

**А. И. САМОЙЛОВ,**  
канд. техн. наук  
(ПрАО «Донецксталь» –  
металлургический завод)



**С. Д. ГРЕБЕНЮК,**  
канд. техн. наук  
(ПрАО «Донецксталь» –  
металлургический завод)



**А. Н. РЕДЬКА,**  
инж.  
(Обогатительная фабрика  
«Свято-Варваринская»)

Для повышения эффективности обогащения рядовых углей необходимо проводить мониторинг технологических показателей работы основного оборудования для своевременного выполнения его ремонта или замены. Критерий точности разделения при переработке углей гравитационными методами –

УДК 622.75

## Расчет критериев разделения углей гравитационными методами

Предложена методика для расчета критериев разделения углей в тяжелых суспензиях и воде. При разработке учитывались теоретические представления об обогащении углей гравитационными методами. Вычисление погрешности  $E_p$  и плотности разделения  $\delta_p$  с использованием программы MS Excel исключает влияние человеческого фактора и обеспечивает получение более объективной оценки состояния обогатительного оборудования углеперерабатывающих предприятий.

**Ключевые слова:** обогащение угля, оборудование, критерий, эффективность, методика расчета.

**Контактная информация:** [samoylov.ai@donetsksteel.com](mailto:samoylov.ai@donetsksteel.com)

среднее вероятное отклонение или погрешность  $E_p$  [1]. Этот показатель около 50 лет назад рекомендовала Международная организация по стандартизации ISO в качестве критерия для оценки эффективности обогащения. Большинство инжиниринговых компаний, поставяющих обогатительное оборудование, и фирмы-производители включают показатель  $E_p$  в перечень гарантийных параметров.

В настоящее время для расчета критерия эффективности применяются графический метод, основанный на построении кривых разделения Тромпа [1, 2]. Кривые зависимости извлечений фракций в легкий и тяжелый продукты от средней плотности пересекаются в точке с ординатой 50 %, а проекция данной точки на ось абсцисс показывает действительную плотность разделения  $\delta_p$  в обогатительном аппарате, которая называется граничной плотностью разделения и является важной характеристикой процесса обогащения. При наличии относительно небольшого количества точек для построения кривых, полученных при вы-

полнении фракционных анализов сырья и продуктов обогащения со стандартным количеством фракций (пять или шесть), графический метод не обеспечивает достаточно точные результаты, не исключает влияния человеческого фактора и повышает риск принятия неверных выводов относительно состояния обогатительного оборудования.

В связи с этим целесообразно разработать методику определения показателей, характеризующих результаты обогащения углей, основанную на применении машинных методов расчета с учетом теоретических представлений о разделении гравитационными методами, что позволит получить более объективную информацию об оборудовании.

Известно [3], что при обогащении в тяжелосредних суспензиях распределение фракций исходного угля между продуктами переработки описывается нормальным законом распределения Гаусса. Для процессов разделения в водной среде распределение фракций подчиняется логарифмически нормальному

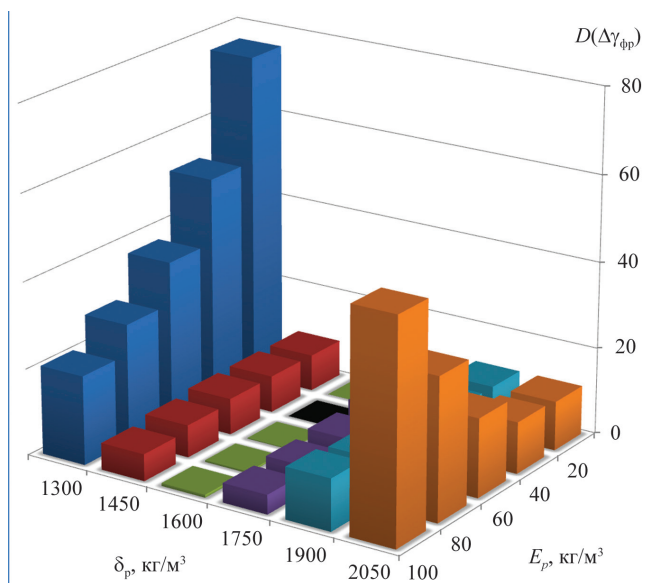
Таблица 1

| Показатель                 | Значение  |          | Начальный шаг |
|----------------------------|-----------|----------|---------------|
|                            | начальное | конечное |               |
| $E_p, \text{ кг/м}^3$      | 20        | 200      | 30            |
| $\delta_p, \text{ кг/м}^3$ | 1300      | 2200     | 150           |

закону, так как кривые Тромпа не симметричны относительно вертикали, проходящей через точку с граничной плотностью.

При наличии данных фракционного состава исходного угля для любых заданных значений показателей  $E_p$  и  $\delta_p$  известным способом [3] можно определить фракционные составы продуктов обогащения. В случае, когда дисперсия разности между вычисленными и фактическими значениями выхода фракций с одинаковыми граничными плотностями разделения  $D(\Delta\gamma)$  минимальна, использованные при расчете значения  $E_p$  и  $\delta_p$  будут характеризовать исследуемый аппарат.

Исходя из этого был реализован алгоритм вычисления  $E_p$  и  $\delta_p$  с использованием программы MS Excel. В связи с тем что эти два показателя взаимозависимы, для поиска минимального значения дисперсии использовали метод полного перебора (метод сеток) [4] при исходных значениях, приведенных в табл. 1, из которой следует, что поиск охватывает область реальных значений показателей для обогащения в воде и суспензиях [2].



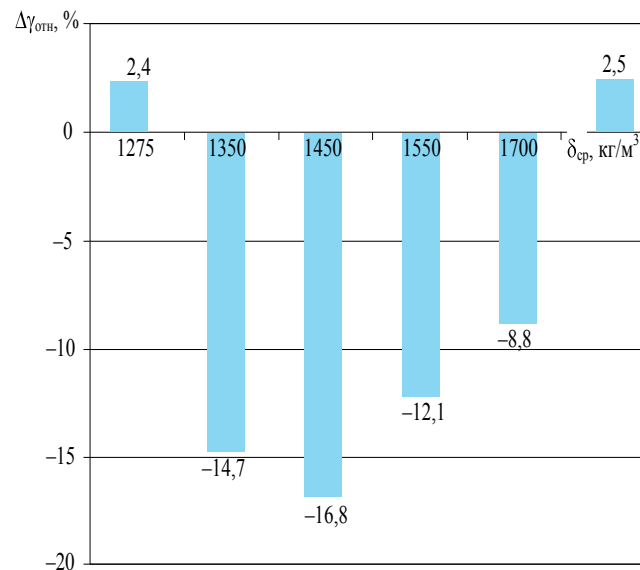
**Рис. 1.** Диаграмма результатов расчета дисперсии после первого цикла вычислений.

Результаты расчета значений дисперсии после первого цикла вычисления с использованием данных опробования продуктов обогащения тяжелосреднего гидроциклона ОФ «Свято-Варваринская» (табл. 2) в графическом виде показаны на рис. 1.

В первом цикле вычислений получено минимальное значение дисперсии  $D(\Delta\gamma_{фр}) = 0,0198$  при  $E_p = 40 \text{ кг/м}^3$  и  $\delta_p = 1600 \text{ кг/м}^3$  (на рис. 1 выделено черным цветом). Для уточнения данных в последующих циклах соответствующие шаги уменьшаются в 2 раза. Таким образом, за 12 циклов вычислений достигается точность показателей на уровне менее  $0,1 \text{ кг/м}^3$ . Полученные значения  $E_p = 31,1 \text{ кг/м}^3$  и  $\delta_p = 1600,4 \text{ кг/м}^3$  обеспечивают снижение дисперсии до  $D(\Delta\gamma_{фр}) = 0,0000197$ , т. е. расчетный выход фракций в продуктах практически совпадает с фактическим (см. табл. 2).

Опыт расчетов показал, что повысить их точность позволяет отбор и анализ проб конечных продуктов обогащения (легкий и тяжелый продукт), так как это исключает ошибки, связанные с изменением исходного питания в результате дробления зерен, шламообразования или размокания пород в технологическом аппарате.

Сравнение (см. табл. 2) фракционного состава пробы питания тяжелосреднего гидроциклона и расчетного состава, полученного суммированием данных анализов конечных продуктов, показывает, что в расчетном составе повышается количество наиболее легких и тяжелых фракций в результате разру-



**Рис. 2.** Диаграмма относительного изменения выхода фракций.

| Плотность фракций,<br>кг/м <sup>3</sup> | Выход фракций в продуктах обогащения, % |        |         |           |        |         |
|---|---|--------|---------|-----------|--------|---------|
|   | фактический                             |        |         | расчетный |        |         |
|   | исходных                                | легких | тяжелых | исходных  | легких | тяжелых |
| Менее 1300                              | 45,21                                   | 82,81  | -       | 47,30     | 82,81  | -       |
| 1300 – 1400                             | 6,26                                    | 9,35   | -       | 5,34      | 9,35   | -       |
| 1400 – 1500                             | 3,90                                    | 4,23   | -       | 2,42      | 4,23   | -       |
| 1500 – 1600                             | 2,65                                    | 3,51   | 0,75    | 2,33      | 3,52   | 0,74    |
| 1600 – 1800                             | 3,77                                    | 0,10   | 7,89    | 3,44      | 0,09   | 7,90    |
| Более 1800                              | 38,21                                   | -      | 91,36   | 39,17     | -      | 91,36   |
| Всего                                   | 100                                     | 100    | 100     | 100       | 100    | 100     |

шения зерен промежуточной плотности, относительное количество которых  $\Delta\gamma_{отн}$  снижается на 8,8–16,8 % (рис. 2). Таким образом, фракционный состав питания операции обогащения целесообразно получать расчетным путем с использованием выхода конечных продуктов, который можно определить по зольности исходного и конечных продуктов.

**Выводы.** Разработанную методику используют для контроля работы обогатительного оборудования на ОФ «Свято-Варваринская» в условиях существенных колебаний характеристик рядовых углей в целях недопущения потерь полезного компонента из-за абразивного износа, в связи с высокой прочностью породных минералов и повышенной нагрузкой. Кроме того, с помощью программы оценили технологические комплексы обогащения гравитационными методами в целом. Так, выполненные расчеты эффективности разделения углей раз-

ных классов крупности в тяжелосредних гидроциклонах и гидроклассификаторе CrossFlow подтвердили целесообразность снижения нижнего предела крупности питания циклонов относительно предусмотренного проектом ОФ «Свято-Варваринская».

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Справочник по обогащению углей* / [под. ред. И. С. Благова, А. М. Коткина, Л. С. Зарубина]. – М.: Недра, 1984. – 614 с.
2. *Полулях А. Д.* Технологические регламенты углеобогачительных фабрик: справ.-инф. пособие / А. Д. Полулях. – Днепропетровск: НГУ, 2002. – 855 с.
3. *Смирнов В. О.* Проекування збагачувальних фабрик / В. О. Смирнов, В. С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2002. – 296 с.
4. *Максимов Ю. А.* Алгоритмы решения задач нелинейного программирования / Ю. А. Максимов, Е. А. Филипповская. – М.: МИФИ, 1982. – 52 с.

**Геннадий Васильевич Высоцкий**

31 марта 2014 г. на 64 году ушел из жизни Председатель правления – генеральный директор ПАО «Харьковский машиностроительный завод «Свет шахтера» Геннадий Васильевич Высоцкий.

Г. В. Высоцкий родился в селе Становая Тростянецкого района Сумской области. В 1968 г. после окончания Харьковского машиностроительного техникума работал на заводе «Свет шахтера» (Харьков) электросварщиком, мастером, начальником цеха, главным инженером, генеральным директором завода. На посту руководителя раскрылись его организаторские способности, талант руководителя.

Геннадий Васильевич – заслуженный машиностроитель Украины, действительный член (академик) Украинской академии наук. Награжден орденом «За трудовые достижения» IV степени, многими медалями, он – полный кавалер знаков «Шахтерская слава» и «Шахтерская доблесть».

Редакционная коллегия и редакция журнала «Уголь Украины», товарищи и друзья выражают глубокое соболезнование семье, родным и близким Геннадия Васильевича.

Светлая память о Геннадии Васильевиче Высоцком навсегда останется в сердцах коллег, друзей и всех, кто его знал, кто с ним работал, общался.

