НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ

Эл № ФС77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408

электронный научно-технический журнал

## Методика преобразования накопительной функции седиментометра в гранулометрический состав горной породы # 06, июнь 2013 DOI: 10.7463/0613.0576586 Дозморов П. С., Росляк А. Т. УДК 519.688

Россия, Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет <u>dozmorov88@gmail.com</u> <u>RoslyakAT@ignd.tpu.ru</u>

Эффективность целого ряда процессов порошковой технологии в различных отраслях промышленности, а также качество конечной продукции в значительной степени зависят от точности определения размеров частиц твердых компонентов, что вызывает необходимость совершенствования методов и устройств для определения гранулометрического состава [4].

Для определения гранулометрического состава дисперсных материалов используются множество методов, причем обработка результатов измерений проводится с помощью ряда аппроксимационных зависимостей [2]. В настоящей работе используется один из подходов применения метода Розина – Раммлера – Беннета путем преобразования получаемой информации в аппаратной части с целью создания алгоритма для машинной обработки данных о гранулометрическом составе. Рассмотрим эту задачу на примере метода слоевой седиментации частиц.

Способ седиментации частиц из стартового слоя [1] обеспечивает осаждение с одной высоты всех частиц анализируемой пробы порошка. В результате фиксируются все, даже самые крупные частицы, которые при обычных методах седиментационного анализа успевают достигнуть дна кюветы до начала измерений. Для реализации данного метода используется прибор «Весовой седиментометр ВС-4».

Принципиальная схема весового седиментометра представлена на рис. 1. Частицы анализируемой пробы оседают в жидкости с постоянной скоростью, которая в свою очередь зависит от размера частицы, плотности ее материала, плотности и вязкости жидкости. В процессе осаждения на приемную чашку частицы непрерывно взвешиваются высокочувствительной системой. В каждую секунду времени персональный компьютер фиксирует положение чашки. На рис. 2 приведен пример показаний прибора от времени. В идеальном случае с каждой осевшей частицей показания прибора должны увеличиваться, однако, как видно из рисунка 2, данная функция не является монотонно возрастающей, что объясняется искажением входной информации различными шумами. Поэтому первым этапом преобразования полученных данных является интерполяция [5].



Рис.1. Принципиальная схема седиментометра ВС-4

В идеальном случае с каждой осевшей частицей показания прибора должны увеличиваться, однако, как видно из рисунка 2, данная функция не является монотонно возрастающей, что объясняется искажением входной информации различными шумами. Поэтому первым этапом преобразования полученных данных является интерполяция [5].



Рис. 2. Функция накопления данных по времени с прибора «Весовой седиментометр ВС-4»

Следующим шагом является построение функции распределения частиц по размерам  $P(\delta)$ 

 $P(\delta)$  – функция распределения частиц по размерам ( $\delta$ ). Данную функцию можно получить разными методами [2].

Для нашего исследования наиболее применимым является метод Розина – Раммлера – Беннета [6]. По этому методу кривые распределения размера частиц могут быть получены уравнением:

$$R(\delta) = e^{-\left(\frac{\delta}{\delta_e}\right)^a} \tag{1}$$

Для нахождения параметра *а* уравнения (1) дважды логарифмируем:

$$\ln\ln\left(\frac{1}{R}\right) = a\ln\delta + \ln\frac{1}{\delta_e} \tag{2}$$

Обозначим:

$$y = \ln \ln \left(\frac{1}{R}\right)$$
  

$$x = \ln \delta$$

$$b = \ln \frac{1}{\delta_e}$$
(3)

Тогда уравнение (2) примет вид y = ax + b – линейное уравнение. В этом уравнении известны пары  $(x_i, y_i)$ ,  $i = \overline{1, n}$ , n – количество экспериментальных данных. Для нахождения *a* и *b* воспользуемся методом наименьших квадратов.

Функция двух переменных принимает наименьшее значение

$$F(a,b) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - (ax_i + b))^2 \to \min$$
(4)

При данных *а* и *b* сумма квадратов отклонений экспериментальных данных от найденной прямой будет наименьшей [3].

Чтобы найти коэффициенты, находим частные производные функции по переменным *a* и *b* и приравниваем эти производные к нулю. Полученная система решается методом Краммера и получаем формулы для нахождения коэффициентов по методу наименьших квадратов

$$\begin{cases} a = \frac{n \sum_{i=1}^{n} x_{i} y_{i} - \sum_{i=1}^{n} x_{i} \sum_{i=1}^{n} y_{i}}{n \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} - \left(\sum_{i=1}^{n} x_{i}\right)^{2}} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_{i} - a \sum_{i=1}^{n} x_{i}}{n} \end{cases}$$
(5)

При данных *а* и *b* функция (4) принимает наименьшее значение.

Как видно из уравнений (3), для нахождения  $(x_i, y_i)$  необходимо знать размер частиц.

Воспользуемся уравнением в условиях динамического равновесия для движущейся частицы [1]:

$$F_B - F_C - F_\Pi = m \frac{dw}{d\tau},\tag{6}$$

<sub>где</sub> 
$$F_B = mg_{;}$$
 (7)

$$F_C = \xi \frac{\rho w^2}{2} f \tag{8}$$

$$F_{II} = \frac{m}{\rho_{me}} \rho g \tag{9}$$

В приведенных выше уравнениях g – ускорение свободного падения частицы под действием силы тяжести; w – скорость осаждения частицы относительно среды;  $\rho$  и  $\rho_{\text{тв}}$ – плотность среды и твердого материала (частицы) соответственно; f – проекция поперечного сечения частицы на направление ее движения (площадь миделева сечения);  $\zeta$  – коэффициент сопротивления; m – масса частицы.

Из уравнений (6 – 9) получим:

$$\frac{dw}{d\tau} = g\left(1 - \frac{\rho}{\rho_{ms}}\right) - \frac{\zeta \rho w^2}{2m}f$$
(10)

Уравнение (10) характеризует взаимодействие сил, в поле которых находится твердая частица или тело.

Если частица имеет шарообразную форму с диаметром δ и осаждается в поле силы тяжести, то для определения скорости осаждения необходимо ввести условия:

- среда, в которой происходит осаждение, неограниченна;
- осаждению частицы не мешают другие частицы;

#### • скорость осаждения постоянна.

В соответствии с последним условием dw/dt = 0. При введении массы шарообразной частицы с  $m = (\pi \delta^3 / 6) \rho_{TB}$  и площади поперечного сечения частицы  $f = \pi \delta^2 / 4_{B}$  уравнение (10) получим:

$$g\left(1-\frac{\rho}{\rho_{TB}}\right)-\frac{3\zeta\rho w^2}{4\delta\rho_{TB}}=0$$
(11)

или

$$g\left(1-\frac{\rho}{\rho_{m_{\theta}}}\right) = \frac{3\zeta\rho w_{oc}^2}{4\delta\rho_{m_{\theta}}}$$
(12)

откуда

$$W_{oc} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{(\rho_{TB} - \rho)g\delta}{\rho\zeta}}$$
(13)

В приведенных выше уравнениях  $\delta$  – диаметр осаждающейся частицы, м;  $\rho_{TB}$  и  $\rho$  – плотности частицы и среды соответственно, кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, уравнение (13) показывает зависимости скорости осаждения от коэффициента сопротивления среды, который, в свою очередь, зависит от числа Рейнольдса Re =  $w\delta / v$ , где v – кинематическая вязкость среды осаждения.

Рассматриваемые нами режимы осаждения частиц являются или ламинарным или переходным. Отсюда изменяется коэффициент сопротивления среды.

В случае ламинарного режима осаждения (Re < 2 )  $\zeta=24$  / Re .

Промежуточный режим обтекания в пределах изменения 2 < Re < 500 характеризуется меньшей зависимостью сопротивления от критерия Рейнольдса:  $\zeta = 18.5 / \text{Re}^{0.6}$ .

Применим данную теорию для нахождения размера частиц. Нам известно w = H/t, где H – высота осаждения частиц, t – время осаждения частиц одного размера.

Подставим данное равенство в (13) и выразим время t. Получим

$$t = \sqrt{\frac{3H^2\rho\zeta}{4g\delta(\rho_{m\beta} - \rho)}} \tag{14}$$

Подбирая размер частицы (с учетом коэффициента сопротивления среды), найдем такое время осаждения, которое совпадало бы со временем, полученным экспериментально.

Следуя данному методу, получим максимальный размер частиц в данном эксперименте. Поскольку показания прибора содержат скорость осаждения частиц, воспользуемся нормировкой униполярного показателя [7], выражающего только степень наличия некоторого качества (скорости), которое зависит от максимального и минимального показаний прибора.

Далее находим размер частиц для каждого значения показания прибора и времени его получения с учетом нормировки показания прибора. Каждое нормированное показание прибора дважды логарифмируем ( $y_i$  из уравнения (3)). По вышеописанному методу находим размер частицы, логарифмируем, получаем  $x_i$  из формулы (3).

Найдя, таким образом, все пары  $x_i y_i$ , подставим их в формулы (3) для нахождения *a* и *b*.

Таким образом, мы нашли коэффициенты для уравнения Розина-Раммлера-Беннета. Зная коэффициенты уравнения Розина-Раммлера-Беннета, можно найти следующие величины:

- медиану полученного распределения;
- удельную поверхность частиц;
- дифференциальное распределение частиц по размерам;
- интегральную функцию распределения частиц по размерам;
- массовую долю частиц по фракциям в процентном соотношении;
- количество частиц в процентном соотношении.

Представленный метод анализа гранулометрического состава с позиции преобразования получаемой информации с аппаратной части прибора является, на наш взгляд, наиболее применимым в качестве метода для алгоритмизации процедуры и аппаратной обработки данных для данного прибора.

### Список литературы

1. Квеско Н.Г., Росляк А.Т. Весовой седиментометр для автоматизированного измерения гранулометрического состава порошков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2000. № 7. С. 37-40.

2. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. 3-е изд., перераб. Л.: Химия, 1987. 264 с.

3. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. Л.: Физматгиз, 1962. 352 с.

4. Росляк А.Т., Зятиков П.Н. Воздушно-центробежная классификация микропорошков. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. 224 с.

5. Щиголев Б.М. Математическая обработка наблюдений. М.: Наука, 1969. 344 с.

6. Rosin P., Rammler E. The Laws Governing the Fineness of Powdered Coal // Journal of the Institute of Fuel. 1933. Vol. 7, no. 31. P. 29-36.

7. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента: пер. с англ. М.: Мир, 1972. 381 с.

**SCIENCE and EDUCATION** 

EL № FS77 - 48211. №0421200025. ISSN 1994-0408

electronic scientific and technical journal

# Transformation technique for accumulative function of a sedimentometer into a grain-size composition of geological material

# 06, June 2013 DOI: 10.7463/0613.0576586 Dozmorov P.S., Roslyak A.T.

> Russia, National ResearchTomsk Polytechnic University dozmorov88@gmail.com <u>RoslyakAT@ignd.tpu.ru</u>

The authors consider application sedimentation from the starting layer, which allows one to record large grains in a test sample, unlike other sedimentation methods. The analyzing method for grain-size composition of powders and particles of geological material was considered from a perspective of transformation of obtained information in a hardware component of a device as the most suitable for algorithmization of processing measured data when using the sedimentation analysis from the starting layer. Special attention was paid to the analysis of discrete values of the accumulative function by the linear method with a possibility of implementing this method as software.

 

 Publications with keywords: Reynolds, least squares method, sedimentation, Rosin-Rammler-Bennett, normalizing, drag coefficient, Stokes

 Publications with words: Reynolds, least squares method, sedimentation, Rosin-Rammler-Bennett, normalizing, drag coefficient, Stokes

#### References

1. Kvesko N.G., Rosliak A.T. Vesovoi sedimentometr dlia avtomatizirovannogo izmereniia granulometricheskogo sostava poroshkov [Weight sedimentometer for automated measurement of particle size distribution of powders]. *Zavodskaia laboratoriia. Diagnostika materialov*, 2000, no. 7, pp. 37-40.

2. Kouzov P.A. *Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennykh pylei i izmel'chennykh materialov* [Basis of the analysis of the dispersed composition of industrial dusts and grinded materials]. Leningrad, Khimiia, 1987. 264 p.

3. Linnik Iu.V. *Metod naimen'shikh kvadratov i osnovy matematiko-statisticheskoi teorii obrabotki nabliudenii* [The method of least squares and the fundamentals mathematical-statistical theory of observation processing]. Leningrad, Fizmatgiz, 1962. 352 p.

4. Rosliak A.T., Ziatikov P.N. *Vozdushno-tsentrobezhnaia klassifikatsiia mikroporoshkov* [Air-centrifugal classification of micropowders]. Tomsk, TML-Press, 2010. 224 p.

5. Shchigolev B.M. *Matematicheskaia obrabotka nabliudenii* [Mathematical treatment of observations]. Moscow, Nauka, 1969. 344 p.

6. Rosin P., Rammler E. The Laws Governing the Fineness of Powdered Coal. *Journal of the Institute of Fuel*, 1933, vol. 7, no. 31, pp. 29-36.

7. Schenk H., Jr. *Theories of Engineering Experimentation*. New York, McGraw-Hill, 1961. (Russ. ed.: Shenk Kh. *Teoriia inzhenernogo eksperimenta*. Moscow, Mir, 1972. 381 p.).