

УДК 577.2.08

БИОСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСУДИСТОЙ ГЕМОДИНАМИКИ Люцко К.С.¹, Филатов С.А.²

¹Белорусский национальный технический университет²Институт тепло-и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Описывается разработка биосенсорной микропроцессорной диагностической системы с открытой архитектурой для мониторинга сосудистой гемодинамики для измерения локальной концентрации кислорода и глюкозы, температуры и уровня кровотока методами оптической спектроскопии и фотометрии в видимой и ближней ИК областях.

Ключевые слова: биосенсор, мониторинг, гемодинамика.

BIOSENSOR SYSTEM FOR VASCULAR HEMODYNAMICS MONITORING Liutsko K.¹, Filatov S.²

¹Belarusian National Technical University²A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The development of biosensor microprocessor-based diagnostic system with an open architecture for monitoring vascular hemodynamics for measuring local oxygen and glucose concentrations, temperature, and blood flow levels by optical spectroscopy and photometry in the visible and near-IR regions is described.

Key words: biosensor, monitoring, hemodynamic.

Адрес для переписки: Люцко К.С. пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: liutsko@bntu.by

Оптические биосенсоры, основанные на изменении поглощения или флуоресценции индикаторных веществ и соединений, таких как оксигемоглобин или глюкоза, получают растущее применение в диагностике заболеваний и оценке микроциркуляции в тканях и сосудах человека, так как мониторинг состояния микроциркуляции крови является одной из важных проблем современной медицинской диагностики [1]. Это связано с тем, что многие заболевания, такие как заболевания сердечно-сосудистой системы, атеросклероз, сахарный диабет, хроническая венозная недостаточность и другие, вызывают функциональные и морфологические изменения в микроциркуляторном русле. Однако современные клинические методы мониторинга кровотока в сосудах, включая ангиографию, магнитно-резонансную томографию, ультразвуковую доплерографию и катетеризацию, дают узкие и неполные представления о состоянии сосудов из-за ограниченного периода наблюдений. Кроме того существующие системы мониторинга являются, как правило стационарными системами используемыми в системе здравоохранения. Недавняя эпидемия коронавируса, приведшая к большой нагрузке на системы здравоохранения всех стран, продемонстрировала потенциал систем неинвазивных мониторинга, которые могут использоваться пациентами самостоятельно, вне клиники.

Целью настоящей работы является разработка биосенсорной микропроцессорной диагностической системы с открытой архитектурой для мониторинга сосудистой гемодинамики основанной на одновременной оценке локальной концентрации

кислорода и глюкозы в тканях, температуры и уровня кровотока методами оптической спектроскопии и фотометрии в видимой и ближней ИК областях.

В разрабатываемой системе, в качестве биосенсоров для оценки насыщенности тканей кислородом использовались интегрированные сенсоры MAX30101 и MAX30102 [2], рис. 1.

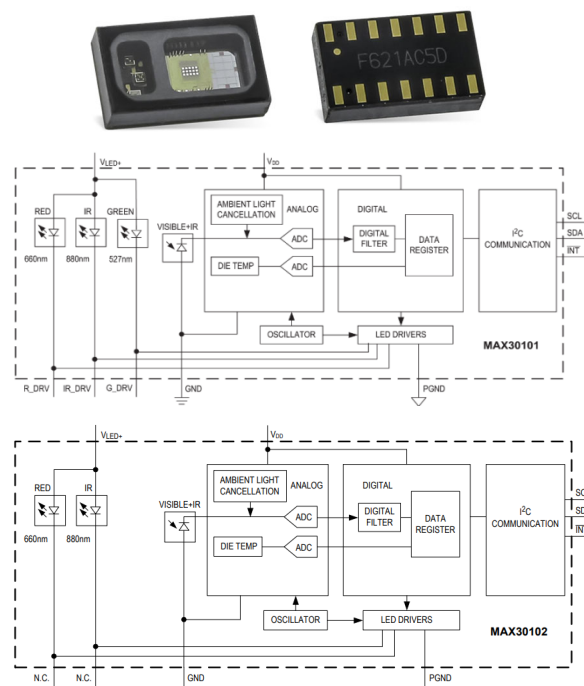


Рисунок 1 – Общий вид датчика MAX30101 и функциональные диаграммы сенсоров MAX30101 и MAX30102

Базовая оптическая схема датчиков включает в себя два источника излучения – 660 нм и 940 нм (в МАХ30101 используется и светодиод 527 нм). Фотодетектор регистрирует уровень излучения после поглощения части оптического потока тканями и компонентами крови, рис. 2, а микропроцессор анализирует полученные результаты и определяет насыщенность крови кислородом и частоту сердечных сокращений.

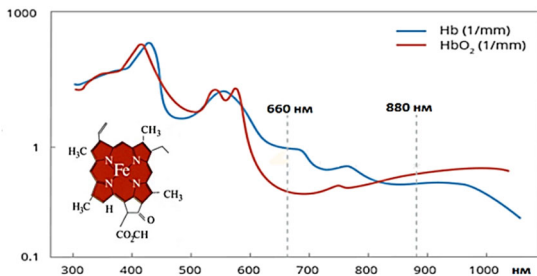


Рисунок 2 – Зависимость поглощения оксигемоглобина от длины волны

Содержание кислорода в крови определяется, как отношение насыщенного кислородом гемоглобина (HbO_2) к общему содержанию гемоглобина ($\text{HbO}_2 + \text{RHb}$) и передается в управляющий микроконтроллер, одновременно с рассчитанной частотой сердечных сокращений и температурой тканей с разрешением 0,06 °С.

Еще одним важным параметром при оценке гемодинамики может стать определение уровня глюкозы и концентрации гликированного гемоглобина HgBA1C [3?4]. В отличие от биосенсорных тест полосок, требующих травмирующих процедур, в разрабатываемой системе осуществляется оценка уровня глюкозы на основе бесконтактного анализа спектра пропускания исследуемых тканей человека. В ИК спектре пик поглощения глюкозы 940 нм достаточно хорошо выделяется, рис. 3, и для расчета концентрации глюкозы можно использовать методики многоволновой спектроскопии детектирующих излучение 530 нм, 660 нм, 850 нм и 940 нм.



Рисунок 3 – Типичный спектр поглощения глюкозы и меланина кожи

Проблема точного определения концентрации обусловлена тем, что количество молекул глюкозы в тканях человека почти на 4 порядка меньше количества молекул воды, и на 2 порядка

меньше количества молекул гемоглобина, что требует проведения измерений на референсных длинах волн. Тем не менее в наших предварительных экспериментах возможность создания оптического биосенсора для измерения концентрации глюкозы была подтверждена. В настоящее время аналогичная техника используется в Combo Glucometer компании CNOGA Medical.

Регистрация и обработка сигналов оптических датчиков, регистрируемых в аналоговой и цифровой форме, осуществлялась с помощью микроконтроллера Arduino Uno.

Программное обеспечение с открытым исходным кодом, используемое для управления этим устройством, разработано на языке Python. Для создания системы с минимальным потреблением энергии и максимальной длительностью автономной работы была разработана специализированная плата регистрации данных на основе микроконтроллера PIC 18F4550 и среды программирования PINGUINO.

При использовании системы Arduino подключается к стандартному USB-порту ноутбука или настольного компьютера для подачи питания и регистрации (отображения) данных. В такой конфигурации для оценки локального кровотока дополнительно используется методика капиллярной веб-микроскопии.

Особенностью создаваемой системы мониторинга является открытая архитектура и использование как доступных коммерческих биосенсоров, так и биосенсоров оригинальной конструкции. Мультиплексирование оптических биосенсоров позволяет говорить о перспективах применения систем непрерывного мониторинга гемодинамики, как для клинических приложений, так и для развития технологий биопринтинга и применения в смежных областях.

Литература

1. Дунаев, А. В. Метод и устройство оценки функционального состояния микроциркуляторно-тканевых систем организма человека на основе мультипараметрической оптической диагностики / А. В. Дунаев // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2020. – Т. 23. – № 4. – С. 77–91.
2. Comparison of Bi-Wavelength and Tri-Wavelength Photoplethysmography Sensors Placed on the Forehead / S. K. Longmore [et al.] // 2019 Int. Conf. on Electrical Engineering Research & Practice. – 2019. – P. 1–4.
3. A Review of Non-Invasive Optical Systems for Continuous Blood Glucose Monitoring / B. Alsunaidi [et al.] // Sensors. – 2021. – № 21. – P. 6820.
4. Kumar, D. A. Review on Non-Invasive Blood Glucose Measurement Techniques. In Proceedings of the 2020 / D. A. Kumar, T. Jayanthi // IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2020, Chennai, India, 28–30 July. – 2020. – P. 981–986.
5. The Evolution of Non-invasive Blood Glucose Monitoring System for Personal Application / N. A. Abd Salam [et al.] // J. Telecommun. Electron. Comput. Eng. – 2016. – Vol. 8. – P. 59–65.