

«Утверждаю»
проректор по научной работе
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения ~~высшего образования~~
«Государственный
университет просвещения»
доктор медицинских наук, доцент

Куликов Д.А.

«12» 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации — Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет просвещения» на диссертационную работу 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

Актуальность темы. Сильнорассеивающие дисперсные системы являются объектом исследования различных областей науки и техники, включая физическую химию, геофизику, биомедицину, фармакологию, технологический контроль, мониторинг окружающей среды и сельское хозяйство. Измерение размера и концентрации частиц в сильнорассеивающих дисперсной среде актуально для контроля качества продукции в таких передовых научных направлениях, таких как биотехнологии и нанотехнологии. Однако проблемы диагностики таких сред всё ещё остаются актуальными. Типичным случаем сильнорассеивающих дисперсных систем являются сложные биоорганические среды, такие как молоко. Как известно, качество молока определяется содержанием жира и белка, а также лактозы, аминокислот, прогестерона, микробиологических примесей и соматических клеток.

В представленной автором к защите диссертации исследована возможность определения компонентного состава сильнорассеивающих

сред на примере молока в качестве представленной в главе 2 модельной системы с помощью комбинированной флуоресцентно-скаттерометрической методики. У результатов работы широкий спектр применения.

Научная новизна работы заключается в возможности относительно простого комбинирования скаттерометрии и флуориметрии для осуществления компонентной диагностики сложных дисперсных сред с достаточной точностью. Исследования проводились с использованием молока в качестве эталонного примера широкодоступной мультикомпонентной среды, представленной в разделе 2.4.3. Показано, что наклон индикатрисы светорассеяния зависит от концентрации крупных частиц независимо от степени разбавления среды (в случае молока — от концентрации мицелл жира). Была установлена функциональная зависимость между параметрами формы индикатрисы и компонентным составом молока, что позволяет определять последние без предварительной обработки данных. Жирность регистрируется по углам наклона зависимостей бокового рассеяния, а наличие примесей — по углам наклона зависимостей прямого рассеяния. Метод успешно работает со статическими и движущимися образцами. Для определения содержания белка метод дополнен регистрацией флуоресцентного сигнала. Эксперименты подтвердили, что белок флуоресцирует при длине волны возбуждающего излучения ~ 280 нм, а жир практически не флуоресцирует. Это позволяет определять содержание белка по эмиссии флуоресценции.

Теоретическая значимость полученных результатов

В рамках проведённого исследования были разработаны методы регистрации компонентов молока в неподвижном и движущемся состояниях, описана зависимость наклона индикатрисы светорассеяния от жирности молока и выявлен эффект обнаружения жировых мицелл и крупномасштабных примесей на определённых углах рассеяния в цилиндрической геометрии. Разработан метод прямой регистрации компонентов молока из индикатрисы светорассеяния лазерного излучения без промежуточной обработки измерений. Определена возможность регистрации белка через рассеяние флуоресценции и разработан метод прямой регистрации белка по интенсивности рассеяния флуоресценции. Для проверки работоспособности предложенного метода была разработана серия датчиков — анализаторов компонентного состава молока.

Практическая значимость полученных результатов

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы для определения примесей в газообразных и жидких средах в производственных условиях, контроля качества пищевых продуктов, экологическом мониторинге, а также в биологических исследованиях. Результаты исследования могут послужить основой для создания простых и эффективных датчиков дисперсного состава биологических сред, которые могут быть использованы в биологических исследованиях и сельском хозяйстве, в противовес дорогим лабораторным установкам.

Полученные в диссертационной работе экспериментальные результаты и физические модели демонстрируют возможность создания датчика на основе флуоресцентно-скаттерометрического метода определения компонентного состава молока, сочетающего простоту и точность. В молочной промышленности такие датчики могут найти применение в рамках экспресс-анализа на предварительном этапе подготовки молочной продукции.

Обоснованность научных положений, рекомендаций и достоверность результатов исследования

Обоснованность выводов на основе полученных результатов исследования подтверждается применением известных теоретических положений и экспериментальной верификацией с применением сертифицированного научного оборудования. В рамках диссертации изучено и проанализировано большое количество научных работ отечественных и зарубежных исследователей, посвящённых вопросам оптической диагностики и, в частности, вопросам применения скаттерометрических и флуориметрических методов как аналитического инструмента при компонентной диагностике молочных продуктов.

Достоверность результатов диссертации обоснована применением стандартных методов статистической обработки экспериментальных данных, теоретическим моделированием и положительными результатами испытаний серии экспериментальных прототипов прибора. Теоретическую и методологическую основу проведенных разработок и исследований составили труды отечественных и зарубежных авторов в области оптической диагностики на основе рассеяния света и флуоресценции.

Личный вклад соискателя: разработка и реализация плана измерений; обработка экспериментальных данных; анализ и интерпретация полученных результатов; разработка и изготовление экспериментального

оборудования и прототипов датчика.

Кроме того, соискатель принимал активное участие в подготовке научных публикаций, включая написание и обсуждение статей и тезисов конференций.

Структура и содержание работы

Диссертация объемом 157 страниц включает введение, четыре главы, заключение с кратким изложением основных результатов, и список литературы из 260 источников. Работа содержит 49 иллюстраций и 10 таблиц.

Введение диссертации включает формулировку цели и задач исследования, обоснование актуальности и научной новизны, описание полученных результатов, формулировку защищаемых положений, практическую значимость работы, а также перечень публикаций и докладов по тематике.

В первой главе диссертации проводится обзор применения оптической диагностики в сельском хозяйстве, в частности, в молочной промышленности. В обзоре рассмотрены оптические методы исследования для диагностики молочных продуктов и кормов, большое внимание уделено спектрометрическим методам, оцениваются возможности оптических методов, обосновывается потребность в переносных аналитических приборах.

Вторая глава диссертации рассматривает основные методы лазерной диагностики: лазер-люминесцентную спектрометрию, лазерную экстинкцию и лазер-поляриметрическую скаттерометрию. Использование лазер-поляриметрического метода обеспечивает измерение концентрации жира и белка и размеров мицелл. Описана методика материала для исследований на основе образцов коровьего молока с различным номинальным содержанием жира, изготовленных промышленным способом с использованием ультравысокотемпературной пастеризации и гомогенизации..

В третьей главе диссертации описывается комбинированный флуоресцентно-скаттерометрический метод анализа молока. Продемонстрировано, что индикатором светорассеяния может быть использована для определения жирности, а нормирование интенсивности светорассеяния позволяет исключить влияние внешних факторов. Доказано, что скаттерометрия позволяет независимо измерять содержание жира и соматических клеток в разных диапазонах углов. Разработана

имитационная модель светорассеивающей среды, подтверждающая точность экспериментальных данных. Также предложен метод определения содержания белка по регистрации флуоресценции, основанный на исключении вклада жирности, определяемого скаттерометрией.

В **четвёртой главе** представлена разработка прототипа флуоресцентно-скаттерометрического датчика для анализа молока. Приведена конструкция прибора и его принцип действия, результаты работы в составе доильной установки. Показана возможность совершенствования конструкции, включая определение содержания соматических клеток с помощью КМОП-матрицы и переход к линейной схеме датчика.

Выводы и результаты по диссертационной работе:

1. Исследованы различные методы анализа молока, включая лазер-люминесцентную спектроскопию, лазерную экстинкцию и лазер-поляриметрическую скаттерометрию. Последний метод позволяет одновременно определять содержание жира и белка, но требует разбавления молока и имеет низкую точность.
2. Изучена зависимость индикатрисы светорассеяния от содержания жировых мицелл и соматических клеток. Показано, что наклон индикатрисы чувствителен к содержанию жира в диапазоне 0.01-10%. Введён скаттерометрический параметр, чувствительный к жирности молока в диапазоне 0-10%, построена регрессионная модель для калибровки датчика.
3. Установлено, что интенсивность рассеяния света на углах, близких к прямому, чувствительна к крупномасштабным примесям, в частности, соматическим клеткам (при концентрации клеток в 10⁶ см⁻³ относительное изменение скаттерометрического параметра в прямом рассеянии составляет ~10%).
4. Исследованы спектры флуоресценции компонентов молока и определена оптимальная длина волны возбуждения казеина (280 нм). Разработан математический аппарат для определения содержания белка по интенсивности флуоресценции с учётом измерений содержания жира по светорассеянию.
5. Предложена конструкция проточного датчика, объединяющего измерения рассеяния света и флуоресценции для определения состава

молока. Разработаны оптическая и электронная схемы датчика с полупроводниковым лазером и УФ-светодиодом с длиной волны 280 нм и концентрическим фотодиодным массивом для регистрации индикатрисы и интенсивности флуоресценции молока.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты и выводы диссертационной работы могут найти применение в качестве основы для разработки учебных и учебно-методических материалов при обучении студентов старших курсов бакалавриата и магистратуры, а также методических рекомендаций по разработке лазерных методов исследования жидких сред и диагностических средств для анализа сильнорассеивающих сред, в частности флуоресцентно-скаттерометрических датчиков.

Достоверность результатов исследования

Достоверность результатов диссертации обоснована применением стандартных методов статистической обработки экспериментальных данных, теоретическим моделированием и положительными результатами испытаний серии экспериментальных прототипов прибора. Теоретическую и методологическую основу проведенных разработок и исследований составили труды отечественных и зарубежных авторов в области оптической диагностики на основе рассеяния света и флуоресценции.

Замечания к работе

К диссертационной работе были предъявлены следующие замечания:

1. Структура первой главы недостаточно оптимальна. Имелось бы смысл расположить раздел с описанием оптических методов в самом начале.
2. Не представлен список сокращений.
3. На стр.82 указывается на вероятность наличия мастита при значительной концентрации соматических клеток, обнаруживаемой используемым лазерным методом. На самом деле такая диагностика зависит и от комплекса других параметров, не описываемых в диссертации.
4. Во второй главе не показано влияние физических параметров объекта исследования, кроме размера, на моделируемые и измеряемые зависимости.
5. В третьей главе не объяснено, как именно подбирались уравнения составной функции для аппроксимации результатов измерения флуоресценции.

6. Большой разброс размеров иллюстраций, нет унификации.
7. Слишком большой интервал между заголовками и основным текстом.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы. Ее результаты несомненно представляют научную и практическую ценность.

Актуальность темы диссертации, практическая значимость полученных результатов, высокий уровень выполненного анализа, несомненно, являются достоинствами диссертации. Достоверность результатов, представленных в работе, в целом не вызывает сомнений.

Основные результаты работы опубликованы в восьми отечественных и зарубежных журналах с высоким импакт-фактором (один журнал Q1, шесть Q2 и один Q4, индексируемые в Web Of Science; два журнала Q1, пять Q2 и один Q4, индексируемые в Scopus), а также в трудах восьми всероссийских и международных конференций. Одним из результатов работы стал патент на изобретение. Тематика диссертационной работы соответствует специальности 1.3.19. Лазерная физика по физико-математическим наукам.

Заключение

Диссертация Игнатенко Дмитрия Николаевича на тему «Анализ дисперсного состава сильнорассеивающих сред методами лазерной диагностики», представленная к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика, является законченной научно-квалификационной работой.

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует требованиям п. 9, 10, 11, 13, 14 Положения «О присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Отзыв подготовлен Беляевым Виктором Васильевичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии физико-математического факультета Федерального государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Государственный университет просвещения».

Диссертация Игнатенко Дмитрия Николаевича «Анализ дисперсного состава сильнорассеивающих сред методами лазерной диагностики», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика, обсуждена, и отзыв на диссертационную работу обсужден и утвержден на заседании кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии физико-математического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет просвещения», протокол заседания № 4 от «12» ноября 2024 года.

Председательствующий на заседании кафедры
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры фундаментальной физики
и нанотехнологии
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Государственный университет просвещения»

_____ B.В. Беляев

подпись

Дата «12» ноября 2024 г.

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования (ФГАОУ ВО) «Государственный университет просвещения»
Адрес: 105005, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, ул. Радио, д. 10А, стр. 2
Тел.: +7 (495) 780-09-40
Электронная почта: info@eduprosvet.ru
Сайт: <https://gupros.ru>