



*Четырнадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 26 – 30 июня 2017 г.*

УДК 551.501.793

Г.П. Арумов, А.В. Бухарин

*Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная, дом 84/32. E-mail:
tumbul@iki.rssi.ru.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ОПИСЫВАЮЩИХ ТРАНСФОРМАЦИЮ ПУЧКА, В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ДЛЯ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

АННОТАЦИЯ

Представлены две исследовательские программы для нахождения сечений по изображениям частиц с использованием ненормализованных моментов. Программа эффективного восстановления основана на связи между ненормализованными моментами первого и второго порядков с пропусканием и угловым размером ореола от рассеяния вперед. Эта программа имеет перспективы в метрологии, поскольку эта связь определяется посредством калибровки. Программа полного восстановления использует логнормальное распределение в качестве пробного для оценки ширины функции распределения частиц по сечениям. Показано, что ненормализованные моменты до четвертого порядка дают удовлетворительное совпадение параметра среднего с параметром, найденным с использованием обычных статистических моментов для отдельных сечений.

НЕНОРМАЛИЗОВАННЫЙ МОМЕНТ, ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ, ОРЕОЛ, ПРОПУСКАНИЕ, СЕЧЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, ИЗОБРАЖЕНИЕ, ПОЛИДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, НЕСФЕРИЧЕСКИЕ ЧАСТИЦЫ, ЛОГНОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ПЕРФОРИРОВАННЫЙ ЭКРАН.

ВВЕДЕНИЕ

Базовая задача дистанционного зондирования атмосферы связана с методами измерения параметров распространяющегося в среде пучка. В настоящее время остаются открытыми вопросы, связанные с дистанционными измерениями параметров пучка, поля зрения приемного канала и их геометрического форм фактора. Возможным решением является использование принципа локальных калибровок [1] и перфорированных экранов [2]. В двухканальной схеме приемный и передающий каналы совмещены и имеют одинаковые угловые параметры. Второй приемный канал оптически эквивалентен основному каналу и его оптическая ось смещена на некоторое расстояние относительно оптической оси зондирующего пучка. В такой схеме отношение двух сигналов характеризует перекрытие полей зрения на заданном расстоянии. Следовательно

двухканальная схема дает, как обратный сигнал для основного приемного канала, так и трассовую зависимость перекрытия полей зрения, или геометрический форм фактор. Для локальной калибровки используются перфорированные экраны. Простейшим видом перфорированного экрана является непрозрачная пленка с нанесенными на ней отверстиями одинаковых диаметров. Установка такого экрана приводит к увеличению, как поля зрения, так и углового размера пучка. Перекрытие между полями зрения увеличивается. Это перекрытие можно связать с соответствующим перекрытием на удаленной плоскости. Это позволяет произвести измерения трассовой зависимости обратных сигналов. Если известны результаты локальной калибровки, то можно измерить перекрытие полей зрения для перфорированного экрана, созданного по изображениям частиц. По увеличению перекрытий между полями зрения можно найти угловой размер ореола рассеяния вперед и затем определить эквивалентный размер отверстий и их количество. Таким образом, две макроскопические характеристики (пропускание и угловое увеличение пучка на выходе перфорированного экрана) позволяют найти эквивалентный размер отверстия. Подобные методы можно отнести к программе эффективного восстановления [3]. Эта программа основана на использовании индикатора размера частиц, которым является угловое увеличение пучка, распространяющегося в рассеивающей среде [4]. Указанная программа может применяться для измерений угловых размеров пучков, прошедших через различные рассеивающие объекты включая рассеивающие среды, а так же экраны в виде дифракционных решеток, отверстий и т. д.

Следующим шагом является определение ширины распределения для размеров частиц. Одним из подходов является зондирование на нескольких длинах волн. Для получения информации о ширине распределения необходимо использовать методы решения обратной задачи, которая как правило, является некорректной. Одной из проблем является использование контактных методов, основанных на принципах светорассеяния (лазерные анализаторы частиц по размерам), для интерпретации данных лидарного зондирования. Подобные методы, как правило, заключаются в измерениях рассеяния излучения на отдельных частицах под углами близкими к прямому и под малыми углами вблизи рассеяния вперед. При этом базовым коэффициентом для лидара является коэффициент обратного рассеяния. Для моделирования коэффициента обратного рассеяния необходима информация о действительной и мнимой частях показателя преломления. Для несферических частиц решение основано на замене несферических частиц сплюснутыми или вытянутыми сфероидами [5]. Упомянутые методы можно условно отнести к исследовательской программе полного восстановления [3]. Разработанные в этой программе методы делают маловероятными перспективы создания метрологического сценария измерения геометрических параметров частиц (линейный размер, сечение, объем). В программе полного восстановления перфорированные экраны могут иметь определенные преимущества. Отметим, что анализ ширины распределения частиц по сечениям гораздо проще реализовать по цифровым изображениям частиц, чем при угловых измерениях рассеяния на отдельных частицах с последующим применением теории Ми. При этом нет необходимости использовать априорные предположения о действительной и мнимой частях коэффициента преломления, обосновывать замену несферических частиц сплюснутыми и вытянутыми сфероидами. Однако для методов обработки цифровых снимков так же существуют различные возможности из которых следует выбрать оптимальные. Так, например, можно анализировать выборки из сечений для изображений частиц. Указанные выборки показывают значительные искажения относительного модельного (логнормального) распределения. Для корректной интерпретации погрешности может потребоваться вмешательство в выборку [4]. Отметим, что указанная выборка может содержать рассеивающие объекты в виде волокон и нитей. Следовательно, разработка алгоритмов, в которых производится локализация участков экрана, содержащих отдельные сечения может не иметь перспектив в метрологии. Преимуществами в программе полного

восстановления будут обладать те методы, в которых используются интегральные параметры для перфорированных экранов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРФОРИРОВАННОГО ЭКРАНА

Базовым экраном является подложка с осажденными на ней частицами. Эта подложка может выступать как оптический эквивалент исследуемого рассеивающего слоя по коэффициентам обратного рассеяния и пропускания. Микроструктуру частиц на подложке можно проанализировать по цифровым изображениям. Например, изображения сферических монодисперсных частиц будут представлять собой круглые пятна с высоким контрастом. По этим изображениям можно изготовить контрастный экран p -типа (positive) в виде пленки, на которой частицам соответствуют участки с минимальным пропусканием, фону соответствует участки с максимальным пропусканием. Этот экран представляет собой двумерный аналог рассеивающей среды по коэффициенту пропускания и угловому искажению пучка. Отметим, что можно произвести экраны с различными размерами пятен изменяя коэффициент увеличения изображения.

Другим типом экрана является экран n -типа (negative), произведенный по негативу контрастного экрана (в дальнейшем перфорированный экран). На этом экране частицам соответствуют пятна с максимальным пропусканием, а фону соответствует минимальное пропускание. При прохождении светового пучка через перфорированный экран вокруг него образуется ореол рассеяния вперед. Геометрия ореола описывается граничными дифракционными волнами [6]. Согласно принципу Бабине, указанный экран n -типа является эквивалентом экрана p -типа по угловому размеру ореола. Изменяя коэффициент увеличения изображения частиц можно менять угловой размер пучка на выходе экрана. Таким образом, основным предназначением перфорированного экрана является то, что этот экран порождает ореол, являющийся индикатором эквивалентного поперечного размера отверстий. Зная коэффициент увеличения изображения и параметр углового увеличения пучка (поля зрения) на выходе экрана, можно определить эквивалентный размер частиц. Если микроструктура рассеивающего объекта не меняется, то пропускание объекта зависит от концентрации рассеивающих частиц. Количеству эквивалентных частиц для первоначальной подложки можно сопоставить, как сигнал обратного рассеяния, так и коэффициент пропускания. Такой способ имеет перспективы метрологического обеспечения измерений.

Настройка оптических параметров приемного и передающего каналов и их взаимного расположения позволяет создать лидар обратного рассеяния, который позволяет измерять угловую трансформацию пучка в рассеивающей среде. Ранее [4] было обосновано приближение

$$\frac{z}{z_h} = G \frac{\sqrt{S_e / S_0}}{\sqrt{S_e / S_0 + 1}}, \quad \text{где} \quad S_0 = \pi \frac{d_0^2}{4}, \quad S_e = \pi \frac{d_e^2}{4} \quad (1)$$

Здесь S_e - эквивалентное сечение диаметром d_e , S_0 - площадь сечения для пятна диаметром d_0 , где d_0 равно отношению длины волны источника излучения к параметру углового размера пучка (поля зрения приемного канала), G - калибровочный множитель, z - длина трассы, z_h - трасса, измеренная по перекрытиям полей зрения с зондирующим пучком, для случая когда угловой размер пучка и поле зрения равны угловому размеру ореола [1]. Выражение (1) связывает статистические характеристики сечений с угловой трансформацией пучка. При $S_e/S_0 \ll 1$ и $S_e/S_0 \gg 1$ параметр $G=1$. При других значениях отношения S_e/S_0 калибровочный коэффициент G определяется по измерениям углового

размера ореола от стандартных перфорированных экранов. Стандартный перфорированный экран содержит круглые отверстия с заданным радиусом. Эти отверстия расположены на экране случайным образом. Любые повороты перфорированного экрана вокруг оптической оси приемного канала дают одинаковое поперечное искажение пучка (поля зрения). В дальнейшем под термином сечение будем подразумевать площадь сечения. Эквивалентное сечение S_e выражается через моменты для поперечных сечений частиц S выражением

$$S_e = \frac{E(S^2)}{E(S)} \quad (2)$$

Здесь $E(S)$ - средняя площадь сечения, $E(S^2)$ - средний квадрат площади сечения, S_e эквивалентное поперечное сечение. Если S_e найдено, то можно изготовить перфорированный экран с монодисперсными круглыми отверстиями с указанным сечением.

Из выражения (2) следует, что эквивалентное сечение зависит от отношения второго и первого моментов функции распределения по сечениям. Определение этих моментов не связано с необходимостью использования какого либо распределения. Более того, с учетом минимального вклада со стороны малых сечений можно применять вместо обычных статистических моментов ненормированные моменты $E^\Sigma(S^k)$. Ненормированные моменты представляют собой суммарное сечение всех пятен и отличаются от обычных моментов отсутствием нормировки

$$E^\Sigma(S^k) = \sum_i S_i^k, \text{ где } i=1, 2, 3 \dots 144 \quad (3)$$

В дальнейшем эти моменты будем именовать ненормализованными. Физическим смыслом ненормализованного момента первого порядка $E^\Sigma(S)$ является пропускание перфорированного экрана. Через ненормализованные моменты можно выразить эквивалентное сечение и количество эквивалентных сечений N_{2l} как

$$S_e = S_{2l} = \frac{E^\Sigma(S^2)}{E^\Sigma(S)}, \quad N_{2l} = \frac{E^\Sigma(S)}{S_e} = \frac{E^\Sigma(S)^2}{E^\Sigma(S^2)} \quad (4)$$

Выражения (2.1) допускают обобщение

$$S_{k,k-1} = \frac{E^\Sigma(S^k)}{E^\Sigma(S^{k-1})}, \quad N_{k,k-1} = \frac{E^\Sigma(S^{k-1})^k}{E^\Sigma(S^k)^{k-1}} \quad (5)$$

Рассмотрим случай монодисперсных частиц; $S_0=S_1=S_2=S_3=\dots S_k$, $k=N_0$. Тогда из выражений для ненормализованных моментов получаем $\sigma=0$, $S_{k,k-1}=S_0$ и $N_{k,k-1}=N_0$ для любого порядка k . Если разброс по сечениям частиц незначителен, то можно наблюдать медленное увеличение для отношения $S_{k,k-1}$ с увеличением k . При этом число пятен N_{2l} будет уменьшаться медленно с увеличением k . Если распределение близко к монодисперсному, то S_{12} приблизительно равно $E(S)$, либо эти параметры отличаются незначительно.

В работе [4] получены снимки сечений из 144 частиц. По этим данным вычислены ненормализованные моменты с первого по четвертый порядок, соответствующие сумме степеней для сечений частиц см (3):

$$E^{\Sigma}(S)=70130, E^{\Sigma}(S^2)=9.641 \cdot 10^7, E^{\Sigma}(S^3)=2.33 \cdot 10^{11}, E^{\Sigma}(S^4)=7.153 \cdot 10^{14} \quad (6)$$

Из (6) получаем $S_{21}=1371, N_{21}=51, S_{21}N_{21}=69921$. Эквивалентное сечение S_{21} связывает угловой размер ореола рассеяния вперед с геометрическими сечениями неоднородностей экрана см (1), (2). Эквивалентный экран можно упаковать круглыми монодисперсными пятнами с сечением S_{21} в количестве $N_{21}=51$. Этот экран создаст такой же пропускание и угловое искажение пучка как и реальный экран. Тогда погрешность S_{21} можно оценить как $(N_{21})^{-1}$ (2%). Эта погрешность возникает из-за неточного покрытия площади $E^{\Sigma}(S)=70130$ пятнами с сечениями 1371 ($S_{21}N_{21}=69921$).

Аналогично случаю для S_{21} , суммарную площадь пятен $E^{\Sigma}(S^3)$ можно упаковать S_{32}^3 приблизительно 16 раз. Это дает возможность определить погрешность S_{32} как $(N_{32})^{-1}$ (~6%). Можно утверждать, что пятен размерами более 2417 менее 16 шт. из 144. Отношение третьего момента ко второму моменту для сечений частиц S_{32} можно связать с квадратом Заутеровского диаметра (Sauter mean diameter). Погрешность для этого отношения можно охарактеризовать параметрами $N_{32}=16$ (или ~6%). Для комбинированного снимка, полученного посредством наложения снимков отдельных частиц, погрешность N_{32} может быть уменьшена.

Точность оценки сечения $S_{k;k-1}$ может быть увеличена посредством создания комбинированного снимка. Действительно отрезку в 32 пикселя на снимке соответствует длина 100 мкм. Сечение 10000 мкм² содержит 1024 пикселя. Ненормализованному моменту первого порядка соответствует 70130 пикселя или суммарное сечение $6.8 \cdot 10^5$ мкм² (0.68 мм²) для прозрачных участков перфорированного экрана. Установка такого экрана перед приемным каналом радиусом 7 мм [7] создаст пропускание $0.68 / 3.14 \cdot 7^2 = 4.4 \cdot 10^{-3}$. Указанное пропускание может быть увеличено в десятки раз если использовать накопление пятен, полученных по изображениям частиц на нескольких различных снимках. Такая возможность приведет к увеличению точности S_{12} и параметров распределения за счет увеличения выборки. Кроме того, появляется возможность для создания стандартных снимков, например, по пропусканию, числу изображений для каждой частицы и т. д. Набор стандартных снимков позволяет произвести оценку погрешности для ненормализованного момента первого порядка. Объектом измерения является коэффициент пропускания для таких снимков. Различие в коэффициентах пропускания позволяет определить погрешность ненормализованного момента первого порядка.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ЧАСТИЦ

Программа полного восстановления использует выражения для логнормального распределения:

$$f(S) = \frac{1}{S\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln S - \ln S_M)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (7)$$

$$E(S^k) = S_M^k \exp\left(\frac{k^2\sigma^2}{2}\right), k=1, 2, 3, \quad (8)$$

Здесь σ - аналогичный среднеквадратичному отклонению параметр, S_M - параметр среднего равной медиане распределения. Для логнормального распределения диапазон изменения случайной величины составляет от $S_M \exp(-\sigma)$ до $S_M \exp(\sigma)$. Этот диапазон может существенно превышать ширину для других распределений, имеющих моменты. При статистическом анализе параметров сечений выборка всегда будет ограничена сверху. В работе [4] обычные статистические методы применены для выборки из 144 сечений. В результате получены следующие значения для параметров распределения

$$S_M=320 (1.6\%), \sigma=1(13\%), (E(S)=497) \quad (9)$$

Для 1σ это соответствует интервалу от 118 до 870. Диапазону 2σ соответствует интервал (43, 2379), диапазону 3σ соответствует интервал (16, 6468). Указанное распределение делает его аналогичным равномерному распределению. Следует отметить, что количеству пикселей ~ 6000 соответствует сечение порядка ~ 60000 мкм². Для накопления частиц посредством осаждения в поле силы тяжести появление таких частиц маловероятно. Это фактор, приводящий к ограничению верхнего диапазона выборки.

Выпишем выражение для ненормализованных моментов логнормального распределения

$$S_{k;k-1} = \frac{E^\Sigma(S^k)}{E^\Sigma(S^{k-1})} = S_M \exp\left(\frac{\sigma^2}{2}(2k-1)\right), \quad (10)$$

$$N_{k;k-1} = \frac{(E^\Sigma(S^{k-1}))^k}{(E^\Sigma(S^k))^{k-1}} = N_0 \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}(k(k-1))\right), k=1, 2, 3\dots \quad (11)$$

Допустим известны ненормализованные моменты до третьего порядка. Тогда можно оценить параметр ширины распределения $\sigma(3,1)$ и среднего S_M по выражениям

$$\exp(\sigma(3,1)^2) = \frac{E^\Sigma(S^3)E^\Sigma(S)}{E^\Sigma(S^2)E^\Sigma(S^2)} \quad S_M = S_{12} \exp\left(-\frac{3\sigma(3,1)^2}{2}\right) \quad (12)$$

$$\sigma(3,1)=0.75 \quad S_M=590 \quad (E(S)=780) \quad (13)$$

Этим параметрам соответствует оценка диапазона для S_M от 278 до 1249. Значение параметра среднего, найденное из обычных моментов (9), входит в доверительный интервал, найденный из ненормализованных моментов (13).

Несмотря на значительную ширину распределения значение эквивалентного сечения S_{21} может быть оценено с гораздо большей точностью, чем значение S_M . Обратим внимание на то, что восстановленное по ненормализованным моментам значение $S_M=590$ существенно больше сечения S_M см (9), из-за большего вклада от пятен больших размеров. Это приводит к различиям в оценках для среднего значения сечения см (9) и (13). Отметим уменьшение N_{32} по сравнению с N_{21} , из-за увеличения вклада со стороны больших сечений S_{32} по сравнению с S_{21} . Уменьшение количества таких сечений приводит к уменьшению оценки $\sigma(3,1)$. Из (9) и (13) следует, что моделирование параметров распределения с использованием ненормализованных моментов до третьего порядка дает заниженные значения для ширины распределения и завышенные значения для параметра среднего. Обратим внимание на отсутствие погрешностей в (13) по сравнению с (9). Действительно, как было сказано в предыдущем разделе, оценка погрешности может быть произведена по

нескольким комбинированным снимкам с одинаковыми количествами изображений частиц. В данном случае мы имеем один снимок, что не дает возможности оценить точность ненормализованных моментов. Точность (2%) может быть характеристикой только параметра S_M так как этот параметр определяется из S_{12} . Для определения σ и оценки точности $\Delta\sigma$ необходимо использовать моменты более высоких порядков.

По ненормализованным моментам до 4 порядка параметр σ может быть вычислен несколькими способами см формула (8)

$$\exp(2\sigma(4,1)^2) = \frac{E^\Sigma(S^4)E^\Sigma(S)}{E^\Sigma(S^2)E^\Sigma(S^3)}, \quad \exp(\sigma(4,2)^2) = \frac{E^\Sigma(S^4)E^\Sigma(S^2)}{E^\Sigma(S^3)E^\Sigma(S^3)} \quad (14)$$

$$\sigma(4,1) = 0.63 \quad \sigma(4,2) = 0.49 \quad (15)$$

В выражении (12) максимальный порядок для моментов сечений в числителе равен 3, в (14) равен 4. Однако суммарный порядок в первом выражении (14) равен 5, во втором выражении (14) 6. Отметим уменьшение вкладов со стороны малых сечений в (15), (13). Следовательно уменьшается значение σ с увеличением суммарного порядка в числителе.

Выражения (13) и (15) позволяют оценить погрешность параметра σ . Эту погрешность можно определить по разнице между соседними значениями σ . Значению 0.12 соответствует разница между $\sigma(3,1)$ и $\sigma(4,1)$. Таким образом получаем $\sigma(3,1) = 0.75 \pm 0.12$ (19%). Параметр S_M можно оценить по формуле переноса ошибок $\Delta S_M / S_M = 3\sigma \Delta\sigma = 48\%$. В выражениях для нахождения σ (12) и (14) суммарный порядок момента в числителе равен суммарному порядку в знаменателе. Следовательно, параметр ширины распределения σ не зависит от коэффициента увеличения для изображения частиц.

Расчет параметра ширины распределения допускает аппроксимацию для сечения, которое может соответствовать первому порядку. Так например, $\sigma(3,1)$ и σ_{41} отличаются на 0.12. Можно предположить, что $\sigma(2)$ будет больше $\sigma(3,1)$ на 0.12, а $\sigma(1)$ больше $\sigma(2)$ так же на 0.12. Исходя из этих предположений $\sigma_1 = 0.99 \pm 0.12$. тогда получим следующие оценки для параметров пробного распределения

$$\sigma(1) = 0.99 \text{ (12\%)} \quad S_M = 309 \text{ (36\%)} \quad (E(S) = 504) \quad (16)$$

Полученные значения параметров распределения практически совпадают с значениями (9), найденными с использованием обычных статистических методов.

В работе [4] применялось Гауссово распределение в качестве пробного для определения статистических параметров отдельных сечений $\ln S_i, i=1,2 \dots$. Для устранения искажений Гауссова распределения с целью корректной интерпретации погрешности потребовалось вмешательство в выборку. Отметим, что $\ln S_i$ не связано с какой либо физической характеристикой распространяющегося в среде светового пучка.

Для локализованных несферических частиц можно посредством накопления изображений частиц от нескольких снимков произвести перфорированные экраны с заданными признаками, например, экраны с одинаковыми ненормализованными моментами первого порядка, или одинаковым количеством отверстий. Для указанных снимков первый ненормализованный момент определяется, как по оптическим методам (пропусканию перфорированного экрана), так и по цифровым изображениям частиц (сечения). Вариации пропускания экрана дают оценку погрешности ненормализованного момента первого порядка $E^\Sigma(S)$.

Ненормализованный момент второго порядка $E^\Sigma(S^2)$ определяется по угловому размеру ореола рассеяния вперед для светового пучка, прошедшего через

перфорированный экран. Следовательно, указанный момент может быть найден, как по оптическим методам (угловой размер ореола от рассеяния вперед), так и по цифровым изображениям частиц (сечения). Измерения ненормализованных моментов первого и второго порядков допускают калибровку по стандартным перфорированным экранам. Таким образом указанные методы обладают всеми атрибутами процесса метрологических измерений для ненормализованных моментов первого и второго порядков. Актуальной задачей является перспектива дальнейшего применения ненормализованных моментов для описания микроструктуры частиц по их изображениям. Для этого необходимо разработать методы, позволяющие измерять ненормализованные моменты высших порядков оптическими методами. Решение этой задачи откроет новые возможности, как в метрологии дистанционных измерений, так и для описания микроструктуры аномальных рассеивающих объектов, не имеющих функции распределения по сечениям в обычном общепринятом смысле, например, в виде волокон и нитей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены две исследовательские программы для статистической обработки сечений, полученных по изображениям частиц. Программа эффективного восстановления характеризуется тем, что ненормализованные моменты первого и второго порядка могут быть измерены, как по цифровым снимкам, так и оптическими методами. Ненормализованный момент первого порядка представляет собой пропускание перфорированного экрана и может быть найден по суммарному сечению частиц на снимке. Ненормализованный момент второго порядка определяет угловой размер ореола от рассеяния вперед. Указанные измерения основаны на проведении калибровок с использованием стандартных перфорированных экранов. На первой стадии определены эквивалентное сечение частиц $S_{21}=1.34 \cdot 10^4 \text{ мкм}^2$ и количество эквивалентных частиц $N_{21}=51$. Погрешность для сечения $S_{21}(2\%)$ оценена по точности упаковки такими сечениями ненормализованного момента первого порядка. Исследовательская программа полного восстановления заключалась в получении информации о ширине функции распределения частиц по сечениям с использованием логнормального распределения в качестве пробного. Показано, что использование ненормализованных моментов до четвертого порядка позволяет восстановить параметры среднего S_M , совпадающие с соответствующими параметрами, найденными с помощью программ использующих локализацию участков для отдельных сечений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bukharin A. V.** Method for measurement of beam lateral distortions with two-position sensing schemes // *Physics of Vibrations*, 2001, Vol. 9, Number 4, pp. 246 - 255.
2. **Bukharin A. V.** Two-position scheme applied for determination of microphysical properties of random transmitting screen // *Physics of Vibrations*, 2002, Vol. 10, N 3, pp. 177 - 184.
3. **Бухарин А. В.** Методологические программы в задаче определения микроструктуры рассеивающих объектов дистанционными методами // *Нелинейный мир*. 2011. Т. 9. №6. С. 342-351.
4. **Арумов Г. П., Бухарин А. В., Тюрин А. В.** Использование статистически неоднородных экранов в задаче калибровки лидара по параметрам изображений частиц для приземного слоя атмосферы // *Измерительная техника*, 2014, №3, стр. 36-40.

5. **Mishchenko M. I.** Lidar aerosol backscatter measurements: systematic, modeling, and calibration error considerations // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2009. V. 110. Issue 11. P. 808–832.
6. **Bukharin A. V.** Boundary Diffraction Waves and the Effective Size of the Inhomogeneities of the Scattering Object. // Physics of Wave Phenomena, 2010, Vol. 18, Number 1, pp. 23 - 26.
7. **Bukharin A. V.** Experimental Validation of the Scenario of the Object Microstructure Determination Using a Two-Position Lidar System: a Screen with Random Transmittance Modulation // Physics of Wave Phenomena, 2007, Vol. 15, N 3, pp 191-200.

G.P. Arumov , A.V. Bukharin

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow, Russia; e-mail: tumbul@iki.rssi.ru.

APPLICATION OF PARAMETERS THAT DESCRIBE THE TRANSFORMING OF A BEAM TO DETERMINE THE CROSS SECTIONS OF NONSPHERICAL PARTICLES

Presents two investigation program of processing sections of the particles from their images using the unnormalized moments. Methodological program of effective recovery is based on the relationship between the unnormalized moments of the first and second order with the transmission coefficient and the angular size of the halo from the forward scattering respectively. This program has future in Metrology, as this relationship is determined by calibration. The unnormalized moments up to fourth order allow to restore the parameters for the distribution of cross-sections, using the lognormal distribution in the methodological program of full recovery.

UNNORMALIZED MOMENT, REMOTE SENSING, HALO, TRANSMISSION, CROSS SECTION, METROLOGY, IMAGE, POLYDISPERSE PARTICLES, NONSPHERICAL PARTICLES, LOGNORMAL DISTRIBUTION, PERFORATED SCREEN.