

УДК 621.928.6

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

**Ф. Л. Капустин, В. А. Перепелицын, В. Б. Пономарев, А. Б. Лошкарев**

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина  
E-mail: f.l.kapustin@urfu.ru, ул. Мира, 19, 620002, г. Екатеринбург, Россия*

Рассмотрена проблема утилизации отходов — отсевов дробления изверженных горных пород при производстве щебня на горных предприятиях. Сформулированы причины, способствующие увеличению объема их образования и низкого использования. Определены состав и свойства отсевов дробления гранита, габбро и горнблендита. Отмечено, что высокое содержание в них пылевидных частиц ограничивает применение отсевов при производстве строительных бетонов и растворов. Предложен способ их пневматического обогащения с целью удаления пылевидной составляющей. Приведены результаты экспериментов по воздушной сепарации отсевов с помощью поперечно-поточного классификатора. Эффективность сухого обогащения отсевов проверена при испытании обогащенного песка в составе тяжелого бетона. Показано, что использование обогащенного песка повышает прочность бетона.

*Отсевы дробления изверженных горных пород, состав, свойства, сухое обогащение, воздушная сепарация, песок, применение, бетон*

Объемы добычи и производства каменных строительных материалов (щебень, гравий и песок) в нашей стране превысили 140 млн м<sup>3</sup> в год, в том числе в Свердловской области они составляют около 20 млн м<sup>3</sup>. При этом на долю щебня в них приходится более 60%. С учетом особенностей развития строительного производства изменилось соотношение между объемами различных видов горных пород, используемых для производства строительных материалов. Так, 38% щебня получают из изверженных пород, 19% — из карбонатных и 43% приходится на заполнитель из гравия. По данным ФГУП «ВНИПИИстромсырье», при производстве щебня из гранитов, габбро-диоритов, базальтов и других изверженных пород образуется до 25% отсевов дробления, а из карбонатных пород — до 45%. В связи с наметившейся тенденцией к потреблению щебня более высокого качества количество отсевов неуклонно возрастает, что в основном относится к изверженным породам.

Отсев дробления (фракция менее 5 мм) — продукт переработки горных пород при получении щебня. На многих горных предприятиях основная масса отсевов, являясь отходом производства, размещается на складах готовой продукции или вывозится в отвалы и даже в карьеры, что препятствует развитию горных работ. На выход отсевов дробления при производстве щебня влияет крупность и прочность горных пород, технология их переработки и тип дробильного оборудования, ассортимент выпускаемой продукции. Возросший спрос на высокопрочный кубовидный щебень из изверженных пород с низким содержанием частиц пластинчатой и игловатой форм, а также на мелкие фракции заполнителей увеличили текущий выход отсевов дроб-

ления на дробильно-сортировочных заводах до 7–15 %. Однако в связи с низким потреблением отсевов дробления на строительном рынке объемы их образования на предприятиях и в карьерах постоянно растут.

Дефицит качественных природных песков для приготовления бетонных смесей стимулирует многие строительные организации и заводы железобетонных изделий использовать отсева дробления горных пород в качестве мелкого заполнителя в составе как обычного тяжелого, так и мелкозернистого бетона. Существенный недостаток отсевов дробления — высокое содержание в них пылевидной фракции (менее 0.16 мм), от 7–10 до 25–30 %, которое увеличивает расход цемента в бетонах и строительных растворах. Из-за низкой стоимости и высоких железнодорожных тарифов отсева дробления горных пород рассматриваются в основном как местное сырье. В то же время, если улучшить форму зерен отсевов, уменьшить в них количество пыли и разделить на фракции, то можно обеспечить дополнительные объемы крупного и среднего песка, щебня и наполнителей для различных видов производства строительной индустрии [1–5], а также улучшить экологическую обстановку вокруг горнодобывающего предприятия.

Одним из способов повышения потребительских свойств отсевов дробления является их сухое обогащение — удаление пылевидных фракций методом воздушной сепарации с помощью пневматических классификаторов [6–8]. Сухие методы сепарации сыпучих материалов применяются при обогащении угля, рудного, строительного и техногенного сырья, а также в производстве керамических изделий и стекла [9–13]. Сухое обогащение отсевов с влажностью 3–5 % можно проводить в течение всего периода работы горного предприятия. При большей влажности необходима их сушка, что усложняет технологию и повышает энергозатраты переработки отсевов дробления.

Сухое обогащение отсевов дробления организуют, как правило, на дробильно-сортировочных заводах. Технологическая схема установки для сухого обогащения отсевов текущего производства включает следующие операции: подсушивание отсевов дробления, выделение из них зерен крупнее 5 мм, удаление из материала пылевато-глинистых частиц методом воздушной сепарации, очистку загрязненного воздуха перед выбросом в атмосферу, подачу готовой продукции на склад. Воздушная сепарация применяется для отделения крупных зерен или удаления мелких частиц под действием силы тяжести или центробежных сил. При этом наиболее тяжелые частицы осаждаются вниз, а мелкие легкие фракции выдуваются воздушным потоком из сепаратора в систему аспирации.

Пневматическая сепарация отличается высокой эффективностью разделения (особенно для материалов со значительным содержанием пылевидной фракции), широким диапазоном границ разделения (от 5 до 5 000 мкм) и возможностью изменения границ разделения исходного продукта в процессе работы. Производительность пневмосепараторов составляет от нескольких килограммов до сотен тонн в час, при этом затраты энергии оцениваются в среднем 2 кВт·ч/т. Пневмосепараторы работают под разрежением, могут функционировать в замкнутом по воздуху цикле и удовлетворяют требованиям экологии.

В Свердловской области на большинстве карьеров для производства щебня используют такие горные породы, как гранит, габбро, диорит, гранодиорит и горнблендит. В связи с отсутствием крупных месторождений природного песка мелким заполнителем для приготовления бетонных смесей служат необогащенные отсева дробления горных пород, что увеличивает содержание цемента в бетоне до 10 % для достижения требуемой прочности. В настоящей работе изучено влияние воздушной сепарации отсевов на удаление пылевидной составляющей и получение из них обогащенных песков со свойствами, соответствующими требованиям ГОСТа [14]. Используются отсева дробления гранита при производстве щебня на Исетском гранитном карьере ЗАО “Нерудсервис” и отсева дробления габбро и горнблендита, образующиеся на ОАО “Первоуральское рудоуправление”. Их влажность составляет 1.2–1.8 %.

Установлено, что содержание пылевидной фракции (менее 0.16 мм) в исследованных пробах отсевов дробления находится в пределах 14.7–23.4 %, фракции 5–10 мм — 2.3–5.4 % (табл. 1). Зерна размером более 10 мм в отсевах не присутствуют. Отсевы дробления гранита и горнблендита, в отличие от отсевов габбро, характеризуются наибольшим количеством частиц размером менее 0.16 мм, пылевидных и глинистых частиц и наименьшим значением модуля крупности  $M_k$  (табл. 2). Наибольшую насыпную и истинную плотность имеют отсевы горнблендита, наименьшую — гранита.

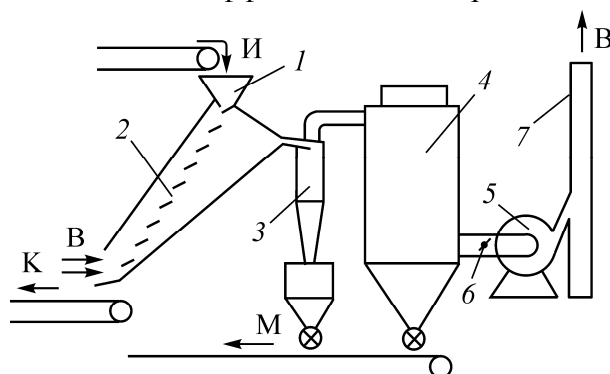
ТАБЛИЦА 1. Зерновой состав отсевов дробления горных пород

Номер пробы	Горная порода	Количество фракции 5–10 мм, мас. %	Содержание фракций размером, мм, мас. %					
			2.5–5	1.25–2.5	0.63–1.25	0.315–0.63	0.16–0.315	≤ 0.16
1	Гранит	5.4	18.8	17.4	14.2	15.6	12.3	21.7
2	Габбро	2.3	15.4	27.3	16.8	13.5	12.3	14.7
3	Горнблендит	2.8	10.2	19.2	14.1	16.6	16.5	23.4

ТАБЛИЦА 2. Свойства отсевов дробления

Номер пробы по табл. 1	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		$M_k$	Пустотность, об. %	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %
	насыпная	истинная			
1	1425	2660	2.50	45.8	14.6
2	1660	3050	2.76	45.6	10.3
3	1800	3200	2.20	43.7	15.5

Для “обеспыливания” отсевов дробления в воздушном потоке использован наиболее подходящий для данной крупности материала и поставленной задачи поперечно-поточный классификатор с наклонной жалюзийной решеткой, разработанный сотрудниками кафедры оборудования и автоматизация силикатных производств Уральского федерального университета (рисунок). Данный классификатор среди известных каскадных аппаратов отличается простотой конструкции, малыми размерами и с небольшими доработками конструкции пригоден для работы с влажными материалами. Процесс пневматической классификации дисперсных материалов в подобных установках, как правило, определяется скоростью воздушного потока в зоне их разделения и расходной концентрацией материала в нем. От скорости воздушного потока в классификаторе зависит крупность получаемых продуктов, а количество подаваемого в установку материала значительно влияет на эффективность его разделения по фракциям.



Установка лабораторного воздушного классификатора: И — исходный отсев дробления; В — воздух; К — крупный обогащенный песок; М — мелкая пыль; 1 — бункер исходного материала; 2 — поперечно-поточный классификатор; 3 — циклон для выделения пыли из воздушного потока; 4 — рукавный фильтр для санитарной очистки сбрасываемого воздуха; 5 — вентилятор; 6 — регулировочный шибер; 7 — труба сброса

Анализ содержания пылевых фракций в песке из отсевов дробления показывает, что предельное количество пыли (не более 5 %) обеспечивается при скорости воздушного потока в поперечно-поточном классификаторе 0.85–0.90 м/с. При этом выход обогащенного песка составляет от 78 % для горнблендита и до 88 % для габбро от массы исходных отсевов дробления указанных пород. Полученные пески из отсевов дробления по зерновому составу относятся к I классу и входят в группу песков повышенной крупности (табл. 3). Однако по содержанию пылевидных и глинистых частиц не все пробы обогащенных песков из габбро и горнблендита удовлетворяют требованиям ГОСТ [14].

ТАБЛИЦА 3. Свойства обогащенных песков из отсева дробления горных пород

Номер пробы по табл. 1	Содержание зерен, мм, не более, %			Полный остаток на сите № 063, %	M <sub>к</sub>	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %
	≥ 10	5–10	≤ 0.16			
По ГОСТ 31424-2010 I класс	0.5	5	5	65–75	3–3.5	Не более 3
1	Нет	6.7	2.5	74.9	3.6	0.9
2	Нет	2.5	5.4	68.3	3.1	6.5
3	Нет	4.1	3.1	68.3	3.1	8.5

Экономическая эффективность получения песков пневмовоздушным обогащением отсевов дробления горных пород в первую очередь зависит от текущих затрат на классификацию обогащенного песка. Так, для обеспыливающей установки производительностью 100 т/ч потребуется 25 тыс. м<sup>3</sup> воздушного потока, который обеспечивается работой высоконапорного центробежного вентилятора. При мощности вентилятора установки 50 кВт общий расход электроэнергии на обогащение отсевов с учетом мощности вспомогательного оборудования составит не более 100 кВт/ч. Таким образом, при тарифе 5 руб./кВт и удельном расходе электроэнергии 1 кВт·ч/т перерабатываемого материала затраты на обеспыливание отсевов дробления составят около 3 руб./м<sup>3</sup> обогащенного песка.

В настоящее время отсевы дробления горных пород используют в качестве мелкого заполнителя в бетонных смесях, в том числе для получения железобетонных изделий. С целью изучения влияния вида мелкого заполнителя на прочность тяжелого бетона рассчитаны составы с классом прочности В20 и приготовлены бетонные смеси с маркой по удобоукладываемости П1, в состав которых входят отсевы дробления горных пород и песок из отсевов, полученный их обеспыливанием на поперечно-поточном классификаторе (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. Состав и свойства бетонов

Характеристика мелкого заполнителя		Расход материалов*, кг/м <sup>3</sup>				Подвижность, см	Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности на сжатие, МПа, при твердении через сутки	
Горная порода	Вид	Цемент	Щебень	Песок	Вода			Пропаривание	Нормальное твердение
Габбро	Отсев	375	1035	920	210	1	2385	20.3	23.2
	Песок	375	1035	925	210	2.5	2355	23.3	28.7
Горнблендит	Отсев	375	1035	950	210	2	2380	17.9	24.3
	Песок	375	1035	970	210	3.5	2385	18.4	30.1
	Песок**	375	1035	970	210	9	2425	21.9	23.7

\*Использованы портландцемент ЦЕМ I 42.5Н, щебень гранодиоритовый фракции 5–20 мм.

\*\*Бетонная смесь данного состава содержит суперпластификатор “Полипласт СП-1” в количестве 0.35 % от массы цемента.

Установлено, что песок из отсевов дробления по сравнению с исходными отсевами габбро и горнблендита при равном расходе воды незначительно увеличивает подвижность бетонной смеси. Для улучшения удобоукладываемости в бетонную смесь на основе песка из отсева дробления горнблендита дополнительно вводили суперпластификатор “Полипласт СП-1”, что значительно повысило ее подвижность.

#### **ВЫВОДЫ**

Обогащение отсевов дробления горных пород, образующихся при производстве щебня, с помощью пневматической классификации позволяет получать обогащенный песок, который может служить в качестве мелкого заполнителя в составе тяжелых и мелкозернистых бетонов. Сравнительные испытания бетонов показали, что обогащенный песок из отсевов дробления горных пород гранита, габбро и горнблендита по сравнению с исходными отсевами увеличивает прочность бетона нормального твердения до 24 %, после пропаривания — до 15 %.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Далатказин А. А. Отсевы дробления: проблема, требующая решения // Строит. материалы. — 2006. — № 8. — С. 28–29.
2. Хамидулина Л. Д., Гаркави М. С., Якубов В. И., Родин А. С., Кушка В. Н. Отсевы дробления — эффективный способ повышения качества бетонов // Строит. материалы. — 2006. — № 11. — С. 50–51.
3. **Cepuritis R.** Sand from the rocks, *Bulk Solids Handling*, 2014, Vol. 34, Iss. 3. — P. 42–48.
4. **Арсентьев В. А., Вайсберг Л. А., Самуков А. Д.** Безотходная технология производства строительных материалов массового использования из изверженных горных пород // Горн. журн. — 2014. — № 12. — С. 55–63.
5. **Tohver T.** Utilization of waste rock from oil shale mining, *Oil Shale*, 2010, Vol. 27, Iss. 4. — P. 321–330.
6. **Пономарев В. Б.** Сухая переработка отходов камнедробления // Горн. журн. — 2015. — № 12. — С. 50–52.
7. **Cepuritis R., Jacobsen S., Onnela T.** Sand production with VSI crushing and air classification: Optimising fines grading for concrete production with micro-proportioning, *Minerals Engineering*, 2015, Vol. 78. — P. 1–14.
8. **Капустин Ф. Л., Пономарев В. Б.** Получение обогащенного песка из отсевов дробления горных пород на пневматическом классификаторе // Обогащение руд. — 2016. — № 4. — С. 56–60.
9. **Новак В. И.** Обогащение разубоженной массы угля // Уголь. — 2013. — № 1. — С. 52–53.
10. **Kleiv R. A.** Value enhancement of olivine process dust through air classification, *Int. J. Minerals, Metallurgy, and Materials*, 2012, Vol. 19, No. 3. — P. 185–191.
11. **Пономарев В. Б.** Переработка металлургических шлаков методом пневматической сепарации // Сталь. — 2015. — № 2. — С. 82–83.
12. **Felk A.** Fine-milling and air classification of ceramic materials by the dry method, *Glass and Ceramics*, 2014, Vol. 71, Iss. 3. — P. 92–95.
13. **Shishkin S. F., Dzyuzer V. Ya., Shishkin A. S.** Air Classification of Sands for the Glass Industry, *Glass and Ceramics*, 2001, Vol. 58, Iss. 11. — P. 370–373.
14. **ГОСТ 31424-2010.** Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия. Введ. 01.07.2011. — М.: Стандартинформ, 2011. — 16 с.

*Поступила в редакцию 29/IX 2016*