

УДК 621.373.826:504.064.37

С.В. Половченко, В.В. Роговский, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

*Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Россия, 353900, Новороссийск, ул. Карла Маркса, 21,
E-mail: vshemanin@mail.ru*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВАРИАНТОВ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Качество порошковых материалов напрямую зависит от оперативности контроля их дисперсности при производстве. Показано, что по средним значениям размеров частиц, измеренным интегральными методами рассеяния света, можно восстанавливать функцию распределения частиц по размерам. Статистический анализ представительной выборки проб реального индустриального полидисперсного порошкового материала на примере цемента позволил подобрать аппроксимирующую функцию распределения частиц по размерам, параметры которой с высоким коэффициентом корреляции связаны со средним объёмно-поверхностным диаметром, который измеряется интегральными лазерными методами. Хорошее сходство восстановленных с реальными функциями распределения частиц по размерам показало целесообразность предлагаемого подхода к повышению точности решения обратных задач лазерного зондирования.

**ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ АЭРОЗОЛИ, РАЗМЕРЫ ЧАСТИЦ, ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ,
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СВЕТОРАССЕЯНИЯ**

ВВЕДЕНИЕ

Современные порошковые технологии всё в большей степени развиваются в направлении программирования гранулометрического состава измельчённого материала исходя из поставленных целей и задач. Одним из необходимых элементов этого программирования является контроль дисперсности получаемых порошков. Традиционно контроль дисперсности осуществлялся методами, основанными на предварительном отборе проб и последующем их анализе в лабораторных условиях. Однако требования повышения качества изготавливаемых порошковых материалов всё в большей степени обуславливают сокращение промежутка времени между отбором проб и получением результатов, чтобы была возможность более оперативно вносить необходимые изменения в процесс по корректировке дисперсности производимых порошков. Для этого стали развиваться методы, основанные на автоматическом отборе проб порошка для анализа и доставке его в анализирующее устройство. В последние годы приоритетным направлением развития этих методов явились лазерно-оптические методы диагностики аэродисперсных потоков, построенных на основе теории рассеяния Ми. Это позволило значительно сократить промежуток времени между отбором пробы и получением результата её анализа. Однако недостатком такого подхода является значительная техническая сложность и как следствие высокая стоимость реализуемого метода.

Целью работы является реализация на основе теории рассеяния Ми такого подхода, который позволит в оперативном режиме контролировать дисперсность получаемых

порошковых материалов с помощью достаточно простых в реализации интегральных методов рассеяния.

ПОДБОР АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ

Во многих работах показано, что при получении порошковых материалов путём их измельчения распределение частиц по размерам стремится к логарифмически нормальному закону. В своё время это было обосновано академиком А.Н. Колмогоровым и широко используется на протяжении более чем полувека [1]. Реальные технологические процессы производства порошковых материалов часто представляют собой две и более последовательные ступени измельчения со своими параметрами. Например, помол клинкера при изготовлении цементных порошков осуществляется в специальных мельницах, представляющих горизонтальные полые цилиндры, вращающиеся вокруг собственной оси. Внутри мельница разделена газопроницаемой перегородкой на две камеры. В первой, по ходу движения измельчаемого материала, происходит помол с помощью относительно крупных мелющих шаров, затем материал поступает во вторую камеру, в которой осуществляется помол более мелкими цилиндрическими мелющими телами (цельбепсами).

Это явилось основанием того, что распределение частиц по размерам при помоле цемента может быть представлено как композиция двух функций распределения, соответственно двум камерам мельницы. Для подтверждения этого были рассчитаны по экспериментальным функциям распределения моды логарифмически нормальных функций распределения и были сложены со своими весовыми коэффициентами. В результате обработки случайной выборки, состоящей из 20 функций распределения, были получены аппроксимирующие функции.

Нормированная экспериментальная и аппроксимирующая функции распределения для одной из проб цементного порошка представлены на рис. 1.

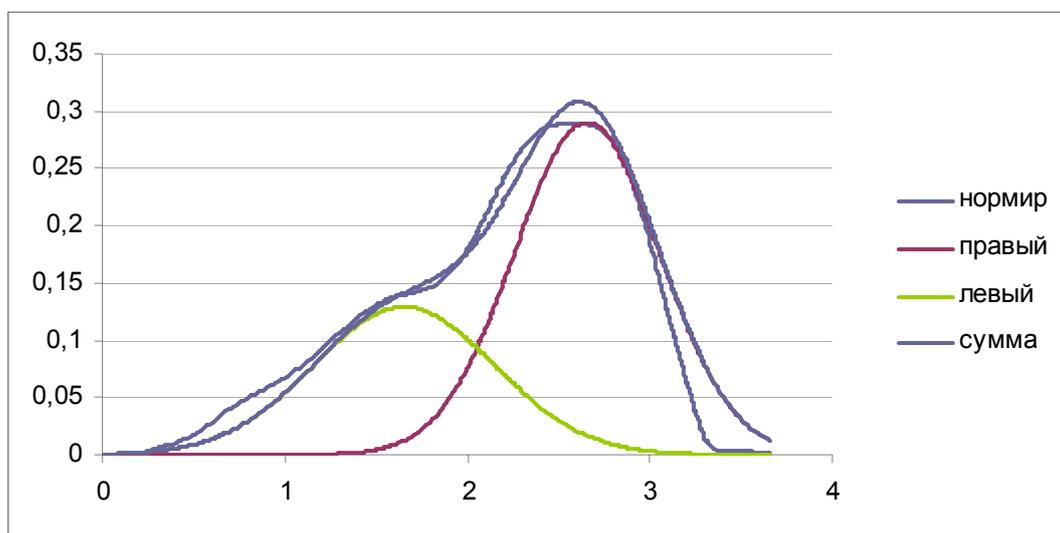


Рис. 1. Нормированная экспериментальная и аппроксимирующая функции распределения частиц по размерам

Как видно из рисунка, правая и левая логарифмически нормальные функции распределения правым и левым своими частями контуров соответственно, практически, полностью повторяют соответствующий контур нормированной экспериментальной функции распределения. При этом аппроксимирующая функция является суммой двух логарифмически нормальных функций со своими модами. Коэффициент корреляции восстановленной функции распределения и экспериментальной для всей выборки составил более 93 %, что является хорошим результатом аппроксимации.

ОЦЕНКА КОРРЕЛЯЦИИ СРЕДНЕГО ОБЪЁМНО-ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ С ДРУГИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Затем по экспериментально измеренным функциям распределения частиц по размерам были рассчитаны средние значения объёмно-поверхностных диаметров (d_{32}) для анализируемой выборки и выполнена оценка их корреляции с соответствующими модами аппроксимирующей функции и с медианным массовым размером частиц. Полученные результаты представлены на рис. 2.

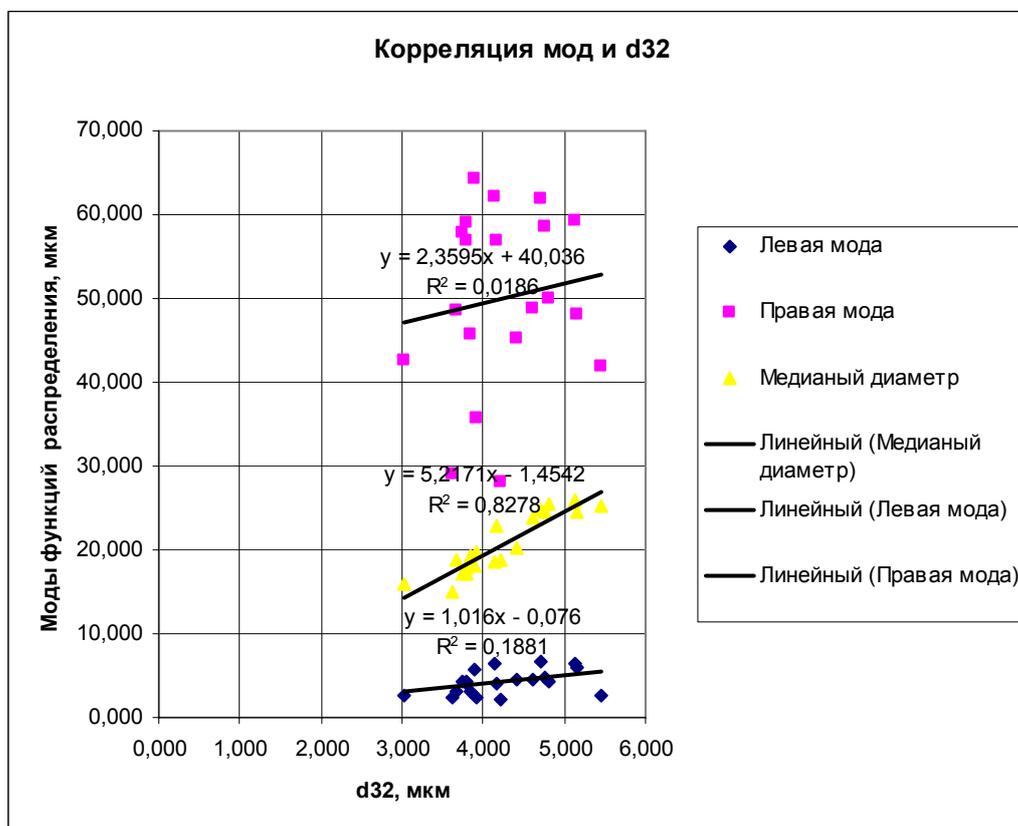


Рис. 2. Корреляционная связь мод функций распределения и медианного размера частиц с d_{32}

Из рисунка видно, что корреляция мод функций распределения с d_{32} менее 0,8, что является недостаточным для утверждения их сильной взаимосвязи. При этом коэффициент корреляции между медианным массовым диаметром частиц и d_{32} составляет более 90%, что является подтверждением их сильной взаимосвязи.

Низкая корреляционная связь мод с d_{32} не позволяет напрямую восстановить значения этих мод, и на их основании саму функцию распределения. Для выхода из этой ситуации весь диапазон размеров частиц был разбит на следующие интервалы: от 0 до 5 мкм., от 5 до 10 мкм., от 10 до 20 мкм, от 20 до 30 мкм., от 30 до 50 мкм., от 50 до 80 мкм и от 80 до 150 мкм. Для каждого интервала были выполнены расчёты массовых долей частиц, а затем проверена их корреляционная связь соответствующей массовой доли с медианным массовым размером. На рис. 3 представлена корреляционная связь массовой доли частиц для фракции от 5 до 10 мкм [2].

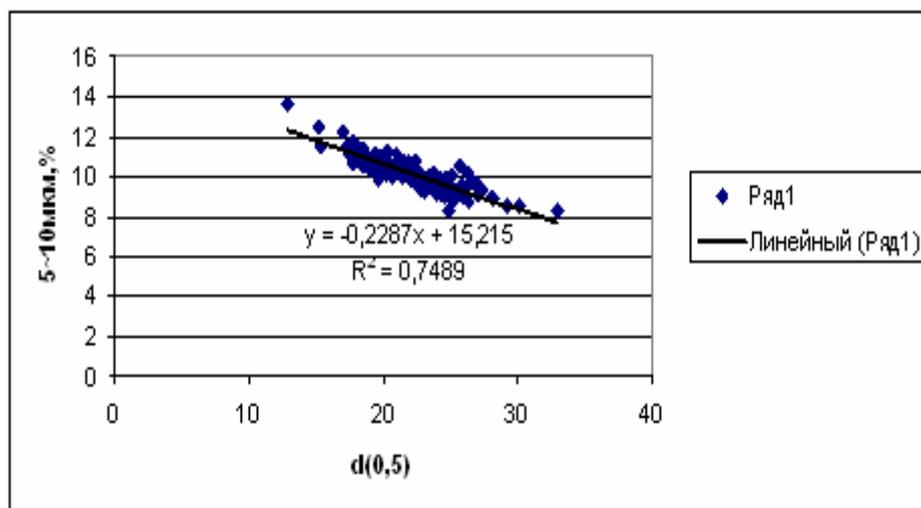


Рис. 3. Корреляция массовых долей фракции 5 – 10 мкм с медианным массовым размером

Коэффициент корреляции массовой доли фракции 5 – 10 мкм с медианным массовым размером оказался 87 %, что является достаточно высоким, чтобы считать связь сильной. Эта связь оказалась сильной (коэффициент корреляции больше 80%) для всех фракций меньше 10 мкм и больше 80 мкм. Именно эти области значений размеров частиц и являются наиболее важными для свойств порошковых материалов.

Следовательно, по измеренному среднему значению объёмно-поверхностного размера можно восстановить значения массового медианного размера и массовых долей мелких и крупных фракций частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были определены функции распределения частиц цементного аэрозоля на основе экспериментальных функций распределения аэрозольных частиц по размерам в готовом мелкодисперсном цементе и установлены сильные корреляционные связи между ними. Выполнен анализ связей между массовым медианным диаметром частиц, объёмно-поверхностным и модами логарифмически нормальных законов распределения частиц по размерам. По измеренному среднему значению объёмно-поверхностного размера можно восстановить значения массового медианного размера и массовых долей мелких и крупных фракций частиц индустриального аэрозоля.

Таким образом, показана возможность аппроксимации функции распределения индустриальных аэрозолей по размерам на основе результатов измерений модифицированным методом спектральной прозрачности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М., 1955, 184 с.
2. Чартий П.В., Черетун О.В., Шеманин В.Г. Повышение точности решения обратной задачи лазерного зондирования аэродисперсных потоков за счет корреляции средних размеров частиц и распределения частиц по размерам в области малых и больших размеров. //«Лазеры. Измерения. Информация». Сборник докладов 19-ой Международной конференции, том. 1., 2009. С. 287-298.

S.V. Polovchenko, V.V. Rogovsiy, P.V. Chartiy, V.G. Shemanin

Kuban State Technological University, Novorossiysk Polytechnic Institute,
Russia, Novorossiysk, 20 K. Marx Str.

E-mail: vshemanin@nbkstu.org.ru

AEROSOL PARTICLES DISTRIBUTION FUNCTION INVARIANTS USING FOR THE LASER SENSING INVERSE TASKS SOLVING

The powder material quality was depend directly on their dispersion operative control at the production. It has been shown that the particles dimensions distribution function can be reconstructed by the particles sizes average values measured by the integral light scattering method.

The real industrial polydisperse powder material representative samples statistical analysis allowed to approximating particles sizes distribution function which parameters were related to the integral laser method measured average volume-surface diameter with the high correlation coefficient.

The good similarity of the reconstructed and real particles sizes distribution function showed the suggested approach to the laser sensing inverse tasks solving accuracy increasing suitability.

INDUSTRIAL AEROSOL, PARTICLES SIZES, DISTRIBUTION FUNCTION, INTEGRAL
LIGHT SCATTERING METHODS