

2. Меледина, Т.В. Качество пива. Стабильность вкуса и аромата. Коллоидная стойкость: монография/ Т.В. Меледина, А.Т. Дедегкаев, Д.В. Афонин. – СПб.: ИД Профессия, 2011. – 220 с.

#### References

1. Basarzhova. Influence of the strain of yeast on touch stability of beer / G. Basarzhova, M. Benefits, P. Vesela [Al. text]//Beer and life. - 2003.  
2. Meletinum, T.V. Kachestvo of beer. Stability of taste and aroma. The colloid firmness: monograph/T. V. Meledina, A.T. Dedegkayev, D.V. Afonin. – SPb.: IDES Profession, 2011. – 220 pages.

**УДК 612.135:535.371**

**Жеребцов Е.А.**

кандидат технических наук,  
Aston Institute of Photonic  
Technologies, Aston University  
E-mail: [zherebzow@gmail.com](mailto:zherebzow@gmail.com)

**Жеребцова А.И.**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Научно-технологического центра  
биомедицинской фотоники ФГБОУ  
ВО «Орловский государственный  
университет имени  
И.С. Тургенева»  
E-mail:  
[angelina.zherebtsova@yandex.ru](mailto:angelina.zherebtsova@yandex.ru)

**UDC 612.135:535.371**

**Zherebtsov E.A.**

Ph.D. in Technical Sciences, Aston  
Institute of Photonic Technologies,  
Aston University  
E-mail: [zherebzow@gmail.com](mailto:zherebzow@gmail.com)

**Zherebtsova A.I.**

Ph.D. in Technical Sciences, Senior  
Researcher of Federal State Budget  
Educational Institution of Higher  
Education "Orel State University  
named after I.S. Turgenev"  
E-mail:  
[angelina.zherebtsova@yandex.ru](mailto:angelina.zherebtsova@yandex.ru)

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ  
МОДУЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ПАРАМЕТРОВ КОЖНОГО КРОВОТОКА В СИНЕМ И ЗЕЛЁНОМ  
ДИАПАЗОНАХ ВИДИМОГО СВЕТА  
APPLICATION OF PHASE-SENSITIVE MODULATION  
SPECTROSCOPY FOR EVALUATION THE PARAMETERS OF  
CUTANEOUS BLOOD FLOW IN BLUE AND GREEN RANGES OF  
VISIBLE LIGHT**

**Аннотация.** В работе рассмотрены измерения параметров капиллярного кровотока посредством фазовых измерений задержки распространения излучения в коже при зондировании волоконно-оптическим пробником в задаче на отражение.

**Ключевые слова:** модуляционная спектроскопия, флуоресцентная спектроскопия, спектроскопия диффузного отражения, капиллярный кровоток, оптическая неинвазивная диагностика

**Annotation.** The measurements of capillary blood flow parameters were considered in the study. We applied phase measurements of a delay of radiation propagation in skin at probing by a fiber-optical probe in the reflection problem.

**Key words:** modulation spectroscopy, fluorescent spectroscopy, diffuse reflection spectroscopy, capillary blood flow, optical noninvasive diagnostics

Устройства и методы измерения капиллярного кровотока приобретают в последнее время актуальность в связи с развитием носимых устройств для оперативного мониторинга физиологических параметров организма в покое и при выполнении физических упражнений (фитнес браслеты, проекты умной одежды, умной обуви, военная форма нового поколения). Наиболее доступными для измерений в данном случае оказываются различные поверхности кожи человека. Информативными параметрами при этом являются не только сердечный ритм, но и другие физиологические ритмы модуляции кожного кровотока (миогенной, нейрогенной, эндотелиальной природы), а также общее кровенаполнение. В настоящее время в носимых устройствах наибольшее распространение получила техника фотоплетизмографии с регистрацией интенсивности отраженного излучения. Зондирование при этом ведётся, как правило, в спектральном диапазоне зелёного света. Альтернативным является подход, заключающийся в применении лазерной доплеровской флоуметрии в носимом исполнении. Измерение параметров кровенаполнения ткани также необходимо при решении задачи компенсации влияния кровенаполнения на результаты других оптических измерений, проводимых *in vivo*.

Таким образом, актуальной задачей является разработка методов надёжной, устойчивой к артефактам движения технологии регистрации кожного кровотока.

В данной работе исследуется влияние изменения кровенаполнения в коже руки на задержку фазы регистрируемого сигнала относительно зондирующего синусоидально модулированного излучения. Целью данной работы являлась оценка возможности регистрации параметров кровенаполнения, а также ритмов кровотока данным методом для задачи компенсации влияния кровенаполнения на результаты других оптических измерений, проводимых *in vivo* (измерения времени жизни флуоресценции).

Для генерации зондирующего излучения использовались светодиодные источники OSRAM с центральной длиной волны с максимальной мощностью излучения 1 Вт и длинами волн 450 нм, 528 нм и 632 нм. С помощью амплитудной модуляции протекающего тока производилась модуляция выходного излучения светодиодных источников, сопряжённых с волоконно-оптическим зондом. Расстояние источник-детектор волоконно-оптического зонда составляло 1 мм. Рассеянное в коже излучение регистрировалось с помощью лавинного

фотодиода APD430A2/M. Сигнал с фотодетектора подавался на цифровой измеритель разности фаз Moku:Lab (LiquidInstruments), с помощью которого регистрировался сдвиг фаз относительно сигнала модуляции источников излучения. Установка нуля осуществлялась по поверхности стандарта отражения, выполненного из спектралона, в результате чего фазовый шум измерительной системы был оценен на уровне  $\pm 0,05^\circ$ .

С помощью описанной установки была выполнена регистрация сдвига фаз в коже дистальной фаланги среднего пальца руки при выполнении окклюзионной пробы. Для каждой длины волны была выполнена серия из 5 экспериментов. При частоте модуляции 15,9 МГц излучения с длиной волны 450 нм максимальный сдвиг фаз, обусловленный пульсом, был оценен на уровне  $6,1 \pm 2,7^\circ$ . Увеличение сдвига фазы, вызванное уменьшением кровенаполнения при окклюзионной пробе, было оценено на уровне  $12,5 \pm 3,2^\circ$ . На длине волны 528 нм максимальный сдвиг фаз, обусловленный пульсом, составлял  $5,3 \pm 3,1^\circ$ . Аналогичное увеличение сдвига фазы, вызванное уменьшением кровенаполнения при окклюзионной пробе, было оценено на уровне  $8,0 \pm 3,5^\circ$ . Измерение фазовой задержки на длине волны 632 нм показало, что кровенаполнение оказывает значительно меньшее влияние. В данной конфигурации оптического зонда влияние пульса на этой длине волны едва регистрируется с максимальной амплитудой фазового сдвига  $0,3 \pm 0,2^\circ$ .

Предложенный подход показал высокую чувствительность в оценке параметров кожного кровотока в синем и зелёном диапазонах видимого излучения. В то же время следует отметить, что на изменение сигнала при окклюзионной пробе на длине волны 450 нм может влиять изменение количества окисленных форм FAD, что также может внести свой вклад в результирующую задержку сигнала. В то же время, измерения в зелёной области спектра такой составляющей иметь не будут. В перспективе предлагается применять фазовые измерения на длине волны 528 нм для измерения фоновой задержки сигнала, обусловленной влиянием крови, а также структурными составляющими кожи для получения более достоверных данных о времени жизни флуоресценции компонентов пары NADH/FAD.

**Золотарев А.Ю.**

врач-педиатр БУЗ ОО НКМЦ им. З.И. Круглой, аспирант кафедры хирургических дисциплин детского возраста и инновационных технологий в педиатрии, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

**Кузнецова Т.А.**

д.м.н., профессор кафедры

**Zolotarev A.Yu.**

doctor-pediatrician of the BSU of the NCMC them. Z.I. Round, post-graduate student of the Department of Surgical Disciplines of Childhood and Innovative Technologies in Pediatrics, FGBOU VO

State University named after IS. Turgenev

**Kuznetsova T.A.**