

УДК 535.41, 535.39.01, 615.849.19

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ БИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА И РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ КОГЕРЕНТНОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ МИКРООБЪЕКТОВ

Д. В. Мокрова

ГОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29

e-mail: dashkeria@gmail.com

В настоящей работе представлены результаты исследования лабораторных макетов оптоэлектронных сенсоров спекл-датчиков скорости капиллярного кровотока в коже человека, динамики пульсовых волн, патологий кожного покрова. Кроме того, рассмотрена модель многофункционального оптического фурье-процессора, позволяющая получать информацию об исследуемых объектах одновременно как в спектральном виде, так и в виде изображения.

Ключевые слова: *рассеяние света биообъектами, корреляция интенсивности, скорость кровотока, пульсовая волна, дифракция на эритроцитах.*

1. *Спекл-датчики скорости капиллярного кровотока и пульсовых волн.* Рассеяние когерентного излучения на шероховатых поверхностях, в том числе на биотканях, приводит к формированию в отраженном световом потоке спекл-поля, несущего информацию об объекте, в том числе о его динамических параметрах. Таким образом, основываясь на методах оптики спеклов можно создать диагностическую аппаратуру, позволяющую получать информацию о таких биофизических параметрах организма человека как, например, скорость капиллярного кровотока, динамика пульсовых волн и,

в более широком смысле, о микровибрациях различных биообъектов от клеточного до организменного уровня.

Одним из существенных преимуществ применения лазерных методов в биомедоптике является их неинвазивность. Методы оптики спеклов позволяют создавать датчики, функционирующие не только неинвазивно, но и неконтактно.

В данной работе на основе регистрации временных флуктуаций интенсивности рассеянных микрообъектами спекл-полей были выполнены как модельные, так и натурные измерения.

Измерения *in vivo* скорости движения эритроцитов в капиллярном русле и мелких сосудах в приповерхностной области кожного покрова человека проводились в области подушечек пальцев руки испытуемого. Когерентная оптическая волна фокусировалась в подкожный слой. Свет, рассеянный эритроцитами, формирует специфическую спекл-структуру, интенсивность которой из-за движения рассеивающих частиц флуктуирует во времени. Для выявления отклика измерительной системы на изменение скорости кровотока в исследуемой области проводилось контролируемое сжатие манжетой тонометра предплечья руки (гиперемия).

Регистрация интенсивности спекл-поля проводилась одномодовым волокном (диаметр сердцевины 6 мкм) с расстояния в несколько сантиметров. Световой поток через волокно подавался на фотоэлектронный умножитель, сигнал с которого поступал на цифровой осциллограф, сопряженный с компьютером.

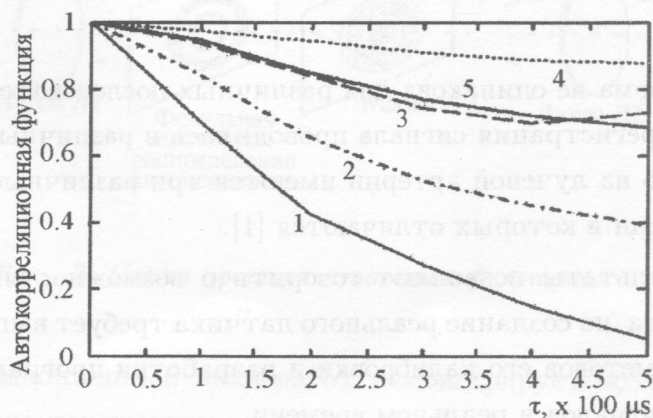


Рис. 1. Вычисленные нормированные автокорреляционные функции при различных величинах сжатия руки. 1 – без сжатия, 2 – сжатие 45 мм рт.ст., 3 – 95 мм рт.ст., 4 – 150 мм рт.ст.; 5 – 230 мм рт.ст.

Информационный сигнал представлял собой нестационарный шумоподобный сигнал. Обработка этого сигнала сводилась к вычислению автокорреляционной функции в среде Mathcad 14. При этом время корреляции однозначно связано со скоростью кровотока.

Автокорреляционные функции интенсивностей $g(\tau)$ спекл-полей для различных величин сжатия (230, 150, 95, 45 мм рт.ст. и без сжатия) представлены на рис. 1.

Видно, что уменьшение давления на руку до нулевого значения отражается в уменьшении времени корреляции.

Для проведения измерений формы пульсовой волны в области лучевой артерии *in vivo* методом оптики спеклов была разработана лабораторная модель датчика. Объектом исследования служило запястье руки в области лучевой артерии.

На рис. 2 представлены соответствующие экспериментальные пульсограммы.

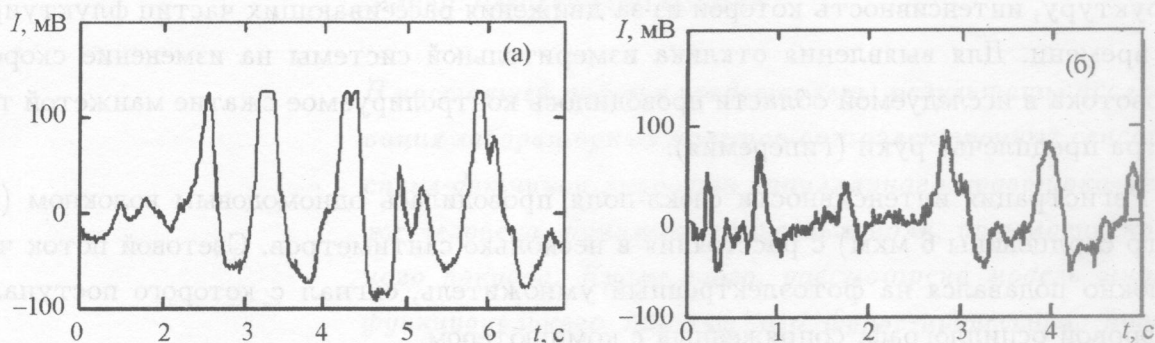


Рис. 2. Экспериментальные пульсограммы, зарегистрированные в области лучевой артерии.

Видно, что их форма не одинакова для различных последовательностей. Это можно объяснить тем, что регистрация сигнала проводилась в различных частях лучевой артерии. Известно, что на лучевой артерии имеются три различные пульсовые области, формы пульсовых волн в которых отличаются [1].

Полученные результаты позволяют говорить о возможностях и перспективности предложенного метода, но создание реального датчика требует выполнения дальнейших работ по отработке методов его калибровки и разработки программных и аппаратных средств обработки сигналов в реальном времени.

Детальное обсуждение результатов работы рассматриваемых схем приведено в [2, 3].

2. *Когерентно-оптический дифрактометр.* Метод лазерной дифрактометрии, основанный на явлении дифракции лазерного излучения на одиночных и множественных

биологических микрообъектах, характеризуется высокой точностью, чувствительностью, быстродействием, минимальным воздействием на объект исследования, возможностью одновременной регистрации большого количества малых частиц.

В работе предлагается модель многофункционального оптического фурье-процессора, позволяющая получать информацию об исследуемых объектах одновременно как в спектральном виде, так и в виде изображения, что открывает новые возможности по характеристике этих объектов.

Результаты исследования подтвердили перспективность такого подхода [4].

Создана оптическая схема формирования изображения, дополняющая лазерный дифрактометр до предложенного выше варианта. В предлагаемом варианте построения лазерного дифрактометра создан простейший вариант оптической схемы формирования изображения исследуемого образца. Эта схема может быть преобразована таким образом, чтобы было возможно проводить обработку изображений, например, по схеме, представленной на рис. 3. Для распознавания и классификации малых частиц по форме и размеру или автоматического распознавания образов по амплитудным транспарантам существует возможность получения изображения только определенных частиц из их полного набора в транспаранте. Для этих целей можно использовать также бинарные фильтры. Этот метод в данной работе можно применить для измерения распределения частиц по размерам [5].

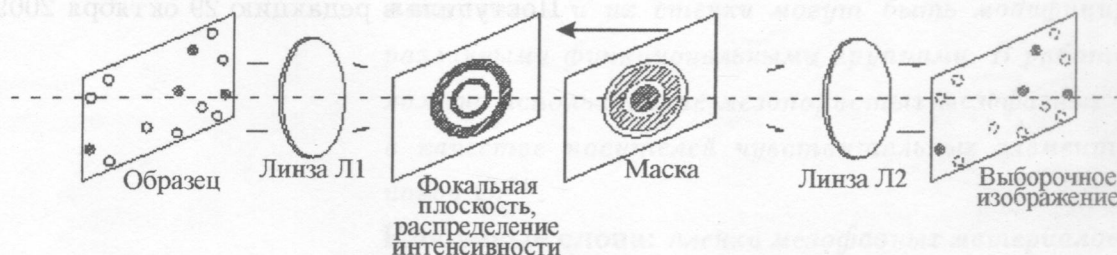


Рис. 3. Схема пространственной фильтрации.

Таким образом, выполненный цикл работ демонстрирует возможность и перспективность создания ряда неконтактных датчиков биофизических параметров человека *in vivo* на основе оптики спеклов.

Предложенные и экспериментально подтвержденные способы модификации лазерного дифрактометра открывают новые возможности его практического применения.

Работа поддержана грантом правительства Санкт-Петербурга для студентов и аспирантов вузов и академических институтов, 2009 г.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. С. Ульянов, В. В. Тучин, Известия вузов "Прикладная нелинейная динамика", **2**(3-4), 44 (1994).
- [2] Д. В. Мокрова, Научно-технические ведомости СПбГПУ. вып. 3 (59) Физика, 67 (2008).
- [3] Д. В. Мокрова, Научно-технические ведомости СПбГПУ вып. 6 (62) Физика, 127 (2008).
- [4] Е. Т. Аксенов, Д. В. Мокрова, Письма в журнал технической физики **34**(20), 38 (2008).
- [5] J. E. Ward, F. P. Carlson, J. D. Heywood, IEEE Transactions on Biomedical Engineering **BME-21**(1), 12 (1974).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара "Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики", Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 29 октября 2009 г.

