

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук Чайкова Леонида Леонидовича на диссертацию Игнатенко Дмитрия Николаевича «Анализ дисперсного состава сильнорассеивающих сред методами лазерной диагностики», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.19. Лазерная физика

Дмитрий Николаевич Игнатенко в своей диссертационной работе исследовал матрицы рассеяния света в дисперсных системах, содержащих частицы различных размеров с высокой концентрацией на примере молока и флюoresценцию в образцах таких сред. На основе этих исследований диссертант предложил оригинальный флуоресцентно-скаттерометрический метод для оценки компонентного состава молока, являющегося типичным случаем сильнорассеивающей дисперсной системы. Этот метод был реализован в макетном образце флуоресцентно-скаттерометрического прибора для определения процентного содержания в молоке жира и молочного белка (казеина). Прибор способен также определять наличие и концентрацию соматических клеток в движущемся потоке газомолочной смеси. Эти параметры являются основными показателями оценки качества молока.

Актуальность работы определяется необходимостью разработки новых невозмущающих и простых в реализации методов исследования сильнорассеивающих дисперсных систем. Такие системы распространены как в пищевой промышленности и сельском хозяйстве (молоко и молочные продукты, соусы, кремы и др.), так и в фармакологии и медицине (лекарственные средства в виде эмульсий, наночастицы для адресной доставки лекарств и т.п.), и в нефтеперерабатывающей и химической промышленности и ряде других областей.

Достоверность результатов диссертации подтверждается численными расчетами и повторяемостью данных экспериментов, полученных с помощью специально разработанных экспериментальных методик и серии экспериментальных прототипов приборов.

Теоретическую и методологическую основу проведенных разработок и исследований составили труды отечественных и зарубежных авторов в области оптической диагностики на основе рассеяния света и флюoresценции. Научные выводы диссертации подтверждаются и обосновываются работоспособностью созданных новых приборов и макетов.

Научная новизна работы заключается в новом методе, комбинирующем скаттерометрию и флуориметрию для точного анализа сложных дисперсных сред, в

частности, молока. Впервые экспериментально показана зависимость наклона индикатрисы светорассеяния от концентрации частиц и возможность этим способом определить процентный состав молока без предварительной обработки данных. Жирность регистрируется по интенсивности рассеяния под углами бокового рассеяния (40-70, а примеси – под углами прямого рассеяния. Разработан новый метод определения концентрации белка в молоке с помощью регистрации флуоресценции и вычитания жировой компоненты, определённой скаттерометрией. Результаты работы демонстрируют возможность создания нового простого и точного прибора для анализа сильнорассеивающих сред. Автор почему то не указал здесь введение нового параметра Y - меры изменения наклона индикатрисы, которого я не встречал в литературе.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты диссертационного исследования могут применяться для контроля качества пищевых продуктов, анализа газообразных и жидкых сред в полевых условиях и проведения биологических исследований. Разработаны методы определения содержания компонентов молока в неподвижном и движущемся состоянии, что позволяет создать простые и эффективные приборы для экспресс-анализа как молока, так и других биологических сред.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения с перечислением основных результатов работы и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 157 страниц, включая 49 рисунков и 10 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 260 наименований.

Введение включает формулировку цели и задач исследования, обоснование актуальности и научной новизны, а также защищаемые положения и полученные результаты. В заключении описывается практическая значимость результатов, перечисляются основные публикации и доклады.

Первая глава диссертации представляет собой обзор существующих исследований, посвященных использованию оптических методов исследования, особенно в сельскохозяйственной сфере. В первой части главы рассматриваются различные оптические методы и их применение для анализа молочных продуктов и кормов, с акцентом на спектрометрические методы. В заключительной части анализируются точность и перспективы применения оптических методов диагностики, подчеркивается необходимость разработки портативных приборов для быстрого анализа.

Вторая глава посвящена анализу методов лазерной диагностики (лазерно-люминесцентная спектрометрия, лазерная экстинкция, лазерно-поляриметрическая скаттерометрия). Особое внимание уделяется лазерно-поляриметрическому методу, позволяющему определять содержание жира и белка, а также размеры их мицелл. Особое

внимание уделено лазер-поляриметрической скаттерометрии, поскольку выводы, полученные при оценке возможностей данного метода, легли в основу проработки флуоресцентно-скаттерометрического метода.

Третья глава посвящена исследованию возможностей комбинированного метода, сочетающего флуоресценцию и скаттерометрию. Жирность определяется по нормированному наклону индикатрисы светорассеяния на углах бокового рассеяния 72-108°, а соматические клетки — по отклонению индикатрисы в диапазоне углов прямого рассеяния 0-36°. Интересно введение нового, во всяком случае для меня, параметра Y - меры кривизны индикатрисы. Введение индекса крупных частиц позволяет обнаруживать превышение содержания соматических клеток в 10^5 см^{-3} . Содержание белка определяется по флуоресценции при длине волны возбуждения 280 нм. Результаты измерений рассеяния совпали с результатами математического моделирования.

В четвёртой главе описана разработка прототипа флуоресцентно-скаттерометрического датчика, представлена его конструкция и принцип работы. Продемонстрированы результаты работы датчика в составе доильной установки. В заключение рассматриваются возможности дальнейшего совершенствования конструкции.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

- 1) В ходе исследования были изучены различные методы анализа молока: лазер-люминесцентная спектроскопия, лазерная экстинкция и лазерно-поляриметрическая скаттерометрия. Из всех рассмотренных методов наиболее перспективным оказался лазерно-поляриметрический метод, позволяющий определять содержание жира и белка по поляризационным характеристикам и их размеры с помощью алгоритма решения обратной задачи. Однако данный метод требует предварительной пробоподготовки в виде разбавления молока в 1000 раз и характеризуется не очень высокой надёжностью. Экспериментально было установлено, что наклон индикатрисы светорассеяния зависит от содержания жира в диапазоне ~0.01-10%.
- 2) В рамках исследования было изучено рассеяние лазерного излучения на модельных дисперсных системах на основе молока. В результате была установлена зависимость индикатрисы светорассеяния от содержания жировых мицелл и соматических клеток. Был введён скаттерометрический параметр, представляющий собой логарифм уменьшения интенсивности рассеяния от обратного к боковому рассеянию. Этот параметр чувствителен к содержанию жира в молоке в диапазоне 0-10%. Для калибровки датчика по содержанию жира была построена регрессионная модель.
- 3) Показано, что уровень интенсивности рассеянного света на углах, близких к прямому рассеянию, чувствителен к наличию крупномасштабных примесей. Увеличение

скаттерометрического параметра на углах прямого рассеяния, обусловленное наличием соматических клеток, было зафиксировано с относительным изменением 0,1% при концентрации клеток 10^6 см^{-3} .

4) В ходе исследования были изучены спектры флуоресценции компонентов молока. Определена оптимальная длина волны возбуждения казеина, равная 280 нм. Разработан математический аппарат для определения содержания белка по интенсивности флуоресценции при возбуждении на длине волны 280 нм, учитывающий флюоресценцию жира, содержание которого определяется методом светорассеяния.

5) Предложена конструкция датчика, объединяющая принципы скаттерометрии и флуориметрии для определения состава молока в проточном режиме. Реализованы оптическая и электронная схемы проточного датчика, оснащенного полупроводниковым лазером и УФ-светодиодом с длиной волны 280 нм, а также концентрическим фотодиодным массивом для регистрации индикаторы светорассеяния и интенсивности флуоресценции молока вокруг цилиндрического проточного узла.

К диссертации имеется ряд замечаний:

1. В разделе «Научная новизна» ни разу не встречаются слова «впервые» и «новый», хотя, как сказано в начале отзыва, в работе впервые экспериментально показаны некоторые зависимости, на основе которых предложены и реализованы новые методы анализа дисперсных сольнорассеивающих сред и создан новый прибор. Кроме того, диссертант почему то не указал в «Новизне» введение нового параметра Y - меры изменения наклона индикаторы, которого я не встречал в литературе.

2. Во второй главе отсутствует пояснение, почему выбран метод решения обратной задачи именно методом разложения в линейную комбинацию «каналов», т.е. размерно-вещественных компонентов. Стоило бы пояснить, были ли альтернативные методы решения.

3. На рис. 2.11 на стр. 78 по оси абсцисс отложена величина Y , а описание этой величины (характеристической функции датчика) дано только в следующей главе, на стр. 90.

4. В подписи к рис. 3.5 должна, по-видимому, фигурировать формула (36), а не (38).

Публикаций по теме диссертации - 8, плюс патент РФ на изобретение.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Несмотря на вышеперечисленные замечания, которые носят частный характер и не влияют на общую оценку работы, её результаты определённо представляют научную и практическую ценность.

Диссертационная работа Игнатенко Д.Н. «Анализ дисперсного состава сильнорассеивающих сред методами лазерной диагностики», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, полностью соответствует паспорту специальности 1.3.19. «Лазерная физика». Работа выполнена на высоком уровне и представляет собой систематическое научное исследование в рамках тематики оптической диагностики сложных сильнорассеивающих сред. Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г. (ред. от 16.10.2024г.), предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Дмитрий Николаевич Игнатенко, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. — «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, заведующий Лабораторией комбинационного рассеяния света Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Чайков Леонид Леонидович
«20» ноября 2024 г.

Телефоны: +7(499)132-69-91; +7(916)530-17-00; +7(495)668-88-88, добавочный 69-91.
E-mail: chaykovll@lebedev.ru

Адрес организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН),
119991, Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Подпись Чайкова Л.Л. удостоверяю
Помощник директора ФИАН по научной работе
д. ф.-м. н.

Савинов Сергей Юрьевич

20.11.24г.