

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО ОПТИЧЕСКОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ ТЕСТ-ОБЪЕКТА

мическую устойчивость сложной системы в субкритических ситуациях.

5. В случае неожиданной раскачки сложной системы, в «регулировании» устойчивости которой одновременно участвует несколько пунктов, эффективным методом является применение форсировки, в том числе на нескольких звеньях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осокин, Ю.А.. Влияние субкритических фаз движения на параметрические возбуждения и устойчивость системы [Текст] / Ю.А.Осокин. // Измерение. Контроль. Информатизация: материалы десятой Международной научно-технической конференции. - Барнаул, АлтГТУ, 2009, с.151-152.

2. А.с. № 828357, СССР (Российская Федерация), МКИ` Н 02 Р 9 / 10. Устройство для автоматического регулирования возбуждения синхронного генератора [Текст] / В.П.Горелов, П.И. Госьков, Ю.А. Осокин и др.; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - № 2004132661/09, заявл.11.07.79; опубл. 07.05.81. Бюл. № 17. – 5 с.
3. Меркин, Д. Р. Введение в теорию устойчивости движения [Текст] / Д. Р Меркин. - СПб.: Издательство «Лань», 2003.– 304 с.
4. Криксунов, Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники[Текст] / Л.З. Криксунов. - М.: Сов.радио, 1978. – 400 с.

К.т.н., доцент Осокин Ю.А - (3852) 36-75-93 – кафедра информационных технологий АлтГТУ

УДК 535.36:535.346.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО ОПТИЧЕСКОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ ТЕСТ-ОБЪЕКТА

Д.Г. Кальной, С.П. Пронин

В статье моделируется процесс контроля размеров и концентрации мелкодисперсных частиц по оптическому изображению тест-объекта. Проведены экспериментальные исследования для проверки возможности применения разработанной модели.

Ключевые слова: контроль размеров, мелкодисперсные частицы, оптический контраст

Во многих отраслях науки и промышленности необходимо контролировать размеры мелкодисперсных частиц. В зависимости от области применения диапазон размеров таких частиц колеблется в очень широких пределах: от нескольких нанометров до десятков микрометров. Это приводит к большим сложностям при создании средств контроля, так как многие методы применимы лишь для определенных, зачастую небольших диапазонов.

В промышленности методы контроля размеров частиц необходимы при производстве композиционных материалов, химической продукции, лекарственных средств. Большое применение контроль находит в экологии воздушной и водной среды, медицине [1 - 4].

Основными методами контроля размеров частиц являются методы, основанные на рассеянии света. Рассеяние света вызывается наличием в такой среде оптических неоднородностей, то есть включений, которые обладают отличными от окружающей среды

оптическими свойствами. Для описания процесса рассеяния света отдельной частицей применяют теории, базирующиеся на решении уравнений Максвелла: теория Ми, теория Рэлея. Они достаточно сложны и не позволяют достичь приемлемых результатов в широком диапазоне изменения размеров в реальных приложениях. Для описания рассеяния реальными средами, то есть, состоящими из совокупности частиц и допускающими многократное рассеяние, применяют теории многократного рассеяния, оптического переноса [1, 2, 4, 5].

Известно, что передаточная функция «средней» атмосферной турбулентности, также являющейся рассеивающей средой, может быть представлена функцией вида $H(v) = \exp(-v^2/2\sigma^2)^{5/6}$. Часто на практике показатель степени опускают и считают, что $H(v)$ может быть аппроксимирована гауссовой кривой, дисперсия которой σ^2 является функцией атмосферных условий.

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Эта функция выражает свойства среды: концентрацию, размеры частиц, показатель преломления.

Цель работы: смоделировать процесс изменения изображения тест-объекта под воздействием функции $\exp(-x^2/2\sigma^2)$, характеризующей среду и исследовать возможность ее применения для контроля диаметра и концентрации частиц.

В качестве тест - объекта применены три пары чередующихся светлых и темных полос, представленных на рисунке 1.

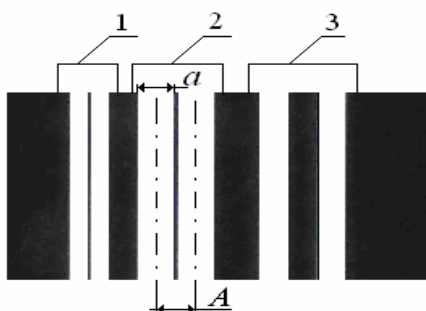


Рисунок 1 – Тест-объект.

Важным параметром парных полос является коэффициент заполнения, определяемый по отношению [6]:

$$K_{\text{зан}} = a / A, \quad (1)$$

где a – размер светлой полосы; A – расстояние между центрами полос.

Геометрические размеры полос тест - объекта, примененного в экспериментальных исследованиях, представлены в таблице 1.

Процесс формирования распределения интенсивности света в области изображения тест-объекта определяется формулой свертки [7]:

$$F(x) = f(x) * \exp(-x^2/2\sigma^2), \quad (2)$$

где $f(x)$ – функция парных полос; (*) – операция свертки; 2σ – диаметр функции рассеяния среды и оптико-электронной системы.

Таблица 1 – Параметры используемого тест - объекта

№ пары светлых полос	a , мм	A , мм	$K_{\text{зан}}$
1	0,6	0,71	0,84
2	1,2	1,4	0,86
3	0,9	1,95	0,46

Величина этого параметра зависит от множества факторов, таких, например, как качество оптической системы и ПЗС-матрицы видеокамеры, показателя рассеяния среды, увеличения оптической системы. В нашем случае параметры используемой оптико-электронной системы считаем постоянными.

Их можно оценить по начальному значению $2\sigma_0$, которое определяется при калибровке оптико-электронной системы без исследуемой среды. Таким образом, возможные изменения 2σ относительно $2\sigma_0$ характеризуют среду.

Любую пару светлых полос можно представить в виде свертки двух δ -функций с прямоугольной функцией, характеризующей ширину полосы [6, 7]:

$$f(x) = \left\{ \delta\left(x - \frac{A}{2}\right) + \delta\left(x + \frac{A}{2}\right) \right\} * \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right), \quad (3)$$

Таким образом, функцию изображения можно определить как:

$$F(x) = \left\{ \delta\left(x - \frac{A}{2}\right) + \delta\left(x + \frac{A}{2}\right) \right\} * \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right) * e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}. \quad (4)$$

В результате данного преобразования формируется изображение, на котором можно выделить максимальный E_{max} и минимальный E_{min} сигналы и определить значение оптического контраста K .

Графики функций изменения освещенности парных светлых полос 1 и их изображения 2 представлены на рисунке 2.

Показателем качества сформированного изображения является параметр M , определяемый по формуле [6]:

$$M = 2\sigma / a. \quad (5)$$

Этот параметр, а также коэффициент заполнения тест-объекта $K_{\text{зан}}$, определяют величину яркостного провала (минимального сигнала E_{min}) в функции [6]:

$$E_{\text{min}}(M, K_{\text{зан}}) = \frac{2 \left\{ \text{erf}\left(\frac{1 + K_{\text{зан}}}{MK_{\text{зан}}\sqrt{2}}\right) - \text{erf}\left(\frac{1 - K_{\text{зан}}}{MK_{\text{зан}}\sqrt{2}}\right) \right\}}{\text{erf}\left(\frac{2 + K_{\text{зан}}}{MK_{\text{зан}}\sqrt{2}}\right) - \text{erf}\left(\frac{2 - K_{\text{зан}}}{MK_{\text{зан}}\sqrt{2}}\right) + 2\text{erf}\left(\frac{1}{M\sqrt{2}}\right)}, \quad (6)$$

где $\text{erf}(\dots)$ – интеграл вероятности.

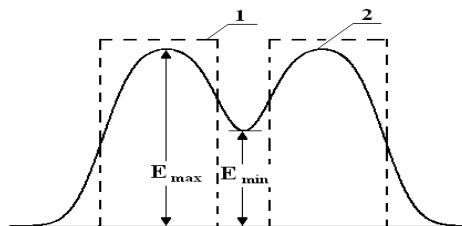


Рисунок 2 – Графики изменения освещенностей: 1 - функция парных светлых полос $f(x)$; 2 - функция изображения этих полос $F(x)$

Таким образом, рассеяние среды можно оценить по нескольким параметрам: сигналам E_{max} и E_{min} , контрасту изображения и по изменению диаметра функции рассеяния.

Согласно научно-технической литературе [8] под контрастом понимают отношение

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО ОПТИЧЕСКОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ ТЕСТ-ОБЪЕКТА

разности максимального E_{max} и минимального E_{min} сигналов к их сумме:

$$K = (E_{max} - E_{min}) / (E_{max} + E_{min}). \quad (7)$$

Чаще всего для исследования процессов рассеяния света применяют жидкие и газообразные среды, в которых взвешены капли жидкости или твердые вещества: аэрозоли, суспензии, эмульсии, коллоидные растворы. Однако твердые вещества также могут быть основой для получения мутной среды. Например, мутной средой является оптически прозрачный твердый материал при наличии на его поверхности или в его толще множества мелких дефектов (матовое стекло). Несмотря на то, что такая среда по своей сути отличается от указанных выше сред, тем не менее, прохождение света через такую среду подчиняется тем же физическим законам. В то же время зачастую такие среды более удобны при работе с ними. Во-первых, они более стабильны, во-вторых, при их использовании можно получить требуемую структуру, например, тонкий рассеивающий слой. И, хотя они представляют меньший практический интерес, чем жидкости или газы, их можно применять для экспериментального исследования процессов рассеяния света в мутных средах.

Для исследования процессов рассеяния света были взяты предметные стекла толщиной 2 мм. Чистое стекло использовалось для калибровки оптико-электронной системы (образец 1). Для моделирования дисперсной среды с большими диаметрами неоднородностей стекла матировали с помощью притирочных паст с размером частиц 80 мкм и 50 мкм (образцы 2 и 3). Это позволяет получить структуру поверхности с размерами дефектов равным в среднем 9 и 5 мкм. Для моделирования коллоидной системы на чистые стекла наносили мыльный раствор с разной концентрацией и высушивали (образцы 4 и 5).

Для определения оптических параметров стекол была создана экспериментальная установка с использованием люксметра. Определяли такие параметры как коэффициент пропускания, коэффициент направленного отражения и коэффициент диффузного отражения [9]. Результаты представлены в таблице 2.

Из таблицы видно, что образцы 2 и 3 значительно ослабляют световой поток. При этом они имеют одинаковые значения коэффициента пропускания. Образцы 4 и 5 меньше ослабляют световой поток и меньше рассеивают. Однако коэффициент пропускания у них различен, поскольку имеют различную

концентрацию частиц на поверхности. Эта особенность используется при определении концентрации веществ в растворах фотометрическим методом.

Таблица 2 – Коэффициенты пропускания, направленного и диффузного рассеяния используемых образцов

Образец стекла	Коэффициент пропускания	Коэффициент направленного отражения	Коэффициент диффузного отражения
1	0,88	0,06	0
2	0,11	0,03	0,0011
3	0,11	0,03	0,0009
4	0,63	0,02	0,0002
5	0,54	0,01	0,0004

Для проведения исследований с применением тест-объекта в виде трех парных светлых штрихов создана экспериментальная установка, структурная схема которой изображена на рисунке 3.

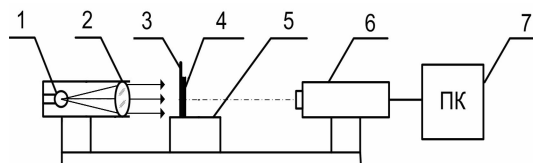


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки

В качестве источника света 1 использована лампа накаливания. Световой пучок от источника проходит через коллимирующую линзу 2 и освещает тест-объект 3. Тест-объект крепили к образцу стекла 4. Тест-объект и образец располагали на столике 5, который позволяет юстировать пространственное положение изображения светлых полос тест - объекта относительно строк фотоприемника. В качестве приемника оптического излучения 6 использовали видеокамеру Samsung VP-W61, подключенную к персональному компьютеру 7, через плату видеозахвата.

В изображении парных полос тест - объекта фиксировали изменения максимального и минимального сигналов и производили их нормировку относительно максимального значения сигнала. Затем вычисляли оптический контраст по формуле (7).

Результаты экспериментов представлены в таблице 3.

Результаты измерений без образца и с образцом 1 применяли для калибровки.

РАЗДЕЛ III. НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Из таблицы видно, что пара светлых штрихов №1 позволяет получить наибольшую чувствительность. В данном случае происходит максимальное уменьшение величины оптического контраста. Однако для образцов 2 и 3, вызывающих значительное рассеяние

такая пара не подходит, так как оптический контраст стремится к нулю. При таких технических условиях невозможно достоверно определить параметры рассеяния однопипных образцов.

Таблица 3 – Контраст в изображении тест - объекта

Образец стекла	Пара №1			Пара №2			Пара №3		
	E_{max}	E_{min}	K	E_{max}	E_{min}	K	E_{max}	E_{min}	K
Без образца	1	0,66	0,20	1	0,66	0,20	1	0	1
1	0,99	0,65	0,21	0,99	0,61	0,23	0,98	0	1
2	0,8	0,8	0	0,91	0,81	0,06	0,85	0,21	0,6
3	0,8	0,78	0,02	0,89	0,79	0,06	0,8	0,24	0,54
4	0,93	0,68	0,16	0,96	0,61	0,22	0,95	0	1
5	0,91	0,75	0,1	0,95	0,65	0,19	0,9	0,03	0,95

В подобных случаях необходимо уменьшать коэффициент заполнения светлых полос. Из таблицы 4 видно, что для пары №3 значения оптического контраста для образцов 2 и 3 существенно отличаются, что позволяет осуществлять контроль параметров подобных объектов.

В то же время, для образцов 4 и 5, моделирующих рассеяние в коллоидных средах, оптический контраст стремится к 100%, то есть рассеяние в данном случае практически не определяется.

Таким образом, для контроля качества различных сред по параметрам рассеяния света необходимо использовать тест - объекты с различными геометрическими размерами и коэффициентами заполнения. Из таблицы 3 видно, что дисперсные среды с размерами неоднородностей более 1 мкм больше ослабляют световой поток, чем дисперсные среды с размерами частиц менее 0,1 мкм. Ослабление максимального сигнала может быть вызвано как поглощением света веществом, так и рассеянием света на неоднородностях среды. Все используемые образцы идентичны: стекла одинаковой толщины и из одной партии. Для получения рассеивающей структуры была обработана только поверхность образцов. Причем в образцах 2 и 3 никаких веществ на поверхности не осталось, а в образцах 4 и 5 коллоидные частицы мыла практически не поглощают свет и считаются средой, только рассеивающей свет [3]. Это позволяет предположить, что для всех используемых образцов ослабление света вызвано в первую очередь рассеянием, а поглощением можно пренебречь. Это в свою очередь говорит о том, что в рассмотренных случаях ослабление можно считать мерой рассеяния. Безусловно, при наличии поглощающих частиц в среде данное предположе-

ние было бы неверным. Именно поэтому методы определения размеров частиц и мутности по ослаблению светового потока имеют значительные ограничения [3].

Образцы 4 и 5 отличаются друг от друга концентрацией сухого мыльного раствора, то есть плотностью неоднородностей на единице площади поверхности. При этом значения оптического контраста для них существенно отличаются, особенно на паре штрихов №1 (48% против 75%).

Для проверки предложенной модели контроля рассчитывали диаметр функции рассеяния 2σ . Для этого необходимо найти значение параметра M , решив уравнение (6) по известному значению минимального сигнала E_{min} и коэффициенту заполнения $K_{зап}$. Затем из формулы (5) определяли значения 2σ для каждого из образцов. Результаты представлены в таблице 4. Отметим, что в случае нулевого или единичного контраста возникает неопределенность, связанная с тем, что диаметр функции рассеяния слишком мал или, наоборот, слишком велик для данной пары штрихов. Поэтому в таких случаях значение 2σ не вычисляли.

Таблица 4 – Диаметр функции рассеяния 2σ

Образец стекла	Пара №1	Пара №2	Пара №3
Без образца	0,26	0,44	-
1	0,25	0,39	-
2	-	0,77	0,8
3	0,33	0,62	0,79
4	0,3	0,42	-
5	0,31	0,46	0,48

Как следует из таблицы, диаметр функции рассеяния в отсутствие образца не равен нулю. В данном случае значение 2σ характеризует функцию рассеяния, или импульсную

характеристику, оптико-электронной системы. Прозрачный образец стекла 1 уже вносит коррективы в систему. Поэтому за начальное значение диаметра 2σ функции рассеяния необходимо брать совокупность «прозрачный образец + оптико-электронная система».

Образцы 2, 3 и 4, 5 значительно отличаются друг от друга по размеру содержащихся на их поверхности неоднородностей. Как видно из таблицы, диаметр функции рассеяния 2σ существенно изменяется при изменении размеров.

При изменении концентрации частиц (образцы 4 и 5) также происходит изменение 2σ , но в меньшей степени.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о применимости предложенного метода для контроля размеров частиц и их концентрации.

Для реализации метода необходимо наличие эталонов диаметров частиц и концентраций. Полученные при измерениях максимальный E_{\max} и минимальный E_{\min} сигналы, а также значение оптического контраста K в изображениях различных тест-объектов, могут служить в качестве статических характеристик.

Сравнивая результаты, полученные на исследуемых образцах, с эталонными значениями, можно делать выводы об изменениях размеров частиц или их концентрации.

УДК: 681.786.42

ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СВЕТОЙ ЛИНИИ НА СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТРИЦЫ

В.И. Замятин, С.А. Отморский

В статье рассматриваются алгоритмы, используемые в приборах контроля перемещения источника излучения. Сравниваются погрешности алгоритмов, обрабатывающие одну и несколько строк видеосигнала.

Ключевые слова: измерительный прибор, фоточувствительная матрица, центроидальный алгоритм, световой шнур

Измерение координаты световой линии на фоточувствительной поверхности матрицы в условиях низкого отношения сигнал/шум существенно уменьшает погрешности приборов. Измерительный прибор реализуется на серийных видеокамерах или фотоаппаратах и светового шнура, выполняющего роль источника излучения, в форме линии. Цифровая обработка видеoinформации позволяет отбрасывать результаты грубых промахов в

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зуев, В.Е. Атмосферная оптика. Том 4. Оптика атмосферного аэрозоля./ В.Е. Зуев, Г.М. Креков. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 255 с.
2. Исимару, А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах./ А. Исимару. - Том 1. – М.: Мир, 1981. – 280 с.
3. Лурье, Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод/Ю.Ю. Лурье–М.: Химия, 1971. –376 с.
4. Методы светорассеяния в анализе дисперсных биологических сред / В.Н. Лопатин и др. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 384 с.
5. Борен, К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами: Пер. с англ./ К. Борен, Д. Хафмен. - М.: Мир, 1986. - 660 с.
6. Пронин, С.П. Оценка качества информационно-измерительной оптико-электронной системы: Монография / С.П. Пронин. - Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2001. – 125 с.
7. Каули, Дж. Физика дифракции: пер. с англ./ Дж. Каули – М.: Мир, 1979. – 431 с.
8. Мирошников, М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Учебное пособие для вузов./ М.М. Мирошников – Л.: Машиностроение, 1977 – 600 с.
9. Прядко, А. Светотехнические характеристики поверхностей материалов // А. Прядко. - Журнал 625. 2004. №7.

д.т.н., профессор Пронин С.П., аспирант Кальной Д.Г. – тел. 8 (3852) 29-07-96 – Алтайский гостехуниверситет, кафедра информационных технологий

строках изображения, вводить весовые коэффициенты для каждого вычисления координаты в строке, что повышает помехоустойчивость измерений.

1. Центроидальный алгоритм вычисления координаты X_c в строке с максимальной амплитудой видеосигнала: