

Научный аппарат  
УДК 621.928.6

## ПРОИЗВОДСТВО ФРАКЦИОНИРОВАННОГО ПЕСКА ИЗ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

**Анна Андреевна Иванова, Владимир Борисович Пономарев<sup>1</sup>**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> [v.b.ponomarev@urfu.ru](mailto:v.b.ponomarev@urfu.ru)

**Аннотация.** В работе представлена математическая модель разделения отсеков дробления горных пород в воздушном классификаторе. Показаны результаты лабораторных экспериментов и предложены оптимальные технологические параметры для проектирования промышленного аппарата.

**Ключевые слова:** отсев дробления, фракционирование, воздушный классификатор

**Для цитирования:** Иванова А. А., Пономарев В. Б. Производство фракционированного песка из отходов дробления горных пород // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения — 2021 = Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021 : сборник научных трудов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. С. 326–330.

Original article

## PRODUCTION OF FRACTIONATED SAND FROM ROCK CRUSHING WASTE

**Anna A. Ivanova, Vladimir B. Ponomarev<sup>1</sup>**

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> [v.b.ponomarev@urfu.ru](mailto:v.b.ponomarev@urfu.ru)

**Abstract.** The paper presents a mathematical model of separation of rock crushing screenings in an air classifier. The results of laboratory experiments are shown and optimal technological parameters for the design of an industrial apparatus are proposed.

**Keywords:** screening of crushing, fractionation, air classifier

**For citation:** Ivanova A. A., Ponomarev V. B. (2023). Proizvodstvo fraktsionirovannogo peska iz otkhodov drobleniya gornykh porod [Production of Fractionated Sand from Rock Crushing Waste]. *Ehnergo- i resursoberezhnie. Ehnergoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyаемые istochniki ehnergii. Atomnaya ehnergetika. Danilovskie chteniya — 2021* [Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021]. Ekaterinburg : Ural University Publishing House, 2023. P. 326–330. (In Russ).

Переработка отходов производства, в частности, отсевов дробления горных пород, несомненно, является актуальной задачей.

На предприятии «Ураласбест» при производстве щебней различной крупности возникают большие отвалы отсевов дробления. При этом данный продукт возможно использовать для приготовления различных строительных растворов при условии удаления из него пылевых фракций и волокон свободного асбеста [1, с. 52; 2].

В предоставленной заказчиком пробе содержание частиц менее 160 мкм составляло 16 %, в то время как для строительных песков эта величина регламентируется не более 1–2 %.

Многочисленные научные публикации показывают, что сепарационная характеристика, называемая функцией степени фракционного разделения классификатора, и исходный гранулометрический состав сырья являются достаточными условиями для создания математической модели процесса фракционирования сыпучего материала [3, с. 50–51]. Применяя для описания сепарационной характеристики двухпараметрическую формулу Плитта, можно составить математическую модель процесса в виде:

$$\Phi_M(x_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i}{x_{50}}\right)^p}; \quad (1)$$

$$r_M(x_i) = \frac{\Phi_M(x_i)r_{исх}(x_i)}{\sum_{i=1}^N \Phi_M(x_i)r_{исх}(x_i)}; \quad (2)$$

$$\gamma_m = \sum_{i=1}^N (\Phi_m(x_i) r_{исх}(x_i)), \quad (3)$$

где  $\Phi_m(x_i)$  — функция степени фракционного разделения классификатора;  $p$  — показатель эффективности разделения;  $x_{50}$  — граница разделения;  $x_i$  — размер фракции, мкм;  $r_{исх}(x_i)$  — содержание  $i$ -й фракции в исходном материале;  $\gamma_m$  — выход мелкого продукта.

Можно рассчитать процесс сепарации для идеальных условий, принимая крайне высокие значения показателя  $p$ , например  $p = 100$ . Результаты разделения представлены в табл. 1.

Таким образом, при идеальном разделении и содержании частиц пыли менее 160 мкм в крупке менее 1 % выход готового продукта чуть больше 85 % при границе 144 мкм. Такая модель не учитывает содержание волокон асбеста, поэтому крупный продукт нужно еще оценивать визуально.

Таблица 1

Разделение на «идеальном» сепараторе

Сито, мкм	Фракция, мкм	$r_{исх}, \%$	$\Phi_m$	$r_m \gamma_m$	$r_{к\gamma_k}$	$r_m, \%$	$r_k, \%$
2500	3600	16,46	0,00	0,00	16,46	0,00	19,35
1000	1750	27,71	0,00	0,00	27,71	0,00	32,57
630	815	14,30	0,00	0,00	14,30	0,00	16,81
300	465	15,35	0,00	0,00	15,35	0,00	18,04
200	250	4,04	0,00	0,00	4,04	0,00	4,75
160	180	6,36	0,00	0,00	6,36	0,00	7,48
125	142,5	3,64	76,63	2,79	0,85	18,70	1,00
100	112,5	5,34	100,00	5,34	0,00	35,79	0,00
80	90	6,79	100,00	6,79	—	45,51	—
0	40	—	100,00	—	—	—	—

Лабораторные исследования по обеспыливанию щебней проводились на наклонном классификаторе с обратным прососом воздуха, конструкция и принцип действия которого подробно описаны в работе [1, с. 50–51]. В таблице 2 показаны результаты опытов.

Анализируя полученные данные, можно вывести зависимость эффективности разделения от расходной концентрации в виде:

$$p = 3,9 - 0,1\mu; \quad (4)$$

граница разделения от скорости потока будет определяться из уравнения:

$$x_{50} = 3,85 + 61,3w - 1,83w^2. \quad (5)$$

Таблица 2

## Результаты опытов

Опыт	$\gamma_k, \%$	$x_{50}, \text{мкм}$	$p$	$r_k (-160), \%$	$w, \text{м/с}$	$\mu, \text{кг/м}^3$	Асбест
1	72	351,57	3,63	0,49	5,61	1,17	нет
2	75	280,12	3,39	0,6	5,61	1,55	нет
3	71	—	—	—	5,61	2,33	нет
4	55	727,1	3,26	0	5,61	7,71	нет
5	66	429,05	2,51	0,9	3,69	11,71	да
6	77	219,9	4,13	0,9	3,69	3,5	нет

С учетом моделирования процесса по уравнениям (1–3) при содержании пыли не более 1 % и отсутствии волокон асбеста, при максимально допустимой расходной концентрации 6 кг/м<sup>3</sup> выход готового продукта составит 76 %, а скорость потока в щелях жалюзийной решетки 4,9 м/с. При снижении расходной концентрации до 2 кг/м<sup>3</sup> можно прогнозировать увеличение выхода до 78 % при  $w = 4,1$  м/с. Отличие реальных результатов от модели «идеального» классификатора в том, что реальный показатель эффективности  $p = 3,3–3,5$ . Тем не менее поставленная задача получения строительных песков из отходов — продуктов дробления горных пород — вполне может быть решена при помощи воздушной классификации.

## Список источников

1. Ponomarev V. B. Dry processing of rock breaking waste // Gornyi Zhurnal. 2015. No. 12. P. 50–52. DOI:10.17580/gzh.2015.12.11.
2. High-strength concretes based on anthropogenic raw materials for earthquake resistant high-rise construction / Yu. M. Bazhenov, S. Y. Murtazaev, D. K. Bataev [et al.] // Engineering Solid Mechanics. 2021. No. 9 (3). P. 335–346. DOI:10.5267/j.esm.2021.1.004.
3. Использование моделей обогатительных аппаратов для оценки технологических показателей переработки минерального сырья / В. Ф. Скороходов, М. С. Хохуля, А. В. Фомин, Р. М. Никитин // Горный журнал. 2020. № 3. С. 50–55. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.09.

## References

1. Ponomarev V. B. Dry processing of rock breaking waste // Gornyi Zhurnal. 2015. No. 12. P. 50–52. DOI:10.17580/gzh.2015.12.11.
2. High-strength concretes based on anthropogenic raw materials for earthquake resistant high-rise construction / Yu. M. Bazhenov, S. Y. Murtazaev, D. K. Bataev [et al.] // Engineering Solid Mechanics. 2021. No. 9 (3). P. 335–346. DOI:10.5267/j.esm.2021.1.004.
3. The use of models of concentrating apparatuses for evaluating technological indicators of processing of mineral raw materials / V. F. Skorokhodov, M. S. Khokhulya, A. V. Fomin, R. M. Nikitin // Mining Journal. 2020. No. 3. P. 50–55. DOI: 10.17580/gsh.2020.03.09.

## Информация об авторах

**Анна Андреевна Иванова** — студент Института новых материалов и технологий Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [tertyug011@gmail.com](mailto:tertyug011@gmail.com)

**Владимир Борисович Пономарев** — доцент кафедры оборудования и автоматизации силикатных производств Института новых материалов и технологий Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [v.b.ponomarev@urfu.ru](mailto:v.b.ponomarev@urfu.ru).

## Information about the authors

**Anna A. Ivanova** — Student at the Institute of New Materials and Technologies of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [tertyug011@gmail.com](mailto:tertyug011@gmail.com)

**Vladimir B. Ponomarev** — Associate Professor of the Department of Equipment and Automation of Silicate Production at the Institute of New Materials and Technologies of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [v.b.ponomarev@urfu.ru](mailto:v.b.ponomarev@urfu.ru).