

УДК 622.7

Г.Ю. Гольберг, А.Б. Палкин

**ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ
ОТХОДОВ ФЛОТАЦИОННОГО
ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ И ОСОБЕННОСТИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО КРУПНОСТИ**

Выполнен анализ гранулометрического состава отходов флотации углей методом лазерной дифракции. Полученные данные по массовому и численному распределению частиц по узким классам крупности в интервале от 0,3 до 300 мкм позволили прогнозировать результаты флокуляции данных отходов флотации.

Ключевые слова: дисперсионный анализ; отходы флотации углей; дифференциальные кривые распределения частиц по массе и по количеству.

Одной из важнейших характеристик минерального сырья и продуктов его обогащения является гранулометрический состав твёрдой фазы. Информация о распределении частиц по крупности необходима на этапе технологического проектирования (для прогнозирования технологических показателей разделительных процессов, выбора наиболее эффективного оборудования и определения оптимальных значений режимных параметров), а также для оценки эффективности разделительных технологий на действующих предприятиях. Специфика процессов обогащения минерального сырья требует особого внимания к гранулометрическим характеристикам тонкодисперсных материалов (необогатенных шламов, концентратов и отходов флотации), поскольку доля частиц микронной и субмикронной крупности оказывает существенное влияние на технологические показатели процессов обогащения, классификации, сгущения и обезвоживания.

Ниже рассмотрены современные методы дисперсионного анализа, по-

лучившие наибольшее распространение в исследовательской практике.

1) Ситовый анализ [1] заключается в разделении исследуемого материала на отдельные классы по крупности при помощи набора сит с различными размерами отверстий. Метод позволяет определять физико-химические характеристики отдельных классов крупности. Нижний предел измерений составляет 40 мкм.

2) Седиментационный анализ [2] позволяет определить диаметр частиц твёрдой фазы в зависимости от скорости их осаждения в дисперсионной среде по закону Стокса. Аппаратурное оформление данного метода весьма разнообразно: торсионные весы; весы Фигуровского; седиментометр Вигнера; ультрацентрифуги. В последнее время получили распространение седиментографы [3]. Недостатки седиментационных методов заключаются в искажении результатов измерений вследствие агрегации частиц, а также в значительных затратах времени на анализ систем, содержащих субмикронные частицы.

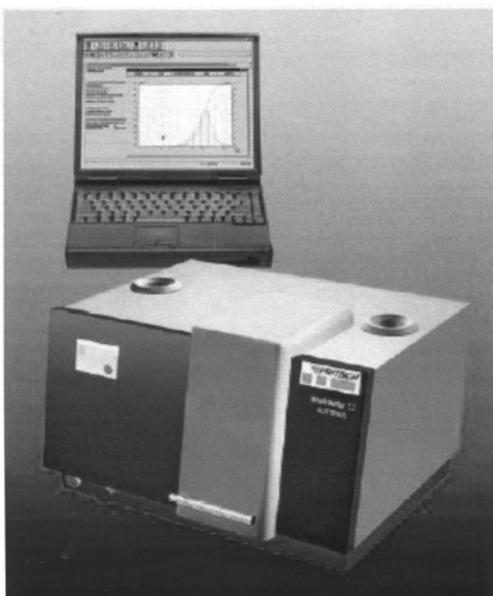


Рис. 1. Общий вид лазерного анализатора размеров частиц "Analyzette 22"

3) Оптическая микроскопия широко применяется для дисперсионного анализа порошков и суспензий с диаметром частиц от 1 до 300–400 мкм. Цифровая обработка изображения позволяет определить не только размеры, но и параметры, характеризующие форму частиц. Для дисперсионного анализа суспензий требуется предварительная обработка с целью предотвращения образования агрегатов.

4) Электронная микроскопия применяется для исследования частиц крупностью менее 1 мкм и требует выполнения весьма трудоёмких операций по подготовке проб исследуемых материалов к измерению.

5) Турбидиметрия и нефелометрия [4] основаны на рассеянии лучей света в дисперсных системах, содержащих частицы крупностью менее 1 мкм. Существенным недостатком данных методов является низкая точность измерений.

6) Лазерная дифракция. Метод основан на зависимости величины угла отклонения лазерного луча от диаметра частицы [5]. Диапазон крупности исследуемых частиц — от 0,3 до 300 мкм. Измерение осуществляется в циркулирующем потоке суспензии при постоянном перемешивании.

По нашему мнению, последний из описанных методов является наиболее эффективным для исследования гранулометрических характеристик тонкодисперсных продуктов обогащения, содержащих частицы микронной и субмикронной крупности, благодаря: высокой точности; широкому диапазону измерений; малой трудоёмкости, возможности исследования пробы без предварительной подготовки и отсутствию погрешностей, обусловленных агрегацией частиц.

Цель настоящей работы: определение гранулометрического состава отходов флотации, содержащих частицы микронной и субмикронной крупности, для прогнозирования результатов флокуляции данных продуктов.

Для проведения исследований ЦОФ "Печорская" (г. Воркута) были предоставлены три пробы суспензий отходов флотации углей марок ГЖО и 2Ж. Гранулометрический состав твёрдой фазы определяли методом лазерной дифракции на приборе "Analyzette 22" (общий вид приведен на рис. 1).

Дифференциальные кривые распределения частиц отходов флотации по крупности представлены на рис. 2, причём интервал разбиения по оси абсцисс был принят равным 0,1 мкм. Количество частиц n_i для каждого i -го узкого класса крупности рассчитывалось по формуле:

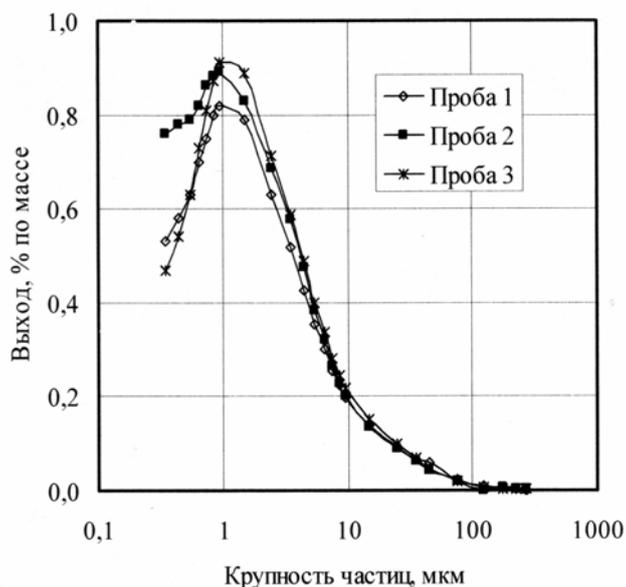


Рис. 2. Дифференциальные кривые распределения частиц отходов флотации по крупности

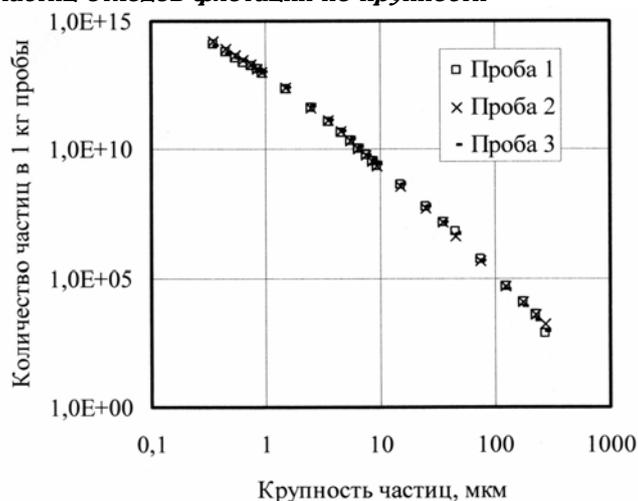


Рис. 3. Распределение количества частиц отходов флотации по классам крупности

$$n_i = \frac{6m_i}{\pi \rho d_{CP}^3}$$

где: m_i — масса i -го класса крупности; ρ — плотность частиц; d_{CP} — средний диаметр частиц i -го класса крупности.

На рис. 3 представлено распределение количества частиц отходов флотации по классам крупности (в пересчёте на 1 кг пробы).

Как можно видеть на рис. 2, в твёрдой фазе исследованных отходов флотации содержится 4,8—5,7 % (по массе) частиц крупностью менее 1 мкм; наибольший выход соответствует классу 1—2 мкм. В соответствии с данными, представленными на рис. 3, количество частиц крупностью менее 1 мкм в исследованных пробах составляет в среднем $2,5 \cdot 10^{14}$ на 1 кг, т.е. около 90 % от общего количества частиц.

Полученные данные по гранулометрическому составу отходов флотации позволили предположить возможность раздельного по времени образования агрегатов ортокинетической (крупность частиц свыше 1 мкм) и перикинетической (частицы субмикронной крупности) флокуляции, поскольку, согласно [6], суммарное время адсорбции полимера и образования флокул по второму механизму значительно больше, чем по первому. Результаты опытов по осаждению исследованных суспензий с применением флокулянта позволили установить сле-

дующее.

1) Частицы крупностью свыше 1 мкм образуют флокулы диаметром 200—1000 мкм в течение 3—5 с; скорость осаждения — до 6 мм/с.

2) Для субмикронных частиц время образования флокул составило 600–900 с; скорость осаждения — не более 0,5 мм/с. В отличие от агрегатов ортокINETического процесса, образуются флокулы, состоящие из одной макромолекулы полимера и нескольких десятков частиц.

Выводы. 1) Методом лазерной дифракции определены granulometriческие

характеристики отходов флотации углей. Установлено, что выход частиц крупностью менее 1 мкм составляет 4,8–5,7 % по массе и около 90 % по количеству.

2) Результаты опытов по флокуляции отходов позволили выявить различия в скорости образования и в строении флокул частиц микронной и субмикронной крупности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГОСТ 2093-82.* Топливо твердое. Ситовый метод определения granulометрического состава.

2. *Ходаков Г.С., Юдкин Ю.П.* Седиментационный анализ высокодисперсных систем. — М.: Химия, 1981. — 192 с.

3. *Коузов П.А., Скрябина Л.Я.* Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. — Л.: Химия, 1983. — 143 с.

4. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1988. — 464 с.

5. *ISO 13320:2009.* Particle size analysis — Laser diffraction methods.

6. *Мягченков В.А. и др.* Полиакриламидные флокулянты. — Казань: КГТУ, 1998. — 288 с. **ИЛАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Гольберг Г.Ю. — кандидат технических наук, доцент, докторант, gr_yu_g@mail.ru,

Палкин А.Б. — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр РАН.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕДР И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(№ 950/03-13 от 25.12.12, 13 с.)

Батулин Андриан Сергеевич — Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru,

Хотченков Евгений Викторович — ГТМ им. В.И. Вернадского РАН.

IMPROVEMENT OF MINING AND ENVIRONMENTAL MONITORING OF KARST PROCESSES IN THE DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES AND THE EARTH'S SURFACE

Batugin Andrian Sergeevich, Khotchenkov Evgeny Viktorovich