

УДК 615.471

*Галиев Богдан Зинурович
студент 3 курса
Стерлитамакский филиал Уфимского
Университета Науки и Технологий
Ягафарова Зульфия Абдулхаевна
Доцент, кандидат физико-математических наук СФ УУНиТ
Россия, г. Стерлитамак*

НОСИМЫЕ ГАДЖЕТЫ: КАК ФИЗИКА В СМАРТ-ЧАСАХ СПАСАЕТ ЖИЗНИ

Аннотация: в статье рассматриваются физические принципы, лежащие в основе функционирования современных носимых электронных устройств (смарт-часов и фитнес-трекеров), применяемых для непрерывного мониторинга показателей здоровья. Анализируются механизмы фотоплетизмографии, оптической пульсоксиметрии и портативной электрокардиографии.

Ключевые слова: медицинская физика, носимая электроника, фотоплетизмография, пульсоксиметрия, электрокардиография, закон Бугера — Ламберта — Бера, биопотенциалы.

*Galiev Bogdan Zinurovich
3rd year student
Sterlitamak Branch of Ufa University of Science and Technology
Yagafarova Zulfiya Abdulkhaevna
Associate Professor, Candidate of Physico-mathematical Sciences
SF UUNiT
Russia, Sterlitamak*

WEARABLE GADGETS: HOW PHYSICS IN SMART WATCHES SAVES LIVES

Abstract: the article examines the physical principles underlying the

functioning of modern wearable electronic devices (smart watches and fitness trackers) used for continuous monitoring of health indicators. The mechanisms of photoplethysmography, optical pulse oximetry, and portable electrocardiography are analyzed.

Key words: *medical physics, wearable electronics, photoplethysmography, pulse oximetry, electrocardiography, Bouguer—Lambert—Baer law, biopotentials.*

Современная медицинская физика стремительно выходит за пределы классических радиологических отделений и лабораторий лучевой терапии [1]. Одним из наиболее динамичных направлений технологического прогресса стала персонализированная медицина, реализуемая через концепцию mHealth (мобильного здравоохранения). Смарт-часы, изначально создававшиеся как цифровые аксессуары, сегодня представляют собой высокотехнологичные диагностические платформы. С точки зрения физики, миниатюризация сложных оптических и датчиковых систем позволила осуществлять непрерывный неинвазивный скрининг параметров гомеостаза человеческого организма в реальном времени, что открывает колоссальные возможности для раннего выявления кардиореспираторных патологий [2].

В основе работы любого оптического пульсометра, интегрированного в носимое устройство, лежит метод фотоплетизмографии (ФПГ) [2, 4]. Физический базис данного метода опирается на регистрацию изменений интенсивности светового потока, прошедшего через биологическую ткань или отраженного от нее. Ключевым агентом взаимодействия с излучением выступает кровь, а точнее — хромофоры, среди которых доминирует гемоглобин.

Этот процесс подчиняется фундаментальному физическому закону Бугера — Ламберта — Бера [1]. Применительно к живой ткани интенсивность регистрируемого фотодетектором излучения определяется

начальной мощностью светового потока, а также экспоненциально снижается в зависимости от глубины проникновения, коэффициентов поглощения и рассеяния света в биотканях.

В смарт-часах преимущественно используются светодиоды зеленого спектрального диапазона (длина волны около 525–535 нм). Выбор этого диапазона обусловлен тем, что оксигенированный гемоглобин имеет локальный максимум поглощения в этой области, а глубина проникновения зеленого света идеально соответствует расположению капиллярного русла дермы [2]. Во время систолы (сокращения сердца) объем крови в микрососудистом русле запястья увеличивается, что приводит к росту общего поглощения излучения и, следовательно, к падению интенсивности сигнала, фиксируемого фотодиодом. В фазу диастолы наблюдается обратный процесс. Динамическая модуляция светового потока формирует ФПГ-волну, анализ которой позволяет вычислять частоту пульса и вариабельность сердечного ритма [4].

Более сложной физико-оптической задачей является определение насыщения артериальной крови кислородом (сатурации, SpO_2). Носимые приборы реализуют этот процесс посредством двухволновой спектрофотометрии [4]. В отличие от пульсометрии, здесь задействуются два типа излучателей: красный (с длиной волны около 660 нм) и инфракрасный (с длиной волны около 940 нм).

Физика метода строится на существенном различии спектров поглощения двух форм гемоглобина: восстановленного (дезоксигемоглобина) и связанного с кислородом (оксигемоглобина). На длине волны 660 нм дезоксигемоглобин поглощает излучение значительно сильнее. В инфракрасной области ситуация инвертируется: молекулы оксигемоглобина обладают более высоким коэффициентом поглощения [1].

Микропроцессор оценивает соотношение амплитуд переменной и постоянной компонент сигнала для обеих длин волн, на основе чего

программные алгоритмы рассчитывают финальный процент сатурации. Своевременное выявление гипоксемии позволяет гаджету предупредить пользователя о рисках развития скрытых патологий [2].

Интеграция функции снятия одноканальной электрокардиограммы (ЭКГ) в носимые устройства стала важным достижением биомедицинской инженерии. С точки зрения электродинамики, сердце представляет собой колеблющийся токовый диполь, генерирующий переменное электрическое поле [3].

В смарт-часах реализована модифицированная схема первого стандартного отведения треугольника Эйнтховена [3, 5]. Роль электродов выполняют задняя крышка устройства (постоянный гальванический контакт с запястьем) и сенсорное кольцо или кнопка, к которой пользователь прикасается пальцем другой руки. Замыкается контур прохождения биоэлектрического сигнала через грудную клетку и верхние конечности.

Амплитуда полезного кардиосигнала на запястье чрезвычайно мала, что сопоставимо с естественными электромиографическими шумами мышц. Для выделения целевого комплекса P-Q-R-S-T применяются алгоритмы цифровой фильтрации и частотного анализа [5]. Это позволяет с высокой точностью верифицировать фибрилляцию предсердий — опаснейшую аритмию, являющуюся предвестником серьезных сосудистых катастроф.

Таким образом, современные смарт-часы — это миниатюрные лаборатории медицинской физики на запястье человека. Эффекты взаимодействия фотонов с компонентами крови и регистрация слабых биопотенциалов в шумовой среде обеспечивают непрерывный контроль жизненно важных функций. Развитие этого направления лежит на стыке усовершенствования оптоэлектроники и математических алгоритмов, что

делает медицинскую физику ключевым драйвером превентивной медицины будущего [2, 3].

Использованные источники

1. Анисимов Е. А., Козлов Ю. В. Методы регистрации и анализа фотоплетизмограмм в портативных устройствах // Медицинская техника. — 2023. — № 2. — С. 34–38.
2. Иванов О. В., Петров С. М. Оптические методы мониторинга гемодинамики в носимой электронике // Журнал технической физики. — 2024. — Т. 94, № 3. — С. 412–420.
3. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. — 560 с.
4. Рогаткин Д. А. Медицинская флуоресцентная диагностика: принципы, физика, методы, аппаратура. — М.: Техносфера, 2022. — 384 с.
5. Рябыкина Г. В. Холтеровское и бифункциональное мониторирование ЭКГ и артериального давления. — М.: Медпрактика-М, 2021. — 368 с.