

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра БТС**

**РЕФЕРАТ**  
**по дисциплине «ТМДИЛВ»**  
**Тема: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПУЛЬСОКСИМЕТРА ДЛЯ**  
**МОНИТОРИНГА ЧАСТОТЫ ПУЛЬСА**

Студент гр. 7501

\_\_\_\_\_

Исаков А.О.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Семенова Е.А.

Санкт-Петербург

2020

## **ЗАДАНИЕ НА РЕФЕРАТ**

Студент Исаков А.О.

Группа 7501

Тема реферата: использование пульсоксиметра для мониторинга частоты пульса

Исходные данные:

описать назначение пульсоксиметров, физические принципы работы – в отношении определения частоты пульса и сатурации крови кислородом, места укрепления пульсоксиметров на теле человека и факторы, которые могут препятствовать нормальной работе пульсоксиметров, руководствуясь принятыми нормами оформления рефератов и ГОСТ 7.32-2017

Предполагаемый объем реферата:

Не менее 15 страниц (обязательны разделы «Титульный лист», «Задание на реферат», «Аннотация на русском и английском языках», «Содержание», «Введение», «Основная часть», «Заключение», «Список использованных источников»).

Дата выдачи задания:

Дата сдачи реферата:

Дата защиты реферата:

Студент

\_\_\_\_\_

Исаков А.О.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Семенова Е.А.

## **АННОТАЦИЯ**

Целью реферата поставлю ознакомление с одним из довольно простых устройств – пульсоксиметром. Широко применяемый в клинической практике, небольшой прибор, предназначенный для определения уровня сатурации крови кислородом и пульса. Несмотря на своё компактное устройство и физический принцип работы аппарат не уступает в точности своим инвазивным аналогам. Более того в отличие от них не требует непосредственного участия врача. Срочные операции, плановые, регулярные обследования, даже домашнее использование – всё это входит в спектр его применения.

## **SUMMARY**

The purpose of the paper is to familiarize you with one of the fairly simple devices – a pulse oximeter. Widely used in clinical practice, a small device designed to determine the level of blood oxygen saturation and pulse. Despite its compact design and physical principle of operation, the device is not inferior in accuracy to its invasive counterparts. Moreover, unlike them, it does not require the direct participation of a doctor. Urgent operations, planned, regular examinations, even home use-all this is included in the range of its application.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1.	Назначение пульсоксиметров	6
2.	Физические принципы работы	7
3.	Места крепления пульсоксиметров на теле	13
	Заключение	15
	Список использованных источников	16
	Приложение А. Закон Бугера-Ламберта-Бера	17

## ВВЕДЕНИЕ

Пульсоксиметрия повсеместно вошла в клиническую практику, так что уже сейчас не кажется чем-то особенным. Однако, она решает ряд проблем, задумываться о которых больше не приходится. На данный момент это единственный столь широко распространенный и сравнительно простой метод неинвазивного определения насыщения крови кислородом, не говоря о возможности достаточно точного измерения частоты пульса, без непосредственного участия медработника, что важно, например, в условиях проведения срочной операции. Установить пульсоксиметр и списать с него данные может даже необученный человек в домашних условиях. Такая простота в использовании зачастую позволяет предпринять превентивные меры против развития анемии, инфаркта или инсульта. Во многих приборах на экран также выводится кривая абсорбции света в крови. Пускай такой показатель нельзя считать абсолютно точным для постановки диагноза, но он дает лечащему врачу некое представление об общем состоянии кровеносной системы человека, например, о снижении прочности и эластичности сосудов. Постараемся разобраться в физических принципах работы и некоторых особенностях применения, таких как места крепления на теле человека и возможные помехи нормальной работе устройства.

## **1. НАЗНАЧЕНИЕ ПУЛЬСОКСИМЕТРОВ**

Пульсоксиметр, надеваемый на палец предназначен для выборочной проверки и контроля функционального насыщения артериальной крови кислородом и измерения частоты пульса у взрослых и пациентов педиатрии в больницах, учреждениях больничного типа, в транспорте и передвижных средствах, а также при уходе в домашних условиях. Пульсоксиметр не предназначен для продолжительного контроля, несмотря на то что он оборудован системой сигнализации.

Для пульсоксиметра не требуется проводить периодическую калибровку или специальное техническое обслуживание, помимо замены батарейки [1].

## 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

Методика пульсовой оксиметрии основана на использовании принципов фотоплетизмографии (от греческого – наполнение), позволяющих выделить артериальную составляющую абсорбции света для определения оксигенации артериальной крови. Измерение этой составляющей дает возможность использовать спектрофотометрию для неинвазивного мониторинга сатурации (насыщения) артериальной крови кислородом [2]. Согласно оговоренным физическим принципам работы, исследуемый участок тканей располагается на пути луча света между инфракрасным излучателем и фотодетектором.



Рисунок 1 – Схематичное изображение датчика фотоплетизмограммы

Обратимся к приложению. Закон Бугера-Ламберта-Бера устанавливает пропорциональность величины абсорбции света к толщине слоя, поглощающего свет, позволяет при исследовании кровотока определить размер сосуда и объем крови, проходящий через исследуемый участок тканей. Сужение и расширение сосуда под действием артериальной пульсации кровотока вызывают соответствующее изменение амплитуды сигнала, получаемого с выхода фотоприемника [2].

Фотоплетизмографический сигнал представляет собой изменение во времени кровеносного сосуда под действием пульсовых волн. Каждый фрагмент

сигнала ФПГ представляет собой периферическую пульсовую волну. Максимум этой волны соответствует моменту максимального кровенаполнения сосуда – систоле, а минимум – диастоле. Амплитуда регистрируемых колебаний зависит от разности давления в сосудах при систоле и диастоле [3]. Иными словами, при повышении давления стенки сосудов расширяются и датчик фиксирует максимум, обратный процесс наблюдается при сужении стенок сосуда. Измерив расстояние между соседними пиками пульсоксиметр рассчитывает частоту пульса в минуту.

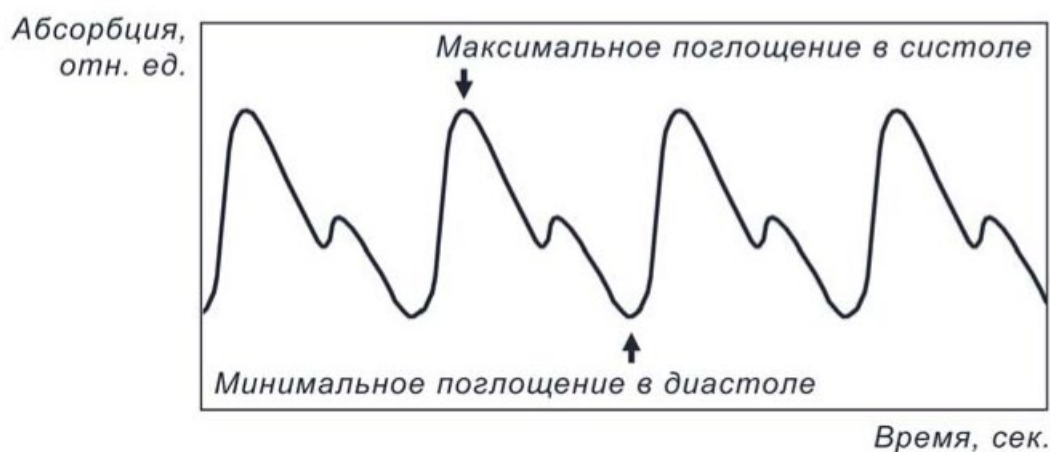


Рисунок 2 – Пример фотоплетизмограммы

По классификации сигналов ФПГ, форма сигнала может иметь 4 разновидности [4]:

1. отчетливо видна впадина на нисходящей части кривой ФПГ;
2. нет впадины, на ее месте есть горизонтальный участок;
3. нет впадины и горизонтального участка (сопровождается резким изменением угла спадающей части ФПГ либо на нисходящей части; на восходящей части есть изменение угла подъема кривой)
4. нет впадины, горизонтального участка и скачка угла; кривая ФПГ имеет сглаженную форму



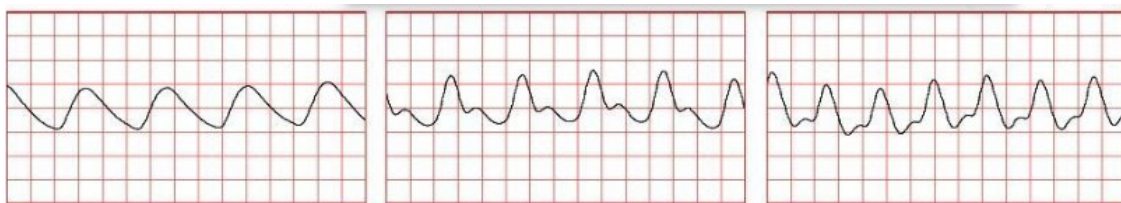


Рисунок 3 – Пример возможных ошибочных искажений

Изменения в форме ФПГ отчасти указывают на начало развития гемодинамических нарушений. Целесообразно отображать рисунок на графическом дисплее для распространения в лечебной практике.

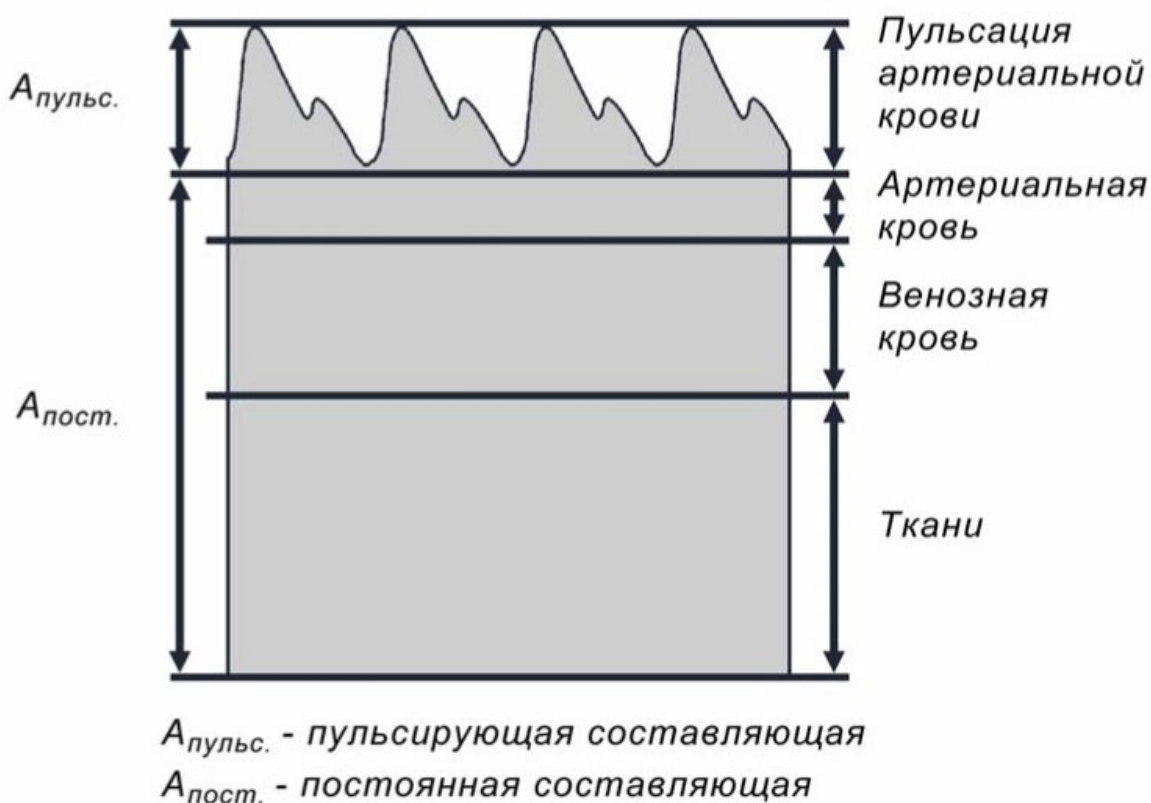


Рисунок 4 – Распределение абсорбции света в тканях

Уровень насыщения артериальной крови кислородом – жизненно важный показатель. Сатурацией называют количественный показатель этого уровня, в процентах от максимально возможного. Строго говоря, сатурация в медицине – термин, обозначающий процесс насыщения кислородом, но очень часто сатурация, уровень сатурации – термины, обозначающие показатель эффективности этого процесса.

Итак, максимально возможная сатурация артериальной крови равна 100%, вполне комфортным и для взрослого, и для ребенка является уровень 98–95%.

Однако уход сатурации на уровень 94% – уже серьезный повод для беспокойства: врач должен принимать серьезные меры по борьбе с начинающейся гипоксией.

Критичной считается сатурация 90%, поскольку если ничего не предпринимать, то при таком уровне сатурации начинаются необратимые изменения в тканях и органах [5].

Для неинвазивного определения оксигенации крови в рабочую область фотоплетизмографического датчика помещается участок тканей, содержащий артериальные сосуды. В этом случае сигнал с выхода датчика, пропорциональный абсорбции света, проходящего через ткани, включает две составляющие: пульсирующую компоненту, обусловленную изменением объема артериальной крови на каждом сердечном сокращении, и постоянную «базовую» составляющую, определяемую оптическими свойствами кожи [2].

Анализируя форму сигнала ФПГ зрительно выделяем ключевые фрагменты, соответствующие частотам систолического выброса. Считается, что наиболее точный расчет сатурации артериальной крови определяется исходя из этих непродолжительных промежутков.

Перейдем к описанию методики двухлучевой спектрофотометрии. Измерение абсорбции света, как мы уже выяснили, преимущественно производится на частотах, соответствующих систолическим выбросам, т.е. в моменты максимума амплитуды сигнала датчика для двух волн излучения. Датчик состоит из двух источников излучения с различными спектральными характеристиками.

Выбор длин волн излучения обуславливается необходимостью выбирать участки спектра с наибольшей разницей в поглощении света оксигемоглобином и гемоглобином, для повышения чувствительности регистрации сатурации кислорода в крови. Наиболее подходящими для нас являются красная и ближняя инфракрасная области спектра излучения.

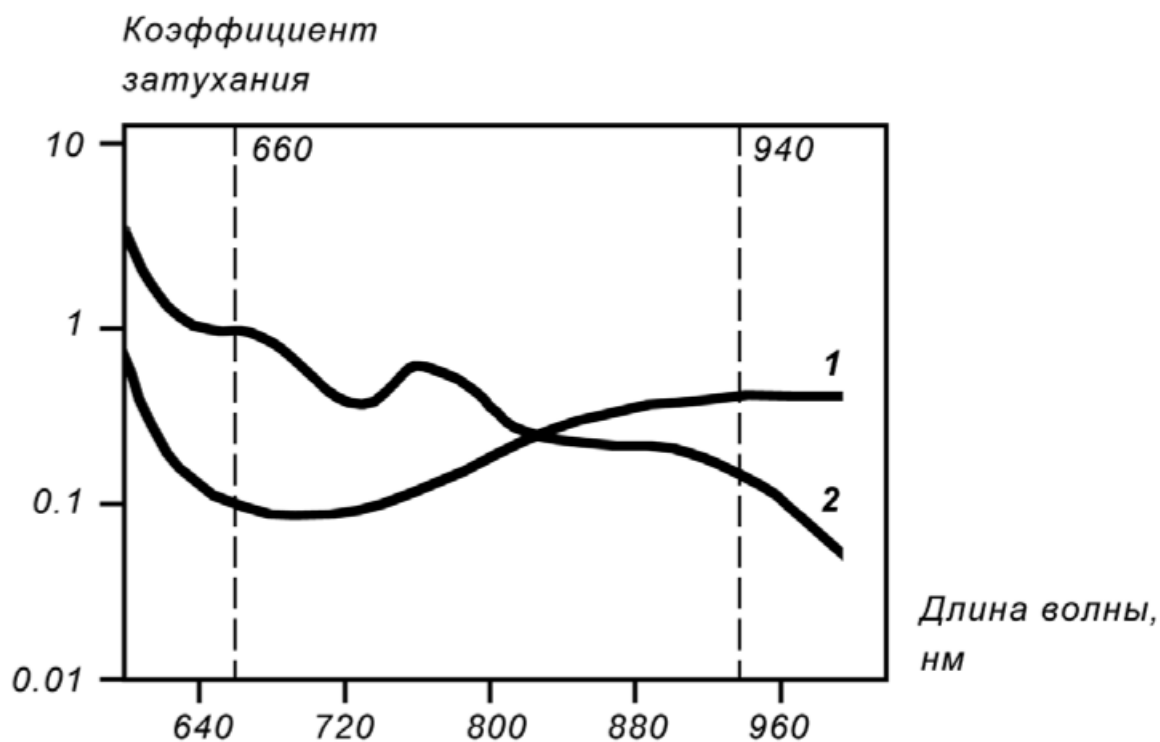


Рисунок 5 – Зависимость поглощения света от длины волны излучения для различных форм гемоглобина: 1 – оксигемоглобин, 2 – гемоглобин

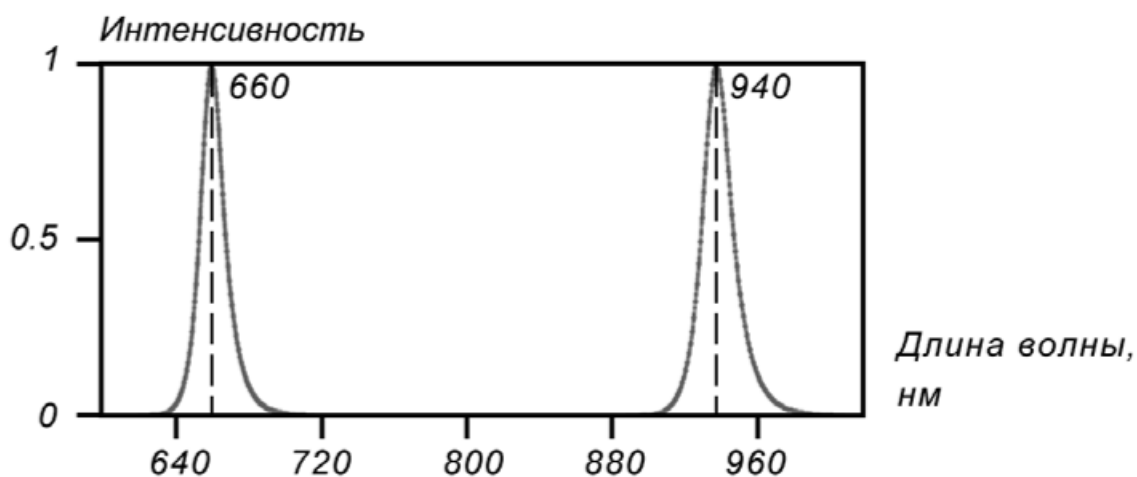


Рисунок 6 – Спектры излучения светодиодов, работающих в красном и инфракрасном диапазонах волн

При длине волны излучения 600 нм гемоглобин поглощает примерно в 10 раз больше света, чем оксигемоглобин, а на волне 940 нм – поглощение оксигемоглобина больше, чем гемоглобина.

Для повышения точности определения сатурации методом пульсовой оксиметрии используется нормирование сигналов поглощения света, для чего

измеряется постоянная составляющая в моменты диастолы и находится отношение амплитуд пульсирующей и постоянной составляющих:

$$A_{\text{норм.}} = \frac{A_{\text{пульс.}}}{A_{\text{пост.}}}$$

Эта процедура выполняется для каждой длины волны излучения. Нормированная величина поглощения не зависит от интенсивности излучения светодиодов, а определяется только оптическими свойствами живой ткани.

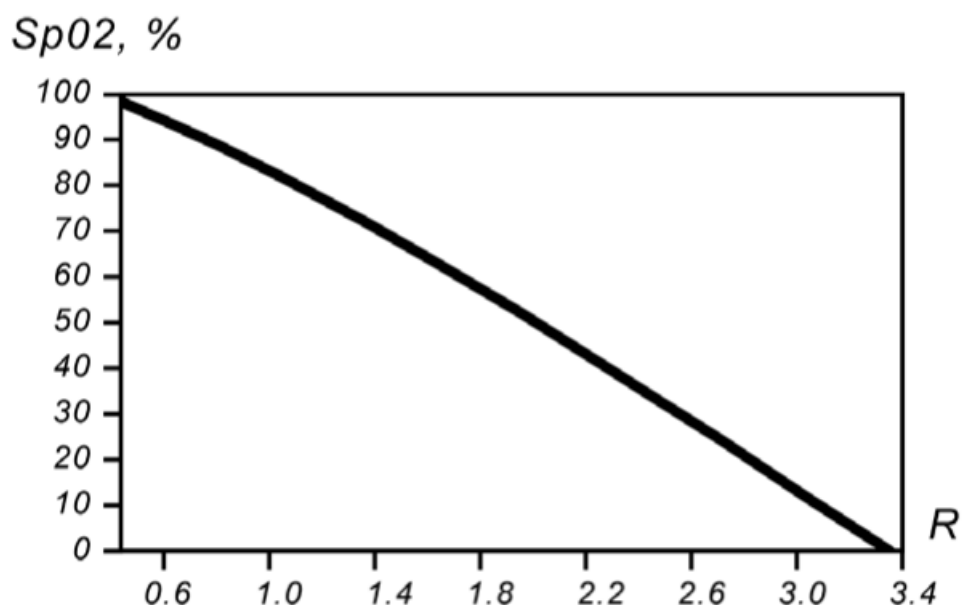


Рисунок 7 – Калибровочная кривая пульсоксиметра

Для получения значения сатурации рассчитывают отношение нормированных величин поглощения света для двух выбранных волн [2]:

$$R = \frac{A_{1 \text{ норм.}}}{A_{2 \text{ норм.}}}$$

### 3. МЕСТА КРЕПЛЕНИЯ ПУЛЬСОКСИМЕТРОВ НА ТЕЛЕ

Традиционное крепление пульсоксиметра подразумевает плотный контакт с кожей пациента на указательном пальце не ведущей руки, однако, возможно снять показатели и с мочки уха, а для детей предусмотрен особый вариант крепления на ступне.



Рисунок 8 – Пример крепления пульсоксиметра на кисти руки



Рисунок 9 – Пример крепления на запястье



Рисунок 10 – Пример крепления на указательном пальце



Рисунок 11 Детский пульсоксиметр на ступню

Толстый жировой слой, потливость кожи и грязь препятствуют нормальному рассеиванию и поглощению света в крови человека. Поэтому предварительно медработник или же сам человек должны убедиться, что ничего не мешает нормальной работе пульсоксиметра. Кроме того, важно проследить за правильным расположением светодиодов, случайные смещения, вызванные движением пациента, засветка датчика могут помешать измерению постоянной составляющей артериальной крови или вызвать искажения пульсации, что повлечет за собой изменения кривой абсорбции света в тканях. Вероятно, работе устройства могут препятствовать и сильные внешние электромагнитные поля.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги кратко вспомним основные физические основы работы прибора. Свет, пропускаемый сквозь анализируемый участок кожи, рассеивается и поглощается оксигемоглобином и гемоглобином в крови. Для того чтобы четко различать эти два показателя, используют два луча, с разными частотами, относящимися к тем частям спектра, что наиболее чувствительны к поглощению в гемоглобине и кислороде. Отталкиваясь от этого короткого описания принципа работы, очевидными становятся возможные помехи и условности при снятии показателей. Начнем с того, что кожа, в месте приложения диодов, должна быть чистой. В ряде случаев пациент может небрежно сдвинуть аппарат, что скажется на кривой абсорбции света, вынуждая врача провести ряд обследований для исключения возможности снижения эластичности сосудов или максимального кровенаполнения. Подразумевается, что неплотное прилегание диодов может вызвать их засвет, что и вызовет помехи. Так же нельзя считать точным исследование, проведенное в условиях непосредственной близости к сильным электромагнитным полям. Клиническая практика показывает, что прибор идеально справляется в условиях, как повседневной, так и работы на износ. Единственное обслуживание, которое ему требуется – вовремя менять батарейку.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инструкция по эксплуатации MD300C318 к пальчиковому пульсоксиметру V2.0C318 Beijing Choice Electronic Technology co., Ltd. @2009
2. Московский государственный университет им. Ломоносова М.В. специальный практикум. Пульсоксиметрия: физические принципы и применение в медицине. Издательство «Москва» 2008 г.
3. Федотов А.А., Акулов С.А. Математическое моделирование и анализ погрешностей измерительных преобразователей биомедицинских сигналов. М.: Физматлит, 2013. 282с.
4. Галкин М., Змиевской Г., Ларюшин А., Новиков В. Кардиодиагностика на основе анализа фотоплетизмограмм с помощью двухканального плетизмографа. Издательство «Фотоника» 2008. №3. С.30-35
5. Практикум по физике. Ч. 2. Гемодинамика [Текст] : учебно-методическое пособие для студентов 1 курса / В. П. Сидоров ; Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЗАКОН БУГЕРА-ЛАМБЕРТА-БЕРА

Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, интенсивность падающего света ( $I_{\text{пад}}$ ) и проходящего ( $I_{\text{пр}}$ ) сквозь исследуемую пробу связаны между собой соотношением:  $I_{\text{пр}} = I_{\text{пад}} * e^{-A}$ , где  $A = \chi_{\lambda} C d$  – величина абсорбции (поглощения).

Здесь  $\chi_{\lambda}$  – коэффициент молярной экстинкции, постоянный для каждого вещества и длины волны падающего света. Зависимость коэффициента экстинкции от длины волны падающего света образует спектр поглощения вещества.

$C$  – концентрация поглощающего света,

$d$  – толщина слоя поглощающего вещества.