

## Устройство регистрации светового излучения, рассеиваемого корой головного мозга, в нескольких участках спектра

А. В. Лебедевский, В. А. Фираго

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: [lebedevskiys@yandex.by](mailto:lebedevskiys@yandex.by), e-mail: [firago@bsu.by](mailto:firago@bsu.by)

В докладе рассматривается компьютеризированное устройство для регистрации светового излучения диффузного рассеиваемого тканями головы, в том числе и корой головного мозга. Оно может найти применение при исследовании реакции сердечно-сосудистой системы на холодные пробы, при оценке сатурации гемоглобина артериальной и венозной крови коры головного мозга кислородом, а также для оценки гидратации поверхностных тканей мозга. Зонд прибора, который устанавливают в выбранной точке головы пациента, содержит блок из набора сверхъярких светодиодов, излучающих в ближней инфракрасной области спектра, и в участке видимого спектра, соответствующему красному цвету. Приемный блок зонда содержит приемник излучения на основе кремниевого фотодиода с трансимпедансным усилителем и миниспектрометр C11708MA с диапазоном регистрации спектра от 580 до 1100 нм. Блок управления работой зонда содержит микропроцессор STM32, который взаимодействует с управляющей программой персонального компьютера по шине USB.

**Ключевые слова:** спектроскопия диффузного отражения; компьютеризированное устройство; сатурация артериальной крови; микроциркуляторное русло коры головного мозга.

## Registration of light radiation scattered by the cerebral cortex in several parts of the spectrum

A. V. Lebedevskiy, V. A. Firago

Belarusian State University, Minsk, Belarus,  
e-mail: [lebedevskiys@yandex.by](mailto:lebedevskiys@yandex.by), e-mail: [firago@bsu.by](mailto:firago@bsu.by)

The report deals with a computerized device for registration of light radiation diffusely scattered by head tissues, including the cerebral cortex. It can find application in the study of cardiovascular system reaction to cold tests, in the assessment of hemoglobin saturation of arterial and venous blood of the cerebral cortex with oxygen, as well as in the assessment of hydration of superficial brain tissues. The probe of the device, which is installed at a selected point of the patient's head, contains a block of a set of super-bright LEDs emitting in the near infrared region of the spectrum, and in the part of the visible spectrum corresponding to the red color. The receiving unit of the probe contains a radiation receiver based on a silicon photodiode with a transimpedance amplifier and a C11708MA minispectrometer with a spectrum registration range from 580 to 1100 nm. The probe control unit contains an STM32 microprocessor, which interacts with the control program of a personal computer via the USB bus.

**Keywords:** diffuse reflectance spectroscopy; computerized device; arterial blood saturation; cortical microcirculatory bed.

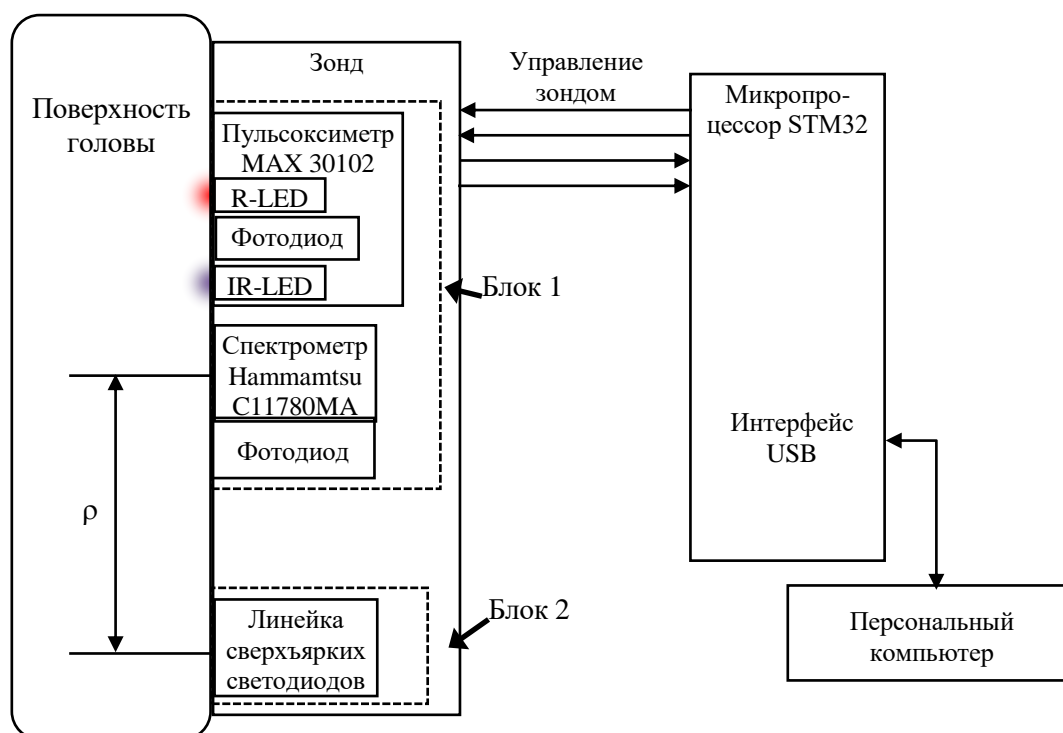
### Введение

Введение обязательного скринингового обследования населения старше 49 лет в Республике Беларусь [1] требует создания компьютеризированных комплексов, позволяющих оперативно оценивать состояние сердечно-сосудистой системы, в том числе и параметров микроциркуляторного русла коры головного мозга. При

решении этой задачи перспективно использование спектроскопии диффузного отражения, на применимость которой для оценки состояния микроциркуляторного русла поверхностных тканей указывается в [2]. Регистрируя фотоплетизмограммы в двух участках спектра и спектрально-временные профили диффузного отражения тканей головы, можно при их обработке находить сатурацию гемоглобина артериальной крови коры головного мозга, оценивать гемодинамику и ее гидратацию, поскольку кожные покровы головы тонкие и основной вклад в спектры диффузного отражения вносят хромофоры коры головного мозга. Эти данные невозможно получить традиционными неинвазивными методами, например ультразвуковым обследованием. Поэтому разработанное компьютеризированное устройство даст возможность на практике апробировать возможности спектроскопии диффузного отражения при анализе состояния микроциркуляторного русла коры головного мозга.

### Описание комплекса

Комплекс состоит из трех устройств: зонда, который закрепляется на поверхности головы, микроконтроллера, управляющего работой зонда и передающий регистрируемые сигналы в персональный компьютер через USB. Функциональная схема комплекса показана на рисунке.



Функциональная схема блока оценки параметров микроциркуляторного русла, включающая в себя оценку сатурации артериальной и венозной крови

Зонд разделен на 2 блока: второй блок содержит набор сверхъярких светодиодов, которые могут включаться одновременно, а первый блок, регистрирует диффузно рассеянное в ткани излучение этих светодиодов с помощью миниспектрометра Hamamatsu C11780MA и фотодиода. Для учета влияния на получаемые спектры кожи головы, используется микросхема пульсоксиметра MAX 30102, которая опре-

деляет сатурацию  $S_a$  артериальной крови кожи и формирует фотоплетизмограмму, определяемую пульсовыми колебаниями диаметра ее артериол. Пульсоксиметр МАХ 30102 содержит два светодиода, 18-битный АЦП и встроенную систему подавления шума и автоматического вычитания постоянной световой составляющей. Блоки разнесены друг от друга на расстояние  $\rho = 20$  мм. Фотодиод, предназначен для регистрации фотоплетизмограммы  $f_{PPG}(t)$ , амплитуда которой в основном определяется колебаниями диаметра внутреннего просвета артериол коры головного мозга. Она используется как опорный сигнал при обработке регистрируемых спектрально-временных профилей диффузного отражения коры головного мозга

$$R_m(\lambda, t, \rho) = \frac{\pi S_L(\lambda_m)}{\Phi_{LED}(\lambda_m)} \frac{V(\lambda, t, \rho)}{V_{Wnorm}(\lambda, \rho_0)}, \quad (1)$$

где  $V(\lambda, \rho)$  – спектры диффузного отражения излучения светодиодов на расстоянии  $\rho$  между точкой ввода спектрального потока  $\Phi_{LED}(\lambda)$  и щелью спектрометра,  $S_L(\lambda)$  – спектральная чувствительность спектрометра,  $V_{Wnorm}(\lambda, \rho_0)$  – спектры диффузного рассеяния эталонного белого отражателя WS-2 фирмы Avantes, полученные при расстоянии  $\rho_0$ , которые нормируются на свой максимум, чтобы максимальное значение  $V_{Wnorm}(\lambda, \rho_0) = 1$ .

При определении сатурации гемоглобина артериальной крови коры головного мозга кислородом  $S_a$  можно использовать хорошо зарекомендовавший себя пульсоксиметрический способ. Для уточнения градуировки тракта пульсоксиметра сверхъяркие светодиоды – фотодиод следует использовать регистрируемые спектрально-временные зависимости  $R_m(\lambda, t, \rho)$  и аналитические выражения диффузионного приближения переноса излучения в рассеивающих средах [2]. Спектры излучения линейки используемых светодиодов перекрываются, поэтому при использовании нормировки можно получать спектрально-временные профили (1), обрабатывая которые, можно найти нормирующий коэффициент для введения поправки в формулу для вычисления сатурации  $S_a$ .

Регистрируемые зависимости  $R_m(\lambda, t, \rho)$  далее будут использоваться для определения оптических характеристик тканей головы – спектрального показателя приведенного рассеяния  $\mu'_s(\lambda)$  и поглощения  $\mu_a(\lambda)$  светового излучения, а также оценки объемной концентрации крови в них и их гидратации.

При оснащении рассматриваемого комплекса датчиками определения скорости пульсовой волны и каналом электрокардиографа появится возможность определения временной задержки между R зубцом электрокардиограммы и максимумом фотоплетизмограммы, что косвенно отражает скорость кровотока в артериальных сосудах микроциркуляторного русла коры головного мозга.

### Библиографические ссылки

1. О порядке проведения диспансеризации взрослого и детского населения [Электронный ресурс] : постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 9 авг. 2022 г., №83 // Информационно-поисковая система «ЭТАЛОН-ONLINE» – URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=w22238626> (дата доступа: 07.10.2023).
2. Possibilities of diffuse reflectance spectroscopy in determining and operational control of the optical properties of finely dispersed scattering media / O. Hotra, V.A. Firago [et al.] // Electronics J. 2023. Vol. 12, iss. 13. P. 2893.