

# Проектирование оптико-электронного анализатора размеров микрочастиц

## Метлов П. О.<sup>1</sup>, Гордиевская А. В.<sup>2</sup>, Титов А. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Метлов Павел Олегович / Metlov Pavel Olegovich – инженер;

<sup>2</sup>Гордиевская Анастасия Владимировна / Gordievskaya Anastasia Vladimirovna – инженер;

<sup>3</sup>Титов Аркадий Арсеньевич / Titov Arkadii Arsenevich – кандидат технических наук, доцент,

кафедра приборов и информационно-измерительных систем,

Институт комплексной безопасности и специального приборостроения

Московский технологический университет, г. Москва

**Аннотация:** приводится описание конструкции, принципа работы прибора, предназначенного для регистрации микрочастиц в воздушном потоке с последующим изучением распределения по размерам. Диапазон измерений микрочастиц составляет от 10 до 1000 мкм.

**Ключевые слова:** сальтация, контроль размера, темнопольная микроскопия, измерение, микрочастицы.

УДК 681.7.08+681.723.2

Интерес к методам и приборам для измерения характеристик аэрозольных сред в последние годы неуклонно растет. Это объясняется рядом причин: развитием технологий в производственных отраслях, где при контроле критерий размера и форм микрочастиц является первостепенной задачей (фармацевтические порошки, стеклянные частицы, измельченные и гранулируемые продукты питания, абразивы, шихта и порошки различного происхождения); изучением процессов происходящих в аэрозолях естественного происхождения (сальтация наземного слоя, пыльные бури), и активного воздействия на эти процессы; серьезными требованиями, предъявляемыми к качеству воздушной и наземной среды, как в лабораторных и промышленных помещениях, так и биосфере Земли [1]. Все это ставит новые сложные задачи перед методами и средствами измерения характеристик микрочастиц и аэрозолей, таких как распределение частиц по размерам и регистрация формы измеряемых микрочастиц.

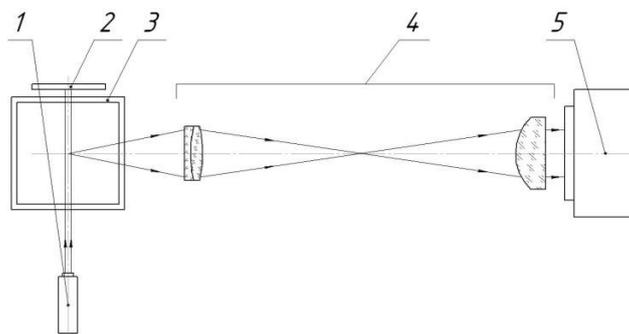
В настоящее время для решения данной задачи имеется небольшое количество методов и приборов. Большинство оптико-электронных измерителей частиц базируется на методе измерения интенсивности рассеянного света на частицах. Также существуют анализаторы размеров микрочастиц, метод измерений которых основан на дифракционном определении среднего размера областей когерентного рассеяния на частицах [2]. Помимо оптико-электронных счетчиков микрочастиц также используется классический метод оптической микроскопии, конечным результатом которого может быть не только распределение частиц по размерам, но и по отношению длины частиц к их среднему диаметру.

Однако все вышеперечисленные оптико-электронные измерители частиц сложны в эксплуатации, калибровка и юстировка устройств затруднительна, приборы крупногабаритные и не обладают желаемой мобильностью. Классический метод оптической микроскопии занимает слишком много времени и производить замеры возможно только в лабораторных условиях.

При разработке устройства была поставлена задача - создать оптико-электронный анализатор размеров микрочастиц, удовлетворяющий следующим качествам: мобильность, уменьшенные габариты, простота эксплуатации, упрощенная калибровка системы. Диапазон измерения размеров микрочастиц – от 10 до 1000 мкм. Необходимо было задействовать метод регистрации микрочастиц, который позволит добиться нужных результатов.

Исходя из размера исследуемых микрочастиц, в диапазоне от 10 до 1000 мкм был выбран метод микроскопии темного поля, совмещенный со скоростной видеосъемкой [3]. Метод темного поля используется для получения изображений прозрачных неабсорбирующих объектов, которые не могут быть видны, если применить метод светлого поля. Данный метод основан на эффекте Тиндаля, известным примером которого служит выявление аэрозоля в воздухе при освещении его узким пучком света [4].

В ходе научно-исследовательской работы была разработана конструкция устройства, а также был изготовлен прототип прибора. На рисунке 1 представлена функциональная схема устройства.



1 – Лазерный модуль; 2 – Экран; 3 – Измерительный объем;  
4 – Микроскоп; 5 – Видеокамера

Рис. 1. Функциональная схема устройства

Для увеличения видимого размера песчинок используется оптическая схема микроскопа (4), состоящая из ахроматического микрообъектива и микроокуляра Гюйгенса. Регистрация процесса пролета увеличенных микрочастиц в измерительном объеме (3) производится скоростной видеокамерой (5) в режиме видеозаписи с дальнейшей передачей на компьютер для обработки. За источник света взят полупроводниковый лазерный модуль (1) мощностью 15 мВт и длиной волны 640 нм. Для калибровки, а также предотвращения выхода лазерного луча за пределы устройства используется экран (2).

Также было создано программное обеспечение, которое обрабатывает видеоизображение, поступающее с видеокамеры, и производит замер основных параметров частиц. Основу разработанного программного обеспечения составляют библиотеки алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения OpenCV.

Перед началом проведения экспериментов на прототипе устройства была произведена калибровка по эталону. Для сравнительного анализа размеров в качестве эталона использовалась калибровочная линейка со штриховым набором 200, 100 и 76 мкм. Зная толщину линии и занимаемое ей количество пикселей изображения, производится дальнейший расчет формы и размеров частиц. В качестве образцов частиц использовались кварцевый песок и гранулированный фармацевтический порошок.

До проведения измерений на прототипе устройства образцы песка и фармацевтического порошка были изучены с помощью цифрового микроскопа DigiMicro Prof и микроскопа МБС-9 для определения размеров микрочастиц и составления гистограмм распределения размеров частиц в образцах. На рисунке 2 представлены образцы кварцевого песка и гранулированного фармацевтического порошка.

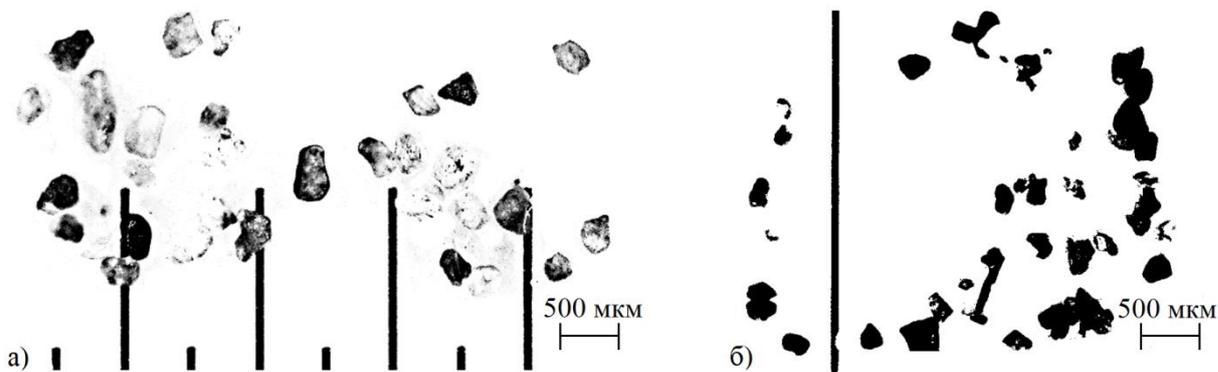


Рис. 2. Исследуемые образцы микрочастиц: а) Образец песка № 3; б) Образец фармацевтического порошка № 3

После измерений размеров образцов микрочастиц с помощью микроскопов DigiMicro Prof и МБС-9 были произведены измерения размеров образцов с помощью прототипа устройства. На рисунке 3 представлено окно разработанной программы с кадром частицы в поле зрения устройства. В поле зрения на темном фоне видно светлое изображение микрочастицы, отличающейся от окружающей среды показателем преломления. У крупных частиц видны светлые края, рассеивающиеся лучом света.

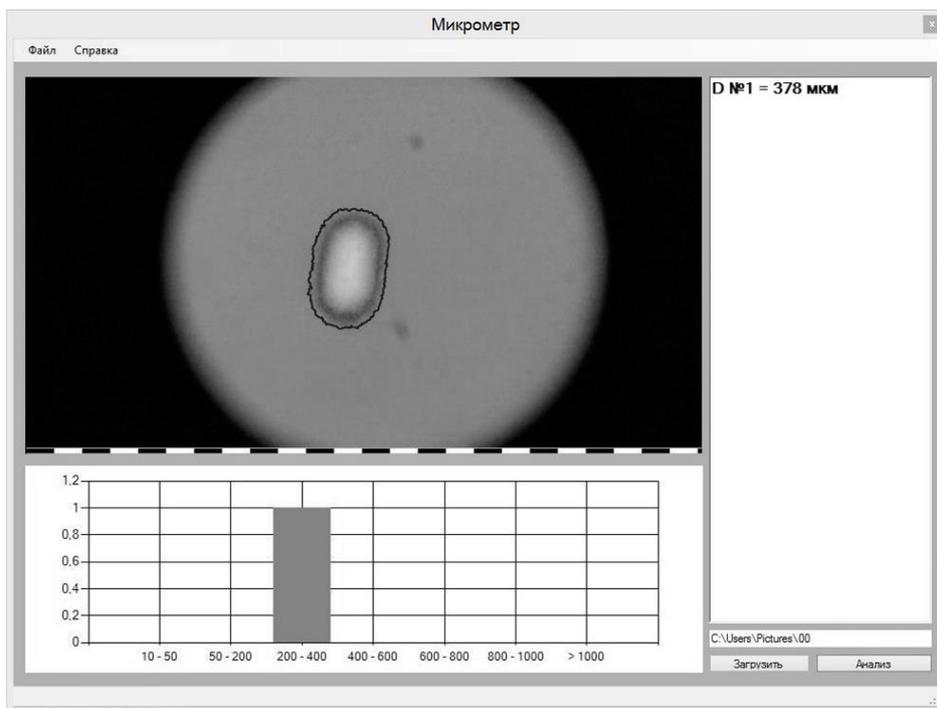


Рис. 3. Частицы в поле зрения устройства

На рисунках 4 и 5 представлены сопоставленные в виде гистограмм результаты измеренных образцов песка и фармацевтического порошка с помощью микроскопов DigiMicro Prof и МБС-9 до эксперимента как эталоны (на рисунках черные столбцы) с результатами, полученными с помощью прототипа прибора (на рисунках белые столбцы).

Результаты исследований показали, что произведенные замеры частиц на прототипе прибора близки к реальным замерам, произведенным вне системы проектированного прибора. Для микрочастиц размером 10 мкм относительная ошибка смещения, возникающая за время выдержки, равна 3%, а для микрочастицы размером 1000 мкм – 0,03%. Для устранения данной ошибки в программу обработки и изменения микрочастиц будет заложена процедура, учитывающая относительную ошибку исходя из размера микрочастицы по вертикали.

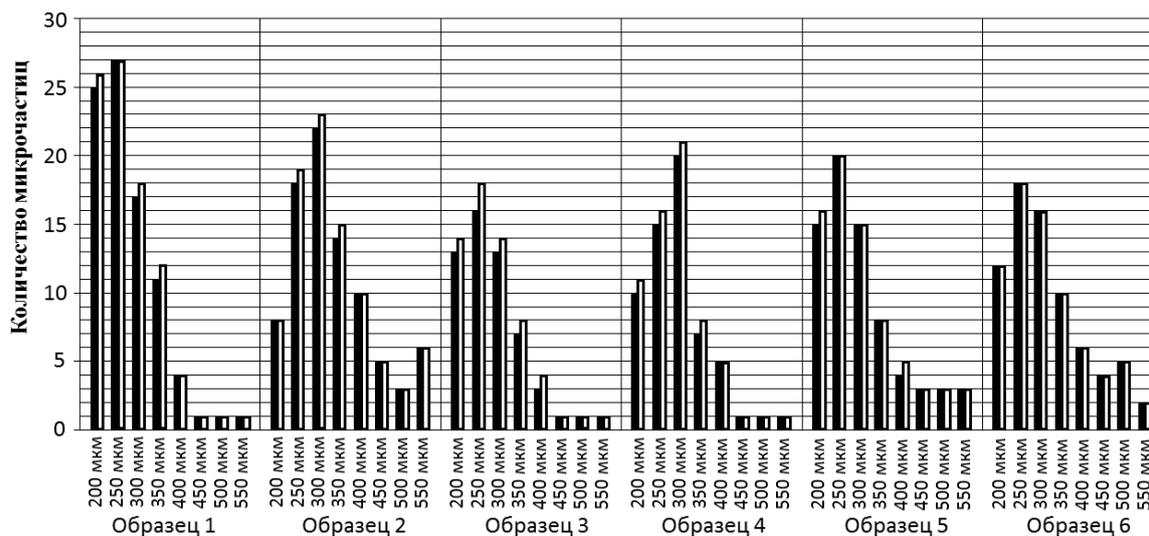


Рис. 4. Общая гистограмма распределения образцов песка

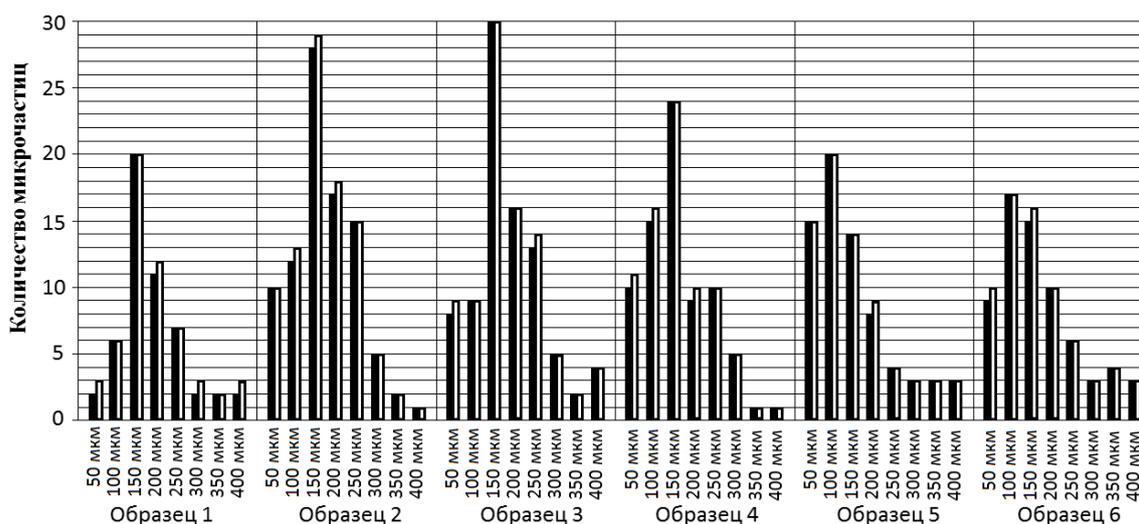


Рис. 5. Общая гистограмма распределения образцов фармацевтического порошка

Таким образом, можно подвести итоги исследования: была разработана конструкция прибора и изготовлен прототип оптико-электронного анализатора частиц, а также, разработано программное обеспечение на основе библиотеки алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения OpenCV.

На прототипе устройства был проведен анализ работоспособности, а также произведены экспериментальные исследования с различными образцами микрочастиц. Испытания прототипа подтвердили, что прибор может измерять микрочастицы и имеет относительную погрешность измерений менее 3 %.

Данное научное исследование проводилось при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» по теме «Разработка измерителя размеров микрочастиц и аэрозолей» в рамках договора №9400 ГУ2/2015 от 28 декабря 2015 г.

#### Литература

1. Метлов П. О., Гордиевская А. В., Михеева Д. В., Титов А. А., Мирсаитов С. Ф. Проектирование анализатора форм и размеров микрочастиц и аэрозолей // Современные технологии в задачах управления. Автоматики и обработки информации: Труды XXIV Международной научно-технической конференции (Алушта, 14 – 20 сентября 2015). М.: Издательский дом МЭИ, 2015 г. 215-216 с.
2. Беляев С. П. Оптико-электронные методы изучения аэрозоля. М.: Энергия, 1981 г. 114 с.
3. Метлов П. О., Гордиевская А. В., Михеева Д. В., Титов А. А. Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб: Университет ИТМО, 2015 г. [Электронный ресурс]: Открытая база научных работ Университета ИТМО. Режим доступа: [http://openbooks.ifmo.ru/ru/collections\\_article/1339/razrabotka\\_izmeritelya\\_razmerov\\_mikrochastic\\_i\\_aerozoley.html/](http://openbooks.ifmo.ru/ru/collections_article/1339/razrabotka_izmeritelya_razmerov_mikrochastic_i_aerozoley.html/) (дата обращения 10.09.2016).
4. Реньян В. Р. Технология полупроводникового кремния. М.: Металлургия, 1969 г. 256 с.