

На правах рукописи



Мокрова Дарья Всеволодовна

БЕСКОНТАКТНАЯ ДИАГНОСТИКА ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКЛ-ПОЛЕЙ И
ДИФРАКТОМЕТРИИ

Специальность 01.04.21 — «Лазерная физика»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург — 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Санкт-Петербургский государственный политехнический университет”

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
профессор, Аксенов Евгений Тимофеевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
профессор Галль Лидия Николаевна

кандидат физико-математических наук
доцент Власова Ольга Леонардовна

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Защита состоится «9» декабря 2010 года в 16 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.229.01 в ГОУ ВПО “Санкт-Петербургский государственный политехнический университет” по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, учебный корпус 2, ауд. 470.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО “Санкт-Петербургский государственный политехнический университет”

Автореферат разослан «29» октября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Коротков А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Расширение областей применения лазерной биомедицинской диагностики, создание новых методов и соответствующих средств диагностики является актуальной задачей. Решение этой задачи требует выполнения комплекса работ по выявлению физических эффектов, которые могут быть положены в основу разработки новых диагностических подходов; определению особенностей реакции биообъектов на предполагаемые лазерные воздействия; поиск эффективных методов обработки получаемой диагностической информации. При этом принципиальными оказываются вопросы наибольшей простоты и наименьшей стоимости разрабатываемой аппаратуры при требуемой диагностической эффективности.

Целью диссертационной работы является развитие нового перспективного направления лазерной физики — лазерной биомедицинской диагностики, в части теоретического и экспериментального исследования новых методов и устройств контроля биофизических параметров человека на макро- и микроуровнях, в том числе разработка неконтактных датчиков и специализированных Фурье-процессоров.

Основные задачи диссертационной работы:

1. Развитие методики определения динамики оксигенации гемоглобина (Hb) крови микроциркуляторного русла под воздействием чрескожного лазерного облучения различных длин волн и плотностей мощности и обоснование применимости этого параметра для определения оптимальной терапевтической индивидуальной дозы облучения.

2. Обоснование в рамках статистической теории оптических спекл-полей возможности построения неконтактных диагностических датчиков скорости крови в микроциркуляторном русле человека, в том числе капиллярного кровотока, и датчиков параметров вибраций поверхности биологических объектов, преимущественно пульсовой волны.

3. Разработка, теоретическое и экспериментальное исследование нового типа диагностических неконтактных датчиков капиллярного кровотока — лазерных оптоэлектронных спекл-датчиков. Практическая реализация и натурные исследования лабораторных моделей датчика.

4. Разработка, теоретическое и экспериментальное исследование нового типа диагностических неконтактных спекл-датчиков формы пульсовой волны. Практическая реализация и натурные исследования лабораторных макетов датчика.

5. Разработка и теоретико-экспериментальное обоснование концептуальной модели лазерного дифрактометра с расширенными измерительными возможностями для исследования динамических характеристик ансамблей биологических микрообъектов, в том числе эритроцитов крови.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Проведено исследование динамики сатурации (SaO_2) крови в микроциркуляторном русле кожи человека под воздействием лазерного излучения в различных спектральных областях поглощения оксигемоглобина (HbO_2) при различных уровнях плотности мощности и дополнительных воздействиях на микроциркуляторное русло с целью определения оптимальной индивидуальной терапевтической дозы облучения. Показано, что достоверное определение оптимальной дозы требует регистрации динамики нескольких биофизических параметров, в том числе скорости капиллярного кровотока и параметров пульсовой волны.

2. На основе статистической теории оптических спекл-полей предложена и обоснована концепция построения нового типа неконтактных лазерных датчиков скорости микроциркуляторного кровотока и микровибраций поверхностей биообъектов, в том числе параметров пульсовой волны.

3. Разработана и теоретически обоснована автокорреляционная методика определения скорости микроциркуляторного, в том числе капиллярного, кровотока и на основе этой методики создана лабораторная модель лазерного неконтактного спекл-датчика.

4. Разработан, теоретически обоснован и экспериментально исследован ряд лазерных неконтактных спекл-датчиков микровибраций, позволяющих регистрировать форму пульсовой волны на расстоянии порядка 10 см от поверхности объекта.

5. Теоретически и экспериментально обоснована возможность построения нового типа лазерного дифрактометра для исследования динамических характеристик и

оптико-физических свойств как ансамблей так и одиночных биологических микрообъектов.

Научная значимость диссертационной работы определяется тем, что в рамках проведенного цикла теоретических и экспериментальных исследований и разработок развиваются основы нового научного направления — лазерной биомедицинской диагностики. Предложен и исследован новый тип неконтактных датчиков биофизических параметров человека на основе единого физического подхода — статистической оптики спеклов. Впервые созданы спекл-датчики скорости крови в микроциркуляторном русле человека и вибраций поверхностей биообъектов.

На основе методов Фурье-оптики развита и экспериментально подтверждена концепция построения нового типа лазерного дифрактометра для исследования оптико-физических параметров биологических микрообъектов. Полученные в работе результаты будут стимулировать дальнейшее развитие методов и средств лазерной биомедицинской диагностики.

Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что её результаты могут быть использованы при разработке нового типа диагностической биомедицинской аппаратуры — неконтактных датчиков биофизических параметров человека и животных.

На основе предложенных базовых моделей датчиков возможно построение ряда их модификаций адаптированных к применению в неприспособленных, нестерильных помещениях, полевых условиях.

Предложенная концепция создания модифицированного лазерного дифрактометра с активным управлением исследуемыми микрообъектами позволяет существенно расширить измерительные возможности подобной аппаратуры и увеличить объем получаемой диагностической информации.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанные и развитые методики расчета характеристик оптических спекл-полей базируются на едином физическом подходе — статистической оптике, позволяют оценивать параметры динамики рассеивающих объектов, скорость и амплитуду смещения, и на этой основе определить способы создания ряда новых

функциональных устройств для решения диагностических и терапевтических задач — неконтактных лазерных спекл-датчиков.

2. Разработанный и апробированный на оптико-механических моделях, имитирующих кровотоки в микроциркуляторном русле, и в натуральных измерениях метод автокорреляционной обработки случайных информационных сигналов позволяет получать достоверную диагностическую информацию о скорости кровотока.

3. Разработанные и развитые на основе спекл-интерферометрии и статистической оптики методы создания неконтактных лазерных спекл-датчиков вибраций биообъектов, в том числе формы пульсовой волны, позволяют создать семейство датчиков, работающих в широком диапазоне величин смещений (от микрон до сотен микрон), и регистрировать информационный сигнал на расстоянии порядка 10 см от исследуемого объекта.

4. Экспериментальная реализация предложенной концепции построения лазерного дифрактометра, базирующегося на методах Фурье оптики и оптической обработки информации, состоящего из двух измерительных каналов, визуального и спектрального, является достоверной основой для создания принципиально нового типа оптоэлектронной диагностической и измерительной аппаратуры.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, определяется применением современных экспериментальных методик, известных общепринятых способов теоретического анализа физических процессов; совпадением полученных результатов с результатами имитационного моделирования и с результатами, известными из литературных данных.

Внедрение результатов работы. Диссертационная работа выполнялась в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете в течение ряда лет. Проекты на основе материалов диссертации были отмечены, как победители конкурсов грантов Правительства Санкт-Петербурга для студентов и аспирантов вузов и академических институтов, расположенных на территории г. Санкт-Петербурга 2008, 2009 гг.; программы «У.М.Н.И.К.» 2009, 2010 гг. Ряд научных результатов использован в лекционных курсах, читаемых студентам соответствующих специальностей.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах, 18-ти Всероссийских и международных и конференциях [7–9, 11, 13–27, 29–22, 24–29], в частности:

- Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «XXXVI Неделя науки СПбГПУ» (Санкт-Петербург, 2007 г.);
- «Лазеры. Измерения. Информация» (Санкт-Петербург, 2008–2010 гг.);
- Курчатовская молодежная научная школа (Москва, 2008, 2009 гг.);
- 3-я Всероссийская молодежная школа-семинар с международным участием «Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики» (Москва, 2009 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 30 работ, в том числе 6 в рецензируемых журналах.

Личный вклад автора в разработку проблемы. Основная часть результатов, касающихся разработанных моделей, схем и конструкций датчиков, методик расчетов, проведенных экспериментальных исследований, получена автором самостоятельно.

Автору принадлежит анализ и обобщение материалов, на базе которых обоснованы научные положения и выводы диссертации, а также участие во внедрении результатов исследований.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 150 страниц, в том числе 72 рисунка и 2 таблицы. Список литературы включает 130 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, определена цель работы, обоснованы научные новизна и значимость, а также практическая ценность работы, достоверность результатов и сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Содержатся сведения об апробации работы и внедрении её результатов. Кратко изложено содержание диссертации.

В главе 1 описано экспериментальное исследование динамики SaO_2 крови в микроциркуляторном русле пальцев руки при воздействии на поверхность кожного покрова лазерным излучением разных длин волн, лежащих в полосе поглощения HbO_2

крови человека, и разных уровней мощности и плотности мощности. Для контроля уровня SaO_2 была выбрана стандартная методика пульсоксиметрии.

Лазерное облучение мощностью до 2 мВт на длинах волн: 632,8 нм и 440 нм не вызывает изменения SaO_2 , отличающегося по величине от естественного. Однако наблюдаются некоторые отличия: изменения SaO_2 носят кратковременный характер и могут быть связаны с иными механизмами реакции биоткани на световое воздействие.

Оптическое просветление кожи пальцев руки в области воздействия НИЛИ различных уровней мощности и длин волн приводит к заметному (порядка 10%) изменению SaO_2 в капиллярном русле в процессе облучения. Необходимо отметить, что во всех случаях изменение SaO_2 достигает максимального значения за время от 30 до 60 секунд от начала облучения. После достижения минимального значения SaO_2 , даже при продолжающемся облучении, значение SaO_2 возвращается к нормальному уровню примерно за такое же время. Такая динамика изменения SaO_2 в случае просветления кожи позволяет утверждать, что в этом случае применение НИЛИ дает значительный физиологический эффект.

Увеличение мощности светового потока до 2 Вт приводит к заметному уменьшению SaO_2 (на 4%) относительно естественного уровня. Наблюдавшаяся динамика SaO_2 определяется разогревом тканей приводящим к блокированию кровотока, при этом ожидаемое увеличение кровотока, компенсирующее разогрев тканей, оказывается недостаточным. На рисунке 1 представлены примеры динамики SaO_2 при различных условиях облучения.

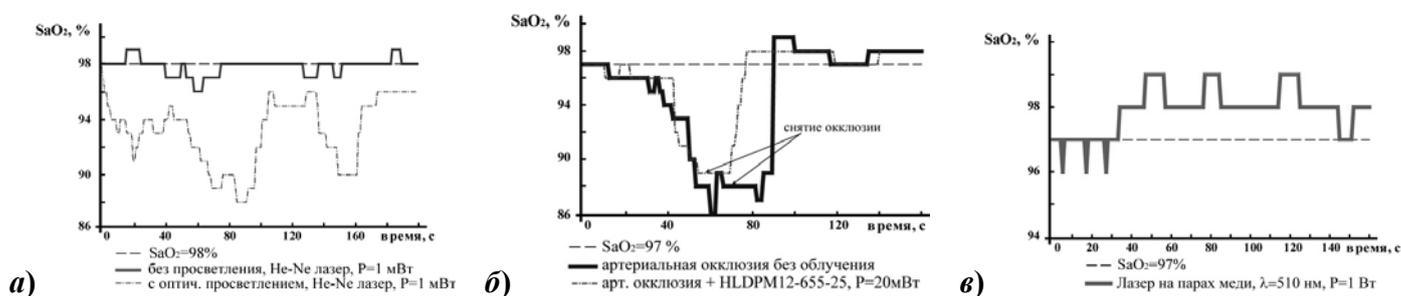


Рисунок 1 — Динамика SaO_2 в капиллярном русле кожи руки при облучении.

Несмотря на то, что примененная в данной работе методика измерений не является исчерпывающей, тем не менее, полученные результаты позволяют говорить о наличии достаточно выраженного влияния как НИЛИ, так и лазерного излучения

средней (20 мВт) и большой мощности на динамику SaO_2 в капиллярном русле кожного покрова человека.

Большой достоверности в определении оптимальной терапевтической дозы можно достичь расширением набора регистрируемых параметров капиллярного русла при световом облучении, в частности, контроль скорости микроциркуляции крови; динамики изменения SaO_2 в центре области воздействия, а не только на периферии; динамики формы пульсовой волны. Такое, многопараметрическое исследование SaO_2 под воздействием НИЛИ позволит получить более детальное представление о происходящих процессах. Все оптико-физические измерения, на этапе отработки методики, необходимо сопровождать биохимическим анализом крови, как экспресс-анализом, так и пролонгированным, для обнаружения возможного последствия НИЛИ.

В главе 2 описаны основные свойства спекл-полей на базе математического аппарата статистической оптики, позволяющие обосновать применимость методов оптики спеклов для решения задачи определения скорости крови в микроциркуляторном русле и параметров вибраций биообъектов, в т.ч. пульсовых волн человека.

Сравнительный анализ измерительных возможностей применяемой в настоящее время диагностической аппаратуры и предлагаемого подхода по созданию нового типа неконтактных датчиков, основанного на принципах оптики спеклов, позволил выявить ожидаемые преимущества таких датчиков и метода оптики спеклов в целом.

Проведенный анализ статистических свойств оптических спекл-полей, формирующихся при рассеянии когерентного света как одиночной статической диффузно рассеивающей непоглощающей поверхностью, так и несколькими поверхностями, позволил определить основные закономерности их поведения.

Показано, что статистические свойства оптических спекл-полей, формирующихся при рассеянии когерентного света на поверхности биоткани, и полей, возникающих при отражении от непоглощающих свет материалов, могут отличаться. В связи с этим, при проведении измерений на реальных биологических тканях результаты

теоретических расчетов и модельных экспериментов можно рассматривать лишь как тренд ожидаемого поведения диагностического параметра.

В главе 3 приводятся результаты исследования динамики микроциркуляторного кровообращения в коже человека.

Для оценки скорости эритроцитов крови в микроциркуляторном русле выбран и теоретически обоснован метод временной автокорреляции флуктуации интенсивности спекл-поля.

Нормированная корреляционная функция спекл-поля микроциркуляторного кровотока имеет экспоненциальный вид

$$g_1(\tau) \propto \exp \left\{ -2 \left[\frac{\tau}{\tau_B} + \left(\frac{\tau}{\tau_S} \right)^2 \right] s / l^* \right\}, \quad (1)$$

где $\tau_B^{-1} = Dk_0^2$ (броуновское движение); $\tau_S^{-1} = (30)^{-1/2} \Gamma k_0 l^*$ (направленный поток); D — коэффициент диффузии рассеивателей; l^* — средний свободный путь фотона; Γ — градиент скорости потока; $s = nl$ — путь, пройденный фотоном; n — число рассеивающих событий. Эта модель была использована в дальнейшем для интерпретации результатов.

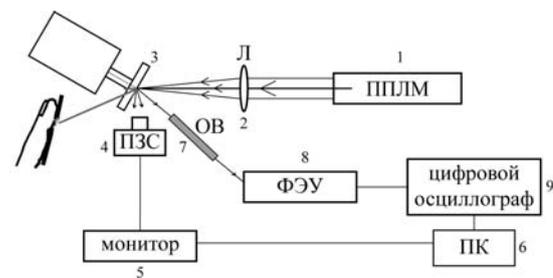


Рисунок 2 — Структурная схема измерительного стенда: ППЛМ (1) — LM-G635-6-5; фокус. линза (2); закрепленная на оси электромотора мишень (3); ПЗС камера (4); монитор (5); ПК (6); одномодовое оптическое волокно (7), сопряженное с ФЭУ-69Б (8); цифровой осциллограф (9).

Разработана и исследована оптико-механическая модель, позволяющая имитировать динамические спекл-поля. Выполненные измерения демонстрируют прогнозируемую зависимость длины корреляции вычисляемой АКФ флуктуации интенсивности спекл-поля от скорости движения рассеивающей поверхности.

Разработана и исследована лабораторная модель бесконтактного спекл-датчика скорости крови в микроциркуляторном русле кожи человека

(рисунок 2). Выполненные измерения скорости крови при её контролируемом изменении показали ожидаемую динамику информационного сигнала (рисунок 3).

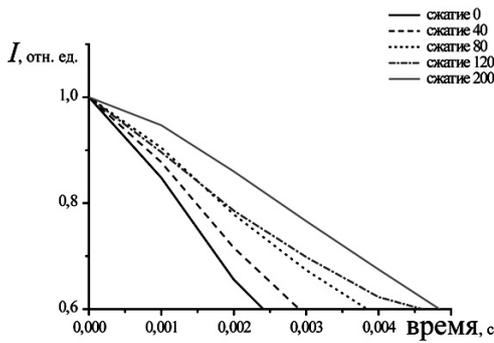


Рисунок 3. Вычисленные нормированные усредненные АКФ при различных величинах сжатия могут быть выявлены при проведении клинических испытаний.

Полученные результаты экспериментальных исследований подтверждают правомерность предложенного метода построения неконтактного спекл-датчика скорости крови в микроциркуляторном русле.

Диагностические возможности и особенности применения предложенного датчика наиболее полно могут быть выявлены при проведении клинических испытаний.

В главе 4 решается задача — разработки и исследования нового типа диагностического оптоэлектронного датчика, спекл-датчика, формы пульсовой волны.

Показано, что когерентно-оптическая спекл-интерферометрия является перспективным методом невозмущающей регистрации формы пульсовой волны человека, содержащей существенную диагностическую информацию.

На основе теоретического анализа динамики интенсивности оптических спекл-полей, формирующихся при отражении от диффузно рассеивающей поверхности одного или нескольких когерентных пучков света была обоснована возможность построения датчика вибраций двух типов — амплитудного и дифференциального.

В первом случае амплитуда светового поля описывается соотношением

$$U(P) = \sum_{j=1}^N a_j \exp(i\Delta\varphi_j) = A(P) \exp(i\varphi(P)), \quad (2)$$

где N — полное число этих волн. Поскольку a_j и главное $\Delta\varphi_j$ — случайные величины, определяемые случайным расположением неоднородностей рассеивающей поверхности и их высот, то результирующая амплитуда $A(P)$, фаза $\varphi(P)$ и интенсивность $I(P) \approx |U(P)|^2$ также являются случайными функциями.

Во втором случае интенсивность регистрируемого спекл-поля имеет вид

$$I_1 = i_1 + i_2 + 2\sqrt{i_1 i_2} \cos \Psi \quad (3)$$

где $i_1 = U_1 U_1^*$, $i_2 = U_2 U_2^*$, $\Psi = \psi_1 - \psi_2$.

Разработаны и экспериментально исследованы лабораторные модели неконтактных датчиков формы пульсовой волны. Выполненные натурные измерения подтверждают

работоспособность предложенных датчиков (рисунок 4). Экспериментально зарегистрирована ожидаемая чувствительность формы пульсовой волны к изменению биохимического состава крови (концентрации глюкозы), что потенциально расширяет возможности практического применения неконтактных спекл-датчиков.

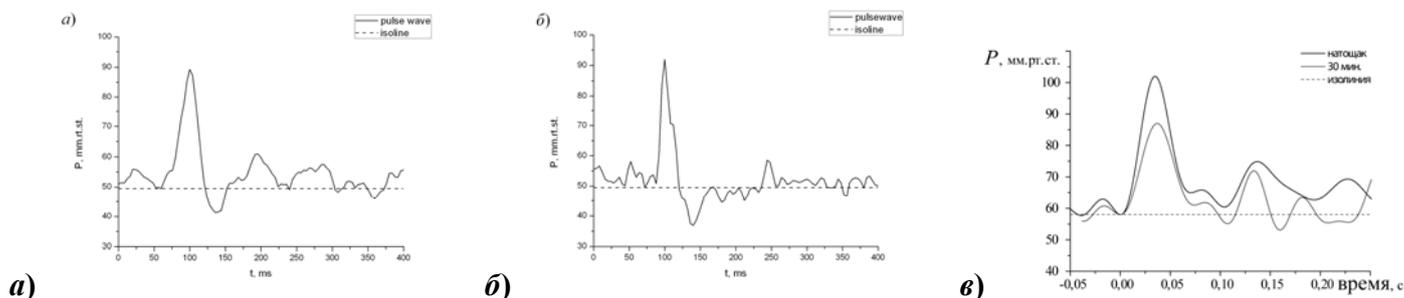


Рисунок 4 — Фрагмент пульсограммы девушки 21 года, зарегистрированные с помощью амплитудного (а) и дифференциального (б) спекл-датчиков, и (в) динамика формы пульсовой волны от концентрации глюкозы, зафиксированная амплитудным датчиком (сигналы откалиброваны по давлению испытуемого, измеряемого с помощью тонометра).

На основании результатов исследования лабораторных моделей неконтактных спекл-датчиков формы пульсовой волны был изготовлен мобильный лабораторный макет, натурные испытания которого подтвердили его работоспособность и перспективность построения такого датчика.

В главе 5 решалась задача исследования и оценки оптико-физических свойств и динамики биологических микрообъектов и их ансамблей с помощью дифрактометра с расширенными функциональными возможностями.

На основании теории методов Фурье-оптики была предложена концептуальная модель нового типа лазерного дифрактометра с расширенными измерительными возможностями, содержащего два информационных канала: спектральный и изображения. При этом канал изображения строится как многокаскадный когерентный Фурье-процессор, позволяющий проводить классификацию и идентификацию исследуемых биологических микрообъектов. Кроме того, предусматривается введение в схему дифрактометра оптического каскада, формирующего градиентные оптические поля заданной структуры, в плоскости исследуемого объекта. Это открывает возможность направленного управления пространственно-временными параметрами исследуемых объектов с целью их классификации по оптическим свойствам.

Разработана и экспериментально исследована лабораторная модель предложенного дифрактометра, работоспособность которой подтверждена серией экспериментов на

ряде объектов как модельных, так и биологических образцов естественного происхождения. На рисунке 5 представлена динамика изменения дифракционной картины мазка крови по мере его высыхания. Выполненные исследования подтвердили прогнозируемые измерительные возможности дифрактометра и могут служить принципиальной и достоверной основой для разработки лабораторного макета подобного прибора.

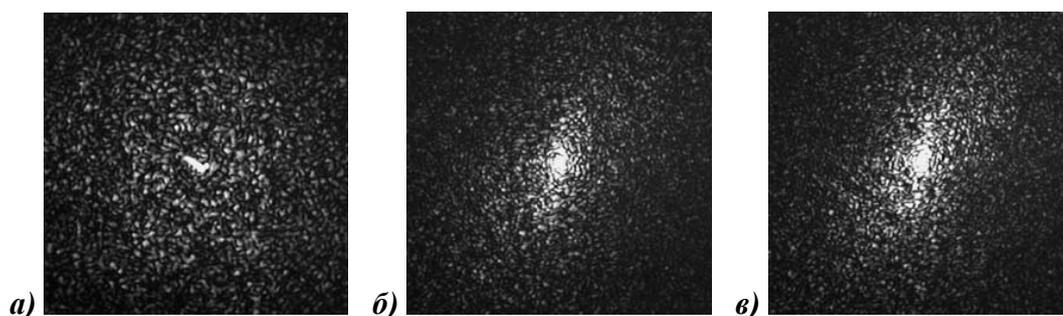


Рисунок 5 — ДК мазка цельной крови: а) начало эксперимента; б) прошло 10 минут; в) прошло 35 минут.

Выполнены теоретически обоснованные исследования по управлению пространственно-временными параметрами микрообъектов в градиентных оптических полях. Полученные экспериментальные результаты согласуются с теоретически ожидаемыми и могут служить основой для создания соответствующего функционального устройства в составе предложенного многофункционального дифрактометра.

В заключении сформулированы общие результаты работы:

1. Обосновано применение SaO_2 крови для оценки индивидуальной дозы терапевтического облучения. Развита методика определения динамики SaO_2 крови при чрескожном лазерном облучении микроциркуляторного русла. В отличие от известных работ использовалось лазерное излучение разных длин волн и в широком диапазоне изменения плотности мощности.

2. Показано, что достоверное определение оптимальной дозы требует одновременной регистрации динамики нескольких биофизических параметров, в первую очередь скорости крови в микроциркуляторном русле и параметров пульсовой волны.

3. Теоретически и экспериментально обоснована возможность создания нового типа диагностических датчиков — неконтактных лазерных спекл-датчиков скорости

крови в микроциркуляторном русле и формы пульсовых волн, базирующихся на едином физическом подходе — статистическом анализе интенсивности спекл-полей.

4. Выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований методов создания неконтактных лазерных спекл-датчиков скорости крови в микроциркуляторном русле биообъектов. Впервые созданы и исследованы лабораторные модели таких датчиков, а также лабораторный макет датчика формы пульсовых волн. Натурные испытания подтвердили его практическую перспективу. Полученные результаты позволяют сделать вывод о практической целесообразности применения разработанных и развитых методов анализа и реализации диагностических спекл-датчиков для создания реальных диагностических приборов клинического и индивидуального применения.

5. Теоретически и экспериментально обоснована возможность создания нового типа лазерного дифрактометра для исследования динамических характеристик и оптико-физических свойств биологических микрообъектов. Созданная лабораторная модель дифрактометра подтвердила ожидаемые измерительные характеристики и позволила определить перспективу развития предложенной схемы дифрактометра.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при разработке нового типа диагностической биомедицинской аппаратуры, в том числе неконтактных датчиков биофизических параметров человека и животных. На основе предложенных базовых моделей датчиков возможно построение ряда их модификаций адаптированных к применению в неприспособленных, нестерильных условиях.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Мокрова, Д.В.** Спекл-корреляционный датчик скорости диффузно отражающих объектов [Текст] / Мокрова Д.В. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — 2008. — вып. 3 (59) Физика. — С. 67–72.
2. **Аксенов, Е.Т.** Модифицированный лазерный дифрактометр для исследования биологических микрообъектов [Текст] / Аксенов Е.Т., Мокрова Д.В. // Письма в журнал технической физики. — 2008. — Т. 34. — Вып. 20. — С. 38–43.

3. **Аксенов, Е.Т.** Динамика оксигенации гемоглобина крови под воздействием лазерного излучения [Текст] / Аксенов Е.Т., Мокрова Д.В. // Биомедицинская радиоэлектроника. — 2008. — № 11. — С. 35–41.
4. **Мокрова Д.В.** Спекл-датчик вибраций диффузно отражающих объектов [Текст] / Мокрова Д.В. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — 2008. — вып. 6 (67) Физико-математические науки. — С. 127–131.
5. **Мокрова, Д.В.** Исследование неконтактных датчиков биофизических параметров организма человека и развитие методов когерентной дифрактометрии биологических микрообъектов [Текст] / Мокрова Д.В. // Краткие сообщения по физике ФИАН. — 2009. — Т. 36. — № 12. — С. 26–30.
6. **Кафидова, Г.А.** Исследование возможности неконтактной регистрации пульсовой волны дифференциальным спекл-датчиком [Текст] / Кафидова, Г.А., Мокрова Д.В. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. — № 2 (98). — 2010. — С. 127–130.

Прочие публикации по теме диссертации:

7. **Мокрова, Д.В.** Исследование влияние неинвазивного лазерного облучения крови капиллярного русла на динамику оксигенации тканей [Текст] / Мокрова Д.В. // Материалы Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах». — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2007. — С. 186–188.
8. **Мокрова, Д.В.** Динамика оксигенации тканей под воздействием лазерного излучения в полосе поглощения гемоглобина [Текст] / Мокрова Д.В. // Молодые ученые — промышленности Северо-Западного региона. Материалы конференций политехнического симпозиума 2007 года. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2007. — С. 124.
9. **Мокрова, Д.В.** Влияние черезкожного лазерного облучения на динамику оксигенации тканей [Текст] / Мокрова Д.В. // XXXVI Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Ч. IV. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2008. — С. 196–198.
10. **Аксенов, Е.Т.** Исследование биологических микрообъектов методом лазерной дифрактометрии [Текст] / Аксенов Е.Т., Мокрова Д.В., Петухова Е.С. // Труды СПбГТУ. Радиофизика, электроника, информационные технологии. — СПб: Изд. Политех. ун-та. — 2008. — № 507 — С. 194–204.
11. **Аксенов, Е.Т.** Исследование модифицированного лазерного дифрактометра [Текст] / Аксенов Е.Т., Мокрова Д.В. // Лазеры. Измерения. Информация. Труды конференции 3–5 июня 2008 года. Под редакцией проф. В.Е. Привалова. — СПб, 2008. — С. 32.

12. **Аксенов, Е.Т.** Исследование модифицированного лазерного дифрактометра [Текст] / Аксенов Е.Т., Мокрова Д.В. // Вестник СПбО АИН. — СПб: Изд. Политех. ун-та. — 2008. — вып. № 4. — С. 265–273.
13. **Аксенов, Е.Т.** Разработка и исследование пульсоксиметра на базе лазерной спекл-интерферометрии [Текст] / Аксенов Е.Т., Мокрова Д.В., Бирюлева Е.Г. // Научные исследования и инновационная деятельность: материалы научно-практической конференции — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2008. — С. 135–140.
14. **Мокрова, Д.В.** Экспериментальное исследование капиллярного кровотока и пульсовых волн человека методами оптики спеклов [Текст] / Мокрова Д.В. // Наука и инновации в технических университетах: Материалы Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2008. — С. 183–184.
15. **Мокрова, Д.В.** Экспериментальные исследования действия лазерного излучения на оксигемоглобин крови и динамики её микроциркуляции [Текст] / Мокрова Д.В. // 6-я Курчатовская молодежная научная школа. Сборник аннотаций. — М: РНЦ «Курчатовский институт», 2008. — С. 218.
16. **Кафидова, Г.А.** / Разработка и исследование дифференциального спекл-виброметра [Текст] / Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. /// XXXVII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научной конференции студентов и аспирантов. Ч. IX. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2008. — С. 117.
17. **Мокрова, Д.В.** Спекл-датчик скорости капиллярного кровотока и пульсовых волн [Текст] / Мокрова Д.В. // XXXVII Неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научной конференции студентов и аспирантов. Ч. XVIII. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2008. — С. 18.
18. **Кафидова, Г.А.** Разработка и исследование дифференциального спекл-виброметра [Текст] / Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // XXXVII Неделя науки СПбГПУ: Всероссийская межвузовская научная конференция студентов и аспирантов. Материалы лучших докладов. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2009. — С. 46–49.
19. **Кафидова, Г.А.** Биомедицинский спекл-пульсометр [Текст] / Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // Школа-семинар «Актуальные проблемы физики и технологии», Сборник тезисов. АФТУ РАН. — СПб, 2009. — С. 10.
20. **Мокрова, Д.В.** Многофункциональный биомедицинский дифрактометр [Текст] / Мокрова, Д.В. // Молодые ученые — промышленности Северо-Западного региона. Материалы конференций Политехнического симпозиума 22 мая 2009 г. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2009. — С. 122–124.
21. **Кафидова, Г.А.** Биомедицинский виброметр на основе методов оптики спеклов [Текст] / Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // Молодые ученые — промышленности Северо-Западного региона.

- Материалы конференций Политехнического симпозиума 22 мая 2009 года. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2009. — С. 103–105.
22. **Аксенов, Е.Т.** Спекл–датчики биофизических параметров [Текст] / Аксенов Е.Т., Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // Лазеры. Измерения. Информация. Труды конференции 2-4 июня 2009 года Санкт-Петербург. — СПб, 2009. — С. 114.
23. **Аксенов, Е.Т.** Спекл–датчики биофизических параметров [Текст] / Аксенов Е.Т., Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // Лазеры. Измерения. Информация. Сборник докладов 19-й международной конференции. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2009. — Т. 1. — С. 346–362.
24. **Аксенов, Е.Т.** Исследование и разработка спекл–датчиков биофизических параметров человека *in vivo* [Текст] / Аксенов Е.Т., Мокрова Д.В. // Лазерно–информационные технологии в медицине, биологии и геоэкологии — 2009 г. Труды XVII Международной конференции п. Абрау-Дюрсо, г. Новороссийск. Краснодарский край, под редакцией В.Е. Привалова. — Новороссийск, 2009. — С. 29
25. **Аксенов, Е.Т.** Исследование неконтактных датчиков биофизических параметров организма человека и развитие методов когерентной дифрактометрии биологических микрообъектов [Текст] / Аксенов Е.Т., Мокрова Д.В. // Физика и технические приложения волновых процессов. VIII Международная научно-техническая конференция 15–18 сентября 2009. Материалы конференции. — СПб, 2009. — С. 285–287.
26. **Кафидова, Г.А.** Разработка и исследование дифференциальной модели оптического спекл–пульсометра [Текст] / Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // Конференция (школа–семинар) по физике и астрономии для молодых ученых Санкт-Петербурга и Северо-Запада «Физика.СПб» Тезисы докладов.— СПб: Изд. Политех. ун-та, 2009. — С. 105–106.
27. **Кафидова, Г.А.** Дифференциальный оптический спекл-датчик пульсовой волны [Текст] / Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // Сборник аннотаций работ «7-я Курчатовская молодежная научная школа». — М: РНЦ «Курчатовский институт», 2009. — С. 82.
28. **Медведев, А.А.** Диагностика поверхностных слоев биоткани методом неконтактной спекл–интерферометрии [Текст] / Медведев А.А., Мокрова Д.В. // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы международной научно-практической конференции. Часть IX. — СПб: Изд. Политех. ун-та, 2009. — С. 138–139.
29. **Кафидова, Г.А.** Анализ вариантов построения дифференциального спекл–пульсометра [Текст] / Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы международной научно-практической конференции. Часть IX. — СПб.: Изд. Политех. ун-та, 2009. — С. 140–141.
30. **Кафидова, Г.А.** Анализ вариантов построения дифференциального спекл–пульсометра [Текст] / Кафидова Г.А., Мокрова Д.В. // XXXVIII международная научно-практическая конференция «Неделя науки СПбГПУ». Материалы докладов. СПб.: Изд. Политех. ун-та, 2010. — С. 190–193.

Мокрова Дарья Всеволодовна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ
МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ И УПРАВЛЕНИЯ ИХ ФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Автореферат

Подписано к печати 1 февраля 2010 г.

Тираж 120 экз.

Отпечатано в типографии Санкт-Петербургского государственного
политехнического университета,
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.