

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Цыброва Евгения Германовича
на тему: «Математическое моделирование в задачах дифрактометрии и
его приложения в медицинской диагностике»
по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»

В диссертации рассматриваются прямые и обратные задачи дифрактометрии применительно к исследованию распределений частиц, в частности эритроцитов, по размерам и формам. Эти задачи актуальны в практических приложениях, связанных с анализами параметров крови в медицинской диагностике. Необходимость экспресс-анализов крови накладывает серьезные ограничения на вид и сложность используемых в этих задачах математических моделей, алгоритмов решения прямой и обратной задач, а также на быстрдействие программных комплексов, реализующих эти алгоритмы. Поэтому разработка математических моделей для постановки соответствующих обратных задач, создание численных методов решения этих задач и реализующих эти методы программ важна как с теоретической, так и с прикладной точки зрения. Таким образом, рассматриваемые в диссертации задачи являются актуальными, и полностью соответствуют специальности 1.2.2.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Введение содержит обоснование актуальности исследований, проводимых в рамках диссертации, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель работы, ставятся соответствующие задачи, излагается научная новизна и практическая значимость

представляемой работы. Также во введении приводится краткое содержание основной части этой диссертации.

В первой главе описаны прямые и обратные задачи рассеяния на одиночной диэлектрической частице. Исследована математическая модель рассеяния электромагнитного поля на теле вращения. Выписано интегральное уравнение относительно азимутальной компоненты электромагнитного поля. Получена зависимость индикатрисы рассеяния от формы исследуемого диэлектрического тела. Для решения обратной задачи восстановления границы неоднородности предложен итерационный процесс с использованием регуляризованного метода Ньютона-Гаусса. Найдены условия, при которых возможно решить обратную задачу рассеяния и определить границы неоднородности. Разработан комплекс программ для решения прямой и обратной задач, проведены вычислительные эксперименты для конечного цилиндра, шара и тороида.

Во второй главе описана обратная задача рассеяния плоской электромагнитной волны на наборе эллипсоидальных диэлектрических частиц. Предложен численный метод восстановления функции распределения эллипсоидальных частиц по размерам. Проведены вычислительные эксперименты, показавшие его высокую эффективность и устойчивость к погрешностям входных данных. Были проведены эксперименты со специально подготовленными образцами крови с помощью лазерного эктацитометра эритроцитов Rheoscan. Этот прибор позволяет оценивать среднюю деформируемость эритроцитов в исследуемом образце крови. В этих образцах половина эритроцитов были нормальными, а другая половина были жесткими (недеформируемыми), что достигалось путем предварительной обработки эритроцитов раствором глутаральдегида. Дифракционные картины были получены отдельно для обоих компонентов образца крови, причем среднее отношение полуосей эритроцитов для жесткого компонента было равно 1, а для мягкого – порядка 3. Решая прямую

задачу дифракции для этих условий, было оценено среднее отношение полуосей эритроцита как равное 2. Эксперимент, проведенный со смесью эритроцитов подтвердил эту оценку.

В третьей главе разработана математическая модель рассеяния лазерного пучка на неоднородном ансамбле эритроцитов, которая учитывает разброс эритроцитов по размерам, формам и ориентациям в пространстве. Разработан математический метод, устанавливающий связь экспериментально измеряемого контраста дифракционной картины с дисперсией распределения эритроцитов по размерам и формам. Выведены формулы для параметров в случае слабо неоднородных ансамблей эритроцитов (когда радиус эритроцита $R = R_0 \cdot (1 + \varepsilon)$, где ε – случайный параметр, $|\varepsilon| \ll 1$), которые были использованы при решении обратной задачи и существенно ускорили вычисления. Аналитически выразить параметры ансамбля эритроцитов получилось благодаря рассмотрению области дифракционной картины вблизи первого минимума, где возможно полиномиальное представление функции Бесселя и функции Эйри, а также выразить дифрактометрические уравнения через элементарные функции. Численно реализованы предложенные алгоритмы для вычисления параметров распределения эритроцитов по размерам на основе данных лазерной дифрактометрии. Для проверки был взят ряд бимодальных ансамблей эритроцитов, которые моделируют ситуации наличия в крови двух отличных друг от друга по размерам фракций клеток. Так, при ширине распределения эритроцитов по размерам $\mu' = 14\%$ погрешность измерения параметров ансамбля не превышает 8%, а при $\mu' = 18.8\%$ погрешность измерения не превышает 17.5%.

В четвертой главе исследованы математические модели восстановления распределения эритроцитов по геометрическим параметрам дифракционной картины: характеристическим точкам, координатам центра, кругам кривизны. Выведены новые дифрактометрические уравнения,

которые связывают характеристики ансамбля эритроцитов с параметрами наблюдаемой дифракционной картины. Новизна уравнений заключается в том, что они описывают более широкую часть дифракционной картины, чем уравнения, использованные ранее. Ранее было получено уравнение для формы линии изоинтенсивности, в котором пренебрегали частью слагаемых, из-за которого уравнение было применимо только вблизи границы центрального дифракционного максимума. Рассмотрена проблема измерения доли слабо деформируемых эритроцитов (ДСДЭ). Предложен алгоритм измерения ДСДЭ, основанный на сравнении экспериментально наблюдаемых дифракционных картин с картинками, рассчитанными в приближении бимодального ансамбля, когда в образце крови присутствуют эритроциты только двух типов – нормальные (деформируемые) и жесткие (недеформируемые) эритроциты. Показано, что погрешность измерения ДСДЭ не превышает 10%, если разброс эритроцитов по деформируемости составляет величину $\mu' = 6 \div 23 \%$, а интенсивность света на линии изоинтенсивности составляет величину $\tilde{I} = 3 \div 9 \%$ относительно интенсивности центрального максимума дифракционной картины. На основе численных экспериментов сделан вывод, что часть дифракционной картины, где интенсивность света на порядок меньше интенсивности центрального дифракционного максимума, наиболее чувствительна к изменениям параметров ансамбля эритроцитов. Предложен численный метод восстановления среднего размера, ширины и асимметрии распределения деформируемости эритроцитов по наблюдаемой дифракционной картине. Предложенные алгоритмы протестированы в ряде вычислительных экспериментов и в реальных экспериментах с использованием нормальных образцов крови.

В заключении перечислены выводы и основные результаты работы.

Научные положения, выносимые автором на защиту, являются обоснованными и оригинальными. Достоверность результатов обусловлена

теоретической базой, верификацией разработанных методов, адекватностью результатов компьютерного моделирования, а также апробацией в научных публикациях и докладах на конференциях.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа не лишена некоторых недостатков:

1. В третьей главе недостаточно подробно исследуется вопрос применения полученных алгоритмов для экспериментальных данных. Указано, что качество дифракционных картин не позволяет проводить измерения с достаточной точностью, но не показано в чём конкретно это выражается - в высоком уровне шума или в недостаточном разрешении, - и не показано насколько большая погрешность имеет место;
2. Отсутствует сравнение скорости работы и погрешности измерений алгоритмов из разных глав между собой.
3. В тексте имеются опечатки, не очень удачно сформулированные предложения, особенно во 2 главе, которые затрудняют понимание полученных автором результатов. Например, наверное, правильнее говорить не эллиптические, а эллипсоидальные диэлектрические частицы.

Имеющиеся недостатки не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация Цыброва Евгения Германовича отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.2. – “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ” (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным в пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6

Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что соискатель, Цыбров Евгений Германович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН,
профессор, заведующий кафедрой оптики и
биофотоники Института физики федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Саратовский
национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского»
Тучин Валерий Викторович

Контактные данные:

Тел.: +7-(845)-221-06-16, e-mail: t

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.04.03 – Радиофизика

Адрес места работы:

410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», институт физики
Тел.: +7-(8452)-52-27-05, e-mail: physics@sgu.ru

