированной воде с добавкой суперпластификатора // Вестник МГСУ. 2012. №5. С. 120-127.

15. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Полянских И.С. Бетон повышенной долговечности при производстве опор линий электропередач // Строительные материалы. 2014. №5. С. 1-3.

16. Бердичевский, Г.И. Производство сборных железобетонных изделий: справочник / Бердичевский Г.И., Васильев А.П., Малинина Л.А. Под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королева // М.: Стройиздат, 1989. 447 с.

17. Крючкова, И.В. Анализ нормативно-правовой базы по регулированию рынка вторичного сырья для строительства // Воронежский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, 2006. 5 с.

18. ГОСТ 31424-2010. Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия. Введ. 2011-07-01. Москва, Стандартинформ. 2011. 11 с.

19. ГОСТ 12730.4-78. Бетоны. Методы определения показателей пористости. Введ. 1980-01-01. Стандартинформ. 2007. 8 с.

20. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Введ. 2014-01-01. Стандартинформ. 2014. 10 с.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL NON-METALLIC PRODUCTION WASTES ON HEAVY WEIGHT CONCRETE PROPERTIES

V.F. Akhtyamov, E.N. Khafizov

ABSTRACT

Introduction. The following article deals with recycling of non-metallic industrial wastes for the production of heavy weight concretes.

Materials and methods. The research uses a set of standard methods.

Results The physical, chemical characteristics and screenings gradation of the quarries Sverdlovsk and Chelyabinsk regions are explored. The compositions of effective heavy weight concretes with strength quality B22, 5-B40 based on stone screening dust and additives MC-Power Flow and Centrament Air 202 have been developed. The structural properties and construction characteristics of concrete mixtures and heavy weight concretes with stone screening dust are studied. The research demonstrates that the addition of MC-Power Flow additive to the concrete mixture in an amount of 0.4 to 0.8 % (by weight of cement) allows to reduce the hardness of the mixture from 26 to 5 seconds and promotes the creation of a tight contact zone at the surface of the aggregate. Moreover, the influence of the complex additive on the pore parameters of heavy weight concrete and on the frost resistance of samples is determined with the use of screening from rocks as a fine aggregate. Samples of heavy weight concrete frost resistance grade F300 are obtained.

Discussion and conclusion. Cost-effectiveness analysis of the screenings use in the composition of heavy weight concrete and the industrial approbation at the precast concrete factory of the Tyumen region are carried out.

KEYWORDS: technological wastes, building materials, stone screening dust, heavy weight concrete.

REFERENCES

1. Leonovich S.N., Polejko N.L. Jekspluatacionnye harakteristiki betona na zapolnitele iz osadochnyh gornyh porod [Performance characteristics of concrete on aggregate from sedimentary rocks]. Stroitel'nye materialy, 2016, no. 8, pp. 66-69 (rus).

2. Shatov A.N. Sposob polucheniya kachestvennykh tovarnykh betonov s uchetom spetsifiki material'noi bazy UrFO. [Method for obtaining high-quality commercial concretes taking into account the specificity of the material base of the Urals Federal District]. Tekhnologii betonov, 2017, no. 1-2, pp. 10-11 (rus).

3. Pushkarskaja O.Ju., Gruzdev A.A., Klavdieva T.N. Kompleksnaja ocenka stroitel'nyh kompozitov na osnove tehnogennyh othodov [Comprehensive assessment of

building composites based on industrial wastes] // Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nyh materialov, konstrukcij i osnovanij fundamentov. [Reliability and durability of building materials, structures and subfoundations]. Materials of the V International Conference. Volgograd, 2009, pp. 190 – 192 (rus).

4. Akhtyamov V.F., Baturin A.S., Elizarov I.A., Khafizova E.N. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya vysokoeffektivnykh betonov na osnove othodov ot proizvodstva nerudnyh materialov i dobavok jefirov polikarboksilatov. [Investigation of obtaining high-performance concretes based on wastes from the production of non-metallic materials and polycarboxylates esters additives]. International scientific practical conference of young scientists named after D.I. Mendelejev's. Tyumen, 2016, pp. 315-318 (rus).

5. Khafizova E.N., Akhtyamov V.F. Issledovanie vlijanija tehnogennyh othodov nerudnogo proizvodstva na svojstva

