

ВЛИЯНИЕ УДАЛЕННОСТИ СЛОЯ ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ ОТ ПРИЕМНИКА НА ИЗМЕРЯЕМУЮ ОПТИЧЕСКУЮ ПЕРЕДАТОЧНУЮ ФУНКЦИЮ

Э. В. Бабак, А. С. Беляев и Ю. Л. Гитин

Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния удаленности слоя дисперсной системы от приемника на общую оптическую передаточную функцию, измеряемую в плоскости изображения приемного объектива для объекта, расположенного на конечном расстоянии.

Влияние удаленности слоя рассеивающей среды от приемника на оптическую передаточную функцию (ОПФ) оценивалось в работах [1-3]. Однако результатов экспериментальных исследований авторы указанных работ не приводили.

Такие экспериментальные исследования были проведены на специальной установке, разработанной авторами ранее. Исследовались дисперсные системы (ДС) с практически непрозрачными для видимого участка спектра фракциями. В качестве моделей ДС использовались 2%-й раствор канифоли в спирте, диспергированный в воде, с медианным радиусом фракции $a_{\text{ср.}} \approx 0.05$ мкм и раствор молока в воде с $a_{\text{ср.}} \approx 1.5$ мкм при толщине слоя 10 мм. ДС с очень большими по сравнению с длиной волны света фракциями моделировались с помощью нерегулярной капроновой сетки, которая в процессе записи ОПФ вращалась в плоскости, перпендикулярной оптической оси, для обеспечения однородности распределения волокон по плоскости сечения светового пучка. Радиус волокна сетки был 35 мкм. К такой модели пришлось обратиться из-за больших технических трудностей получения однородных водных эмульсий и суспензий с такими крупными фракциями в малых объемах при большой концентрации.

Синусоидальный тест-объект с плавно меняющимся периодом проецировался с помощью передающего объектива либо на плоскость волоконной шайбы для имитации направленной диаграммы излучения объекта, либо на плоскость пластинки молочного стекла МС-12 толщиной 0.2 мм для имитации ламбертовской диаграммы излучения объекта. Угловая расходимость светового пучка при направленной диаграмме излучения была 12.0° . Плоскость промежуточного изображения располагалась на расстоянии $z=1000$ мм от приемного объектива со световым диаметром $D_{\text{ср.}}=50$ мм и углом поля зрения $2\beta=0.5^\circ$. Пространственная частота тест-объекта в плоскости изображения приемного объектива менялась от 0 до 0.5 пер/мм при длине объекта 150 мм.

В качестве источника света использовалась лампа КИМ-100 совместно с интерференционным фильтром с максимумом пропускания на длине волны $\lambda=550$ нм. Графики ОПФ записывались с помощью двухкоординатного самописца ПДП-4.

Исследовались только изотропные однородные дисперсные системы, для которых ОПФ равна своему модулю, т. е. частотно-контрастной характеристике.

На рис. 1 представлены графики ОПФ для ДС с $a_{\text{ср.}} = 1.5$ мкм при ламбертовском объекте и оптической толщине $\tau = 5$. Все кривые нормированы

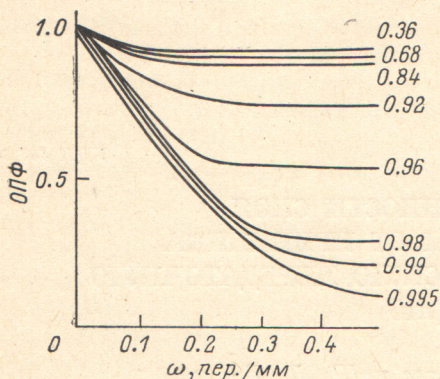


Рис. 1. Графики ОПФ для дисперсной системы со средним радиусом фракций $a_{\text{ср.}} = 1.5$ мкм при ламбертовском объекте и оптической толщине $\tau = 5$.

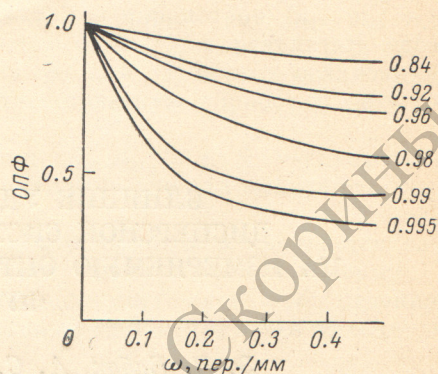


Рис. 2. Графики ОПФ для дисперсной системы с $a_{\text{ср.}} = 0.05$ мкм и оптической толщине $\tau = 5$ при ламбертовском объекте.

к значению ОПФ на нулевой пространственной частоте. Числа у кривых означают расстояние от слоя ДС до приемного объектива в относительных единицах.

На рис. 2 приводятся графики ОПФ для ДС с $a_{\text{ср.}} = 0.05$ мкм и $\tau = 5$ при тех же условиях регистрации.

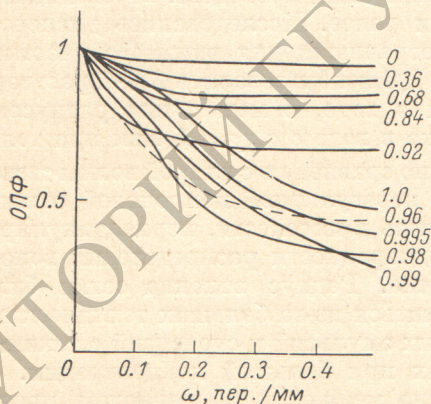


Рис. 3. Графики ОПФ для дисперсной системы с $a_{\text{ср.}} = 1.5$ мкм и $\tau = 4$ при диаграмме излучения объекта с угловой расходимостью $\alpha = 12^\circ$.

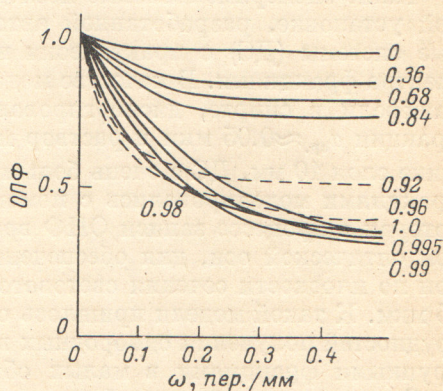


Рис. 4. Графики ОПФ для дисперсной системы с $a_{\text{ср.}} = 0.05$ мкм и $\tau = 4$ при диаграмме излучения объекта с угловой расходимостью $\alpha = 12^\circ$.

Графики ОПФ, которые иллюстрируются рис. 3 и 4, сняты для ДС с радиусом фракций 1.5 и 0.05 мкм соответственно, при направленной диаграмме излучения объекта и $\tau = 4$.

Наконец, на рис. 5 приведены графики ОПФ для сетки с радиусом волокон 35 мкм при коэффициенте ослабления, равном 2.

Все эти графики характеризуют, вообще говоря, ОПФ сложной системы: приемная оптическая система + дисперсная система, поэтому по ним можно проследить лишь общую закономерность изменения совокуп-

ной ОПФ. Характер поведения графиков кривых ОПФ не позволяет сделать однозначного вывода касательно влияния удаленности слоя ДС от объекта.

Ход кривых ОПФ на приводимых на рис. 1 и 2 графиках можно объяснить совокупным влиянием оптической и дисперсной систем. Эффективное сечение слоя ДС, в пределах которого происходила регистрация приемным объективом функции рассеяния, определяется площадью слоя, ограниченной полем зрения приемного объектива. При объекте, расположенном на конечном расстоянии, приемный объектив строит изображение в плоскости, сопряженной с плоскостью объекта. Поскольку плоскость объекта неподвижна, все световое излучение, прошедшее через слой, концентрируется в некоторой точке плоскости изображения только при условии переноса этого излучения в пределах конуса лучей, исходящих из сопряженной с ней точки предметной плоскости. При прочих равных условиях количество рассеянного в направлении приемного объектива света определяется падающим на эффективное сечение слоя прямым светом. Поэтому по мере удаления слоя от объекта и уменьшения телесного угла, в котором прямой

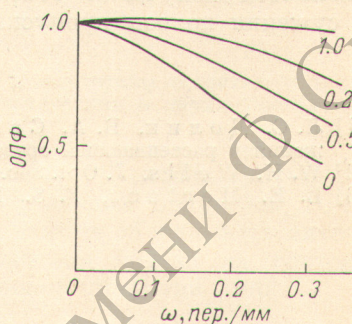


Рис. 5. Графики ОПФ для нерегулярной сетки с радиусом волокон 35 мкм при коэффициенте ослабления равном 2 и диаграмме излучения объекта с угловой расходимостью 12°.

свет освещает эффективное сечение слоя, уровень рассеянного света относительно прямого в плоскости изображения снижается. Это приводит к увеличению коэффициента передачи контраста.

С другой стороны, ширина функций рассеяния для малых по сравнению с длиной волны света частиц в данном случае будет определяться размером эффективного сечения слоя. Поскольку оно меняется мало, то и полоса пропускания, характеризующая ОПФ, также практически не меняется, что хорошо видно из рис. 2. Совсем иная картина наблюдается для ДС с выраженным анизотропным рассеянием (рис. 2). Удаление слоя вызывает уширение функции рассеяния из-за распределения центрального пика индикатрисы рассеяния на все большую площадь эффективного слоя.

Для направленной диаграммы излучения объекта все вышесказанное остается в силе с добавлением лишь того, что до пересечения диаграммы излучения с полем зрения объектива удаление слоя ДС не будет вызывать изменения соотношения между прямым и рассеянным светом. До этого же момента будет происходить наиболее значительное сужение полосы пропускания для ДС с малыми частицами (рис. 4). На рис. 3 некоторое расхождение уровней передачи контраста до пересечения диаграммы направленности и поля зрения объектива (расстояние до приемного объектива 0.98) вызвано тем, что при регистрации ОПФ не был охвачен весь частотный диапазон, в котором эта ОПФ изменяется.

В случае с очень крупными частицами (сетка с радиусом волокна 35 мкм) поведение ОПФ будет определяться уже не диаграммой направленности объекта, если она, как в данном случае, не слишком узкая, а индикатрисой рассеяния ДС. В рассматриваемом примере основная часть рассеянного света концентрируется в пределах угла, близкого к 1°. Поэтому вплоть до входного зрачка приемного объектива функция рассеяния будет занимать в плоскости слоя площадь, меньшую эффективного сечения слоя. В связи с этим ухудшение передачи изображения будет определяться только сужением полосы пропускания без изменения

коэффициента передачи контраста. Следовательно, для такого размера фракций прилежащий к приемному объективу слой будет оказывать на качество изображения максимальное влияние (рис. 5).

Таким образом, окончательные выводы будут такими.

1. При регистрации объектов, расположенных на конечном расстоянии относительно приемного объектива через дисперсную систему, содержащую фракции с размерами, значительно меньшими длины волны, прилежащие к объекту слои оказывают максимальное влияние на коэффициент передачи контраста. Полоса пропускания для всех слоев одинакова, если объект имеет ламбертовскую диаграмму излучения.

2. Для условий регистрации, о которых говорилось выше, слои дисперсной системы, содержащей очень крупные по сравнению с длиной волны фракции оказывают максимальное влияние на качество изображения вблизи от приемного объектива независимо от диаграммы направленности излучения объекта. Это влияние проявляется в основном в сужении полосы пропускания.

Литература

- [1] Л. С. Долин, В. А. Савельев. Уравнение переноса оптического изображения в рассеивающей среде. Физика атмосферы и океана, 15, № 7, 1979.
- [2] W. H. Wells. J. Opt. Soc. Am., 59, № 6, 1969.
- [3] L. E. Mertens, F. S. Replogle. J. Opt. Soc. Am., 67, № 8, 1977.

Поступило в Редакцию 7 апреля 1980 г.
