

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико – технический
Направление подготовки 140302 Ядерные физика и технологии
Кафедра Прикладная физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В КРОВИ НЕИНВАЗИВНЫМ МЕТОДОМ
УДК <u>681.2.543.27.08.068.2:612.127.2</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Иванов Дмитрий Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПФ	Алейник А.Н.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ	Вагнер А.Р.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКОВ)

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического

	воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Профессиональные компетенции	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 140302 Ядерные физика и технологии
Кафедра Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Иванов Дмитрий Андреевич

Тема работы:

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В КРОВИ НЕИНВАЗИВНЫМ МЕТОДОМ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2017 №545/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.17
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Разработка прибора для определения содержания кислорода в крови неинвазивным методом
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Обзор и сравнение устройств предназначенных для определения содержания кислорода в крови. 2) Разработать макет пульсоксиметра на отражение. 3) Исследовать характеристики разработанного прибора..
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	-

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Разработка и изготовление схемы прибора	Алейник Александр Никонорович
Экспериментальная часть	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.17
---	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПФ	Алейник А.Н.	к.ф-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Иванов Дмитрий Андреевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 140302 Ядерная физика и технологии
Кафедра Прикладная физика
Период выполнения (весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.17
--	----------

Дата Контроля	Название раздела / вид работы
27.03.17	Разработка ТЗ на ВКР
28.03.17-30.03.17	Составление и утверждение ТЗ
01.04.17-10.04.17	Сбор и поиск литературы в рамках проекта
11.04.17-13.04.17	Выбор и обоснование оптимального средства измерения
14.04.17-16.04.17	Разработка принципиальной схемы
01.04.17-16.04.17	Изучение языка программирования C++
17.04.17-20.04.17	Изготовление макета устройства
21.04.17-30.04.17	Программирование микроконтроллера и микросхемы
03.05.17-05.05.17	Тестирование устройства и исследование его характеристик
06.05.17-07.05.17	Проведение эксперимента с источниками
07.05.17-12.05.17	Анализ и обработка полученных данных
15.05.17-20.05.17	Обобщение и оценка результатов
25.05.17-10.06.17	Оформление пояснительной записки
05.06.17-14.06.17	Подготовка к защите ВКР

Составил:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ПФ	Алейник А.Н.	К.ф.-М.Н.		

Согласовано:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ	Вагнер А.Р.	Д.ф.-М.Н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Иванов Дмитрий Андреевич

Институт	Физико-технический	Кафедра	Прикладная физика
Уровень образования	бакалавр	Направление подготовки	140302 Ядерная физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	SWOT-анализ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Иванов Дмитрий Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0А3А	ФИО Иванов Дмитрий Андреевич
----------------	---------------------------------

Институт Уровень образования	ФТИ бакалавр	Кафедра Направление/специальность	ПФ 14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды
---------------------------------	-----------------	--------------------------------------	--

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей микроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение, шум, вибрация. – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожарная безопасность; – требования к охране труда по работе с ПЭВМ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.04.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Иванов Дмитрий Андреевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 88 с., 19 рисунка, 32 источников, 18 таблицы.

Ключевые слова: кислородная насыщенность, пульс, пульсоксиметрия, оксиметрия, импульсная оксиметрия.

Цель работы – разработка пульсоксиметра для применения в медицине. Определение кислородного насыщения в опухолях с помощью пульсоксиметра на отражение.

В процессе работы произведен расчет пульсоксиметра на отражение и изготовлен его рабочий макет для применения в онкологии. Измерена и рассчитана кислородная насыщенность в артериальной крови.

Проведена апробация макета.

Область применения: Определение кислородной насыщенности в тканях.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word .

Оглавление

Оглавление	11
Введение.....	13
1. Основные понятие пульсоксиметрии.....	15
1.1 Виды пульсоксиметрии	15
1.2 Механизмы прохождения света через ткани.....	16
2. Пульсоксиметрия	24
2.1 Принцип работы пульсоксиметрии.....	24
2.2 Определение насыщения по фотоплетизмограммам.....	31
3. Разработка импульсного оксиметра на отражение.....	37
3.1 Принцип работы устройство	37
3.2 Управление светодиодами	40
4. Экспериментальная часть.....	42
4.1 Обработка фотоплетизмографических сигналов	42
4.1.1 Характеристики зарегистрированных фотоплетизмограмм.....	42
4.1.2 Фильтр с плавающим окном для понижения шума.....	43
4.1.3 Вычисление нормированного переменного сигнала (АС).....	44
4.1.4 Нахождение кислородной насыщенности	45
4.1.5 Расчет неопределенности для R_{OS}	46
4.2 Результаты исследования	47
5.1 Анализ вредных и опасных факторов	51
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ЭВМ и от паяльника.	53
5.2.1 Организационные мероприятия.....	53
5.2.2 Технические мероприятия.....	53
5.4 Электробезопасность	58
5.5 Пожарная и взрывная безопасность	59
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	62

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования	63
6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	64
6.3 SWOT-анализ.....	66
6.4 Планирование научно-исследовательской работы.....	69
6.4.1 Определение трудоемкости выполнения НИОКР	70
6.4.2 Разработка графика проведения научного исследования	71
6.4.3 Календарный план-график в виде диаграммы Гантта	72
6.5 Бюджет научного исследования.....	74
6.5.1 Расчет материальных затрат НТИ	75
6.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	77
6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	79
6.5.5 Затраты на научные и производственные командировки	80
6.5.6 Контрагентные расходы	81
6.5.7 Накладные расходы.....	81
Затраты на электроэнергию составили 686,08 рублей.	81
6.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	82
6.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	83
Заключение	85
Список использованных источников	86

Введение

У пациентов, во время обследования, могут быть обнаружены серьезные и потенциально опасные для жизни ситуации и тогда своевременно должны быть приняты меры. Например, пациенты, страдающие от сердечной недостаточности, нуждаются в частом обследовании сердечно-сосудистой системы. Контролирующие приборы, для этих пациентов, должны быть мобильными и автономными.

Непосредственное состояние человека, как правило, оценивается следующими параметрами: биение пульса, кровяное давление, частота дыхания, температура и кислородная насыщенность – один из жизненно важных параметров [1]. Кровяное давление, пульс и кислородная насыщенность - самые сложные и жизненно важные параметры, служащие характеристикой сердца и функцией легких. Для нахождения пульса используют метод: измерение кровяного давления. Кислородная насыщенность измеряется с помощью неинвазивной импульсной оксиметрии. Пульсоксиметрия – это спектрофотометрический метод измерения насыщенности артериальной крови кислородом с помощью света и пульса.

Использование пульсоксиметров на протяжении сводится к измерению кислородной насыщенности во время операций. Пульсоксиметры на протяжении в России не используются.

При лечении раковых опухолей с помощью радиотерапии и химиотерапии возникает резистентность тканей опухоли к этим видам лечения вследствие недостаточного снабжения их кислородом. Чтобы не проводить лишние, малоэффективные сеансы терапии необходимо отслеживать степень насыщения кислородом опухоли в ходе лечения. Для этого могут быть использованы пульсоксиметры на протяжении, которые в нашей стране не развиты совсем.

К лучевой терапии более чувствительны клетки содержащие большое количество кислорода, клетки с дефицитом кислорода (гипоксичные) быстрее размножаются, для их гибели требуется многократное увеличение дозы облучения. Именно эти выжившие гипоксичные клетки дают рост метастазам и рецидивам. В маленькой опухоли все клетки хорошо снабжаются кислородом, при увеличении опухоли в размерах таких клеток становится меньше: клетки очень быстро размножаются, рост сосудов не поспевает за ними, поэтому они начинают привыкать к снижению уровня кислорода и постепенно клеток, насыщенных кислородом, становится всё меньше. В современной радиологии еще не научились повышать уровень кислорода в опухолевых клетках для увеличения их чувствительности к лучам.

Поэтому, целью настоящего исследований является разработка пульсоксиметра на отражение для применения в медицине.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решить ряд задач:

1. Разработать макет пульсоксиметра на отражение;
2. Проводить испытание прибора.

Глава 1. Основные понятия пульсоксиметрии

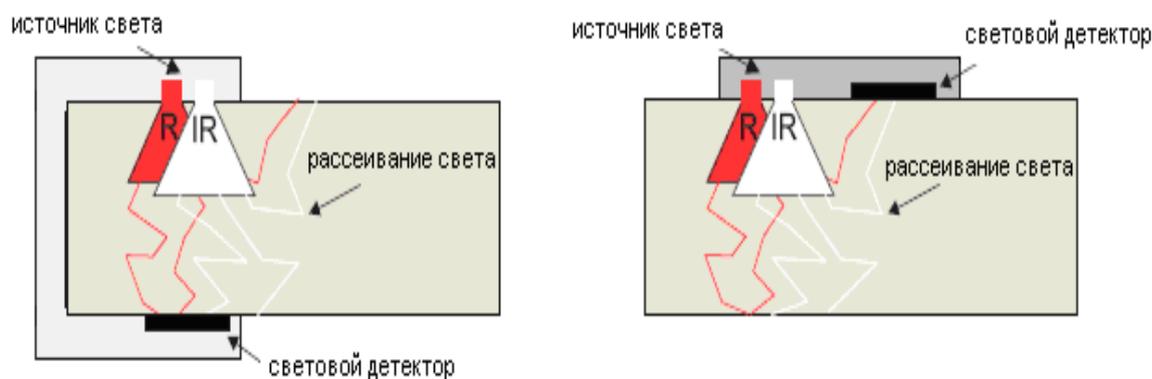
1.1 Виды пульсоксиметрии

Пульсоксиметрия является методом для неинвазивного измерения двух важных параметров:

- Насыщенность кислорода в крови
- Ритм сердцебиения - пульс

Пульс – является вторичным параметром в пульсоксиметрии, так как он может быть найден электрокардиографией. Уникальной особенностью пульсоксиметрии по сравнению с электрокардиографией является возможность измерения кислородной насыщенности. Таким образом, даже когда сердце работает надлежащим образом, возможно, обнаружить нехватку кислорода в крови.

За транспортировку кислорода в теле отвечает белок гемоглобин (Hb) в эритроцитах.



а) режим прохождения

б) режим отражения

Рисунок 1.1 - Основные конфигурации, на прохождение и отражение, для пульсоксиметрии. На рисунке (а) показан режим прохождения, где источник света и световой датчик помещены в противоположных сторонах. На рисунке (б) показан режим отражения, в этом случае источник света и световой датчик помещены на одной стороне.

Принцип измерения – излучение двух длин волн света и измерение отраженных световых сигналов. Этот сигнал будет отражать пульс так как, кровь подается в артерии, создавая увеличение поглощения. Кислородное насыщение определяется функциональной зависимостью между сигналами для двух длин волн.

Пульсоксиметрию обычно выполняют на пальце или мочке уха. Эти части тела хорошо связаны с венозной кровью и поэтому объем порций крови высок. Из-за ряда причин в пульсоксиметрии используют длины волны красной и ближней инфракрасной области. Рассеяние света в тканях дает возможность измерения в режиме прохождения и в режиме отражения. Эти два принципа показаны на рисунке 1.1 пульсоксиметрии выполненной на пальце. В режиме прохождения, показанном на рисунке 1 (а), светодиоды и фотодетектор помещаются на противоположные стороны пальца, и свет проходит сквозь него. Эта конфигурация используется часто в контрольных системах, потому что фотодатчик может быть прикреплен к пальцу с помощью простого зажима, как схематично показано на рисунке. Принцип режима отражения показан на рисунке 1 (b), в этом случае светодиоды и фотодетекторы располагаются на одно поверхности.

1.2 Механизмы прохождения света через ткани

Свет проходя через ткань поглощается или рассеивается. Свет ослабевает, проходя через ткань. Спектральная поглощательная способность зависит от длины волны. Самое простое приближение для описания ослабления света при одной длине волны описывается законом Ламберта-Бира [11].

$$I(z) = I_0 \exp(-\mu_a z) \quad (1.1)$$

где $I(z)$ интенсивность как функция расстояния z в ткани, I_0 - падающая интенсивность, и μ_a - коэффициент поглощения. Характерная длина называется глубиной проникновения δ и определяется как,

$$\delta = \frac{1}{\mu_a} \quad (1.2)$$

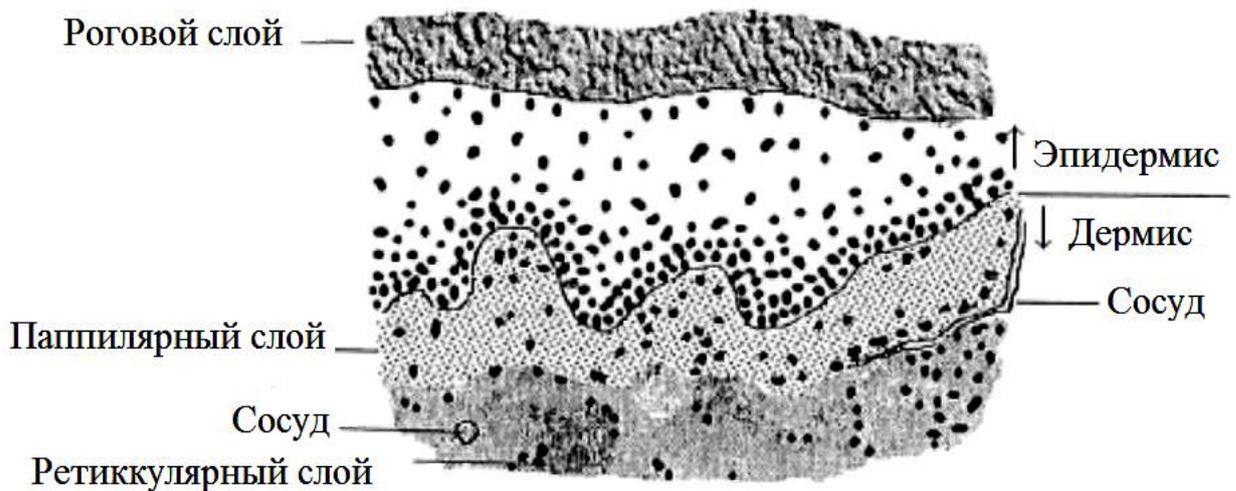


Рисунок 1.2 - Схематическая иллюстрация слоев ткани. Черные точки указывают перфузию. Видно, что есть слой ткани между внешним слоем кожи (эпидермиса) и слоем ниже (дермиса), где перфузия высокая [9].

В видимом диапазоне глубина проникновения меньше для меньших длин волн, это означает, что спектральная поглощательная способность больше для меньших длин волны, и поэтому ткань будет выглядеть красной, когда белый свет будет проходить через неё. На рисунке 1.3 показаны спектры поглощения для белка, меланина, коллагена, воды, неокисленного гемоглобина (Hb) и окисленного гемоглобина (HbO₂). Так как организм человека в основном состоит из воды (~ 70 % и ~ 82 % для одной только крови [12]), поглощение от воды очень важно.

Из рисунка видно, что коэффициент поглощения для воды высок в ультрафиолетовой и инфракрасной части спектра. В этих диапазонах вода - доминирующий поглотитель относительно коэффициента поглощения и относительно концентрации. В области от 200 нм до 900 нм коэффициент поглощения воды является очень маленьким, не доминирующим. При коротких ультрафиолетовых длинах волн белки - доминирующие поглотители с пиком в спектральной поглощательной способности при 190 нм. Поглощение при этом уменьшается, но остается существенным при 240 нм. При более длинных ультрафиолетовых и начале видимого света длина

волн меланин и гемоглобин, доминирующие поглотители. Но коэффициенты поглощения меньше, чем для доминирующих поглотителей в ультрафиолетовом диапазоне, это дает более длинную глубину проникновения. В этой области коэффициенты поглощения для гемоглобина в окисленном и неокисленном состояниях становятся существенными относительно других поглотителей ткани, но их коэффициенты поглощения - все еще на несколько порядков меньше, чем для поглотителей в других частях спектра. Это - самый светопроницаемый диапазон ткани, и поэтому его называют "тканевым окном". Тканевое окно заканчивается при ~ 1200 нм, где поглощение от воды становится доминирующим снова.

Важно заметить различие в спектрах поглощения для Hb и HbO₂.

При длинах волн ниже, чем 805 нм, Hb самый сильный поглотитель, и в длинах волны выше, чем 805 нм HbO₂ - самый сильный поглотитель. Также присутствует поглощение от коллагена при инфракрасных длинах волн.

Спектр поглощения ткани играет существенную роль при выборе длины волны для данного применения. Если применение включает подробную обработку, отображение или другие формы анализа такие, как спектрофотометрия, которая используется в пульсоксиметрии, то должны быть использованы длины волн в тканевом окне. Альтернативное использование длины волны снаружи тканевого окна и постепенное увеличение интенсивности является не подходящим, так как высокая спектральная поглощательная способность нагревает ткань и, таким образом, делает ожоги.

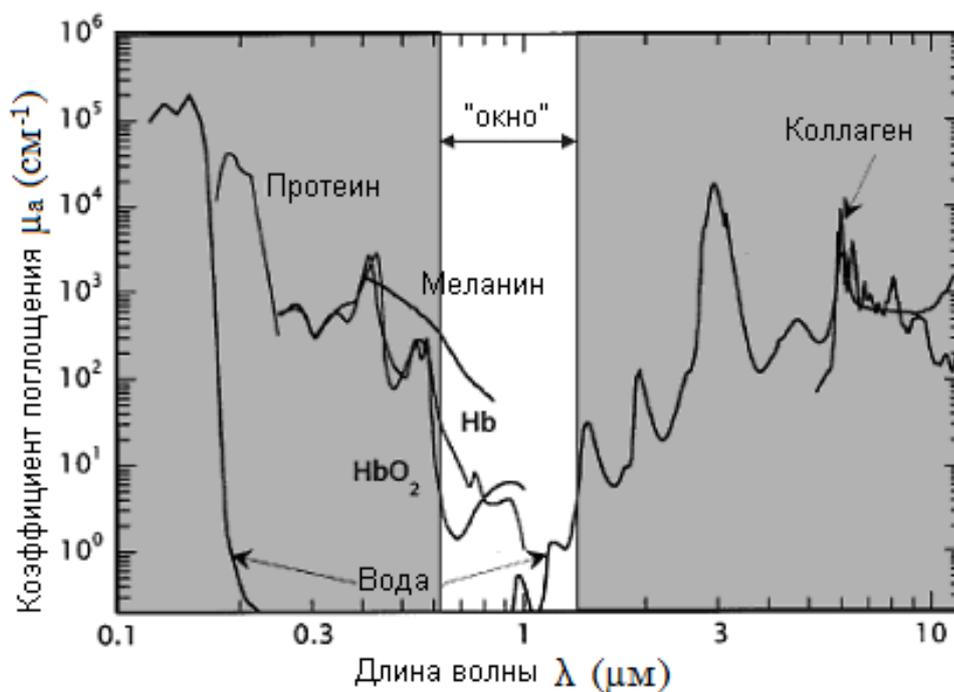


Рисунок 1.3 - Оптические коэффициенты поглощения самых важных элементов ткани как функция длины волны. В ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах вода - доминирующий поглотитель. Биомолекулы доминируют в области от ~ 240 нм до ~ 1200 нм; однако, в области от ~ 600 нм до ~ 1200 нм поглощение является самым низким, и поэтому этот диапазон называют «тканевым окном».

Наиболее сильный эффект в ткани - рассеивание. Как упомянуто выше, ткань – сильно рассеивающая среда с возможностью многократных рассеяний. На рисунке 1.2 показан результат этих событий рассеивания. Рассеивание приводит к потере первоначального направления и дефокусированию [14]. Это позволяет свету проходить сквозь палец даже при том, что у пальца есть непрозрачная кость внутри.

Если мы полагаем, что свет распространяется в данном направлении, рассеивание может быть включено как дополнительный фактор в закон Бира. Как и поглощение, рассеивание также создает потерю интенсивности в направлении первоначального распространения, когда свет проходит через ткань. Тогда ослабление прошедшего света может быть описано, объединяя закон Ламберта-Бира для поглощения и рассеивания

$$I(z) = I_0 \exp(-(\mu_a + \mu_s)z) \quad (1.3)$$

где I_0 - интенсивность падающего света, μ_a - коэффициент поглощения, μ_s - коэффициент рассеивания, и z - пространственная координата. Это дает простой результат для оценки ослабления из-за рассеивания прошедшего света; однако, этот результат не может быть использован для исследования пространственного направления рассеивания.

Существует два типа рассеивания: упругое и неупругое. Первый тип может далее быть подразделен на рассеивание Рэля и рассеивание Ми. Второй тип имеет энергетические потери и поэтому длина волны может быть смещена. Рассеивание Рэля предполагает, что рассеивающие частицы меньше чем длина волны падающего света. Это верно только для некоторых элементов клетки, например рибосом (~ 50 нм), но результат, может оказаться полезным, как первое приближение.

$$I_s \sim \frac{1 + \cos^2(\theta)}{\lambda^4} \quad (1.4)$$

где, i_s - рассеянная интенсивность, λ - длина волны, и θ - угол рассеивания, таким образом, $\theta = 0$ для рассеивания вперед, и $\theta = \pi$ - для обратного рассеивания. Ранее мы видели, что важное предположение о том, что падающий свет подвергается только единичному случаю рассеивания в пределах среды не верно. Из этого уравнения видно, что есть существенная зависимость длины волны и что у прямого и обратного рассеивания одна и та же интенсивность рассеивания. Эти заключения не совпадают с экспериментальными результатами рассеивания в биологических тканях. Несколько авторов (Вилсон и Адам, Джаккус и Парса [14, 16]) сообщили, что фотоны рассеиваются предпочтительно в переднем направлении. Поэтому закон рассеивания Рэля плохо описывает рассеивание в ткани.

Рассеивание Ми применимо для частиц, сопоставимых с длиной волны падающего света. Должны быть сделаны строгие электромагнитные вычисления, включающие необходимые граничные условия. Два главных следствия из теории Ми то, что рассеивание показывает более слабую

зависимость от длины волны ($\sim \lambda^{-x}$ с $0,4 \leq x \leq 0,5$) по сравнению с рассеиванием Рэлея ($\sim \lambda^{-4}$) и что рассеивание происходит предпочтительно в прямом направлении. На первый взгляд, кажется, это находится в хорошем согласии с экспериментальными результатами, но экспериментально наблюдаемая зависимость длины волны, немного более сильная, чем объясненная теорией Ми [16]. Поэтому ни одна из теорий не подходит для рассеивающего механизма ткани.

Для решения этой проблемы, вводится функция вероятности $\rho(\theta)$. Она описывает вероятность для фотона, рассеянного под углом θ , и может быть приспособлена к экспериментальным данным. Эту функцию также называют фазовой функцией и обычно нормируют таким образом, что:

$$\frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} \rho(\theta) d\omega = 1 \quad (1.5)$$

где $d\omega$ – телесный угол, то есть $d\omega = \sin(\theta) d\theta d\phi$. Если фазовая функция не зависит от θ тогда, рассеивание – изотропное, то есть равно рассеиванию во всех направлениях; иначе рассеивание является анизотропным. Мера анизотропии выражается коэффициентом анизотропии g , определяющимся как,

$$g = \frac{\int \rho(\theta) \cos(\theta) d\omega}{\int_{4\pi} \rho(\theta) d\omega} \quad (1.6)$$

Для $g = 1$ рассеивание исключительно вперед и для $g = -1$ рассеивание обратное. Для биологической ткани определено, что g колеблется от 0.7 до 0.99 [16], что соответствует углам рассеивания в диапазоне от 8° до 40° и является наиболее частым [16]. Поэтому доминирует прямое рассеивание.

Необходимо определить некоторые безразмерные параметры [16]. Первый – оптическое альбедо, α определяющееся:

$$\alpha = \frac{\mu_s}{\mu_a + \mu_s} \quad (1.7)$$

Этот параметр описывает, как изменяется рассеивание по сравнению с поглощением. Для $\alpha=0$ ослабление происходит исключительно из-за поглощения и для $\alpha = 1$ происходит только рассеивание. Для красных и ближних инфракрасных длин волн в ткани $\alpha > 0.5$ [17]. Второй параметр - оптическая глубина:

$$D = \int_0^s (\mu_a + \mu_s) ds' \quad (1.8)$$

где ds' - участок оптического пути, и s - полная длина оптического пути. Оптическая глубина для красных и инфракрасных длин волн в ткани колеблется от 800 мкм до 1400 мкм [9]. Важно, что эти два параметра являются безразмерными. Информация, содержащаяся в них, такая же, как информация, содержащаяся в μ_a и μ_s . С этими новыми параметрами нормировка фазовой функции выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} \rho(\theta) d\omega = \alpha \quad (1.9)$$

Были предложены несколько теоретических фазовых функций, одна наиболее часто используемая - фазовая функция Генаи-Гринштейн [16],

$$\rho(\theta) = \alpha \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2g \cos(\theta))^{\frac{3}{2}}} \quad (1.10)$$

С помощью этих параметров может быть математически описано прохождение свет через ткань. Это сделано, рассматривая прохождение фотонов через поглощающий и рассеивающий объем. Важно подчеркнуть, что оно имеет эвристический характер, также как не принято во внимание уравнение Максвелла. Величина, описывающая излучение $J(r, s)$ с

единицами измерения $\text{Вт} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{ср}^{-1}$, - основное дифференциальное уравнение, обозначенное как транспортное уравнение [18],

$$\frac{dJ(r, s)}{ds} = -(\mu_a + \mu_s)J(r, s) + \frac{\mu_s}{4\pi} \int_{4\pi} \rho(s, s')J(r, s')d\omega' \quad (1.11)$$

где r обозначает координаты, s, s' обозначает направление, $\rho(s, s')$ - фазовая функция фотона, рассеянного из направления s в направление s' , для симметричного рассеивания на оптической оси $\rho(s, s') = \rho(\theta)$, и $d\omega$ телесный угол. Если мы исследуем контрольный объем, то уравнение будет иметь вид: изменение излучения в данном направлении равно, числу рассеянных фотонов от других направлений в это направление минус поглощение и рассеивание фотонов. Это уравнение может быть решено аналитически, предполагая, что рассеивание доминирует над поглощением таким образом, что $a > 0.5$ [18]. Это уравнение - также начальная точка для того, чтобы делать числовое моделирование распространения фотона, используя методы Монте-Карло.

Глава 2. Пульсоксиметрия

2.1 Принцип работы пульсоксиметрии

Принцип измерения в пульсоксиметрии реализуется на основе спектрофотометрии, то есть измерения поглотительной способности или коэффициента поглощения данного вещества на определенных длинах волн. Полученный спектр, определяет вещество. В пульсоксиметрии используются в основном две длины волны, таким образом, может быть определена концентрация двух различных компонентов.

Степень насыщения кислорода в крови, SO_2 , определяется как отношение концентрации окисленного гемоглобина (HbO_2) к сумме окисленного и не окисленного (Hb) гемоглобина, то есть

$$SO_2 = \frac{C_{HbO_2}}{C_{HbO_2} + C_{Hb}}$$

где C - концентрации. В пульсоксиметрии измеряется только степень насыщения кислородом артериальной крови. Правильная терминология - S_aO_2 .

Должно быть установлено важное различие. Насыщенность, найденная выше, как отношение концентрации HbO_2 к концентрации для Hb и HbO_2 называется функциональной концентрацией кислорода, и это то, что мы определяем с помощью пульсоксиметрии. Однако, есть другие типы гемоглобина в крови, например карбоксигемоглобин ($COHb$) и метемоглобин ($MetHb$). Поэтому также может быть взято отношение между HbO_2 и полным гемоглобином, его называют фрагментной кислородной насыщенностью [4].

Используя только две длины волны в пульсоксиметрии невозможно правильно найти концентрацию Hb и HbO_2 . Толкование пульсоксиметрии - это оценка функциональной артериальной концентрации кислорода и ее следует интерпретировать как "артериальная концентрация кислорода,

измеренная пульсоксиметрией" или S_pO_2 . В общем, мы имеем три термина, обозначающие функциональную насыщенность кислорода в крови:

SO_2 : Насыщенность кислорода в крови

S_aO_2 : Насыщенность кислорода в артериальной крови,

S_pO_2 : Насыщенность кислорода в артериальной крови, измеренная пульсоксиметрией.

Есть два разных понятия при недостатке кислорода в дыхательном процессе. Первое называют гипоксией, она означает низкое кислородонасыщение ткани и относится к состоянию, когда способность клеток поглощать кислород подвергнута опасности. Гипоксия не может быть обнаружена пульсоксиметрией. Второе – гипоксемия, она означает низкое кислородонасыщение крови, и может быть обнаружена пульсоксиметрией.

Поглощение света зависит от длины пути и концентрации вещества. В крови эти параметры изменяются все время из-за работы сердца. Если мы рассмотрим одиночный удар сердца, который накачивает кровь из сердца в сосуды, то при этом увеличенное давление является причиной расширения сосудов, создавая место для большего количества крови, поэтому поглощение света увеличивается. При каждом ударе сердца наблюдается уменьшение амплитуды сигнала. В артериальных сосудах происходят непрерывные изменения концентрации дезоксигемоглобина и окисленного гемоглобина. Кровь, прибывающая от сердца богата окисленным гемоглобином. Поэтому после того, как возникли удары пульса, концентрация окисленного гемоглобина высока. В интервале между ударами пульса кислород используется в дыхательном процессе, тем самым вызывая уменьшение концентрации окисленного гемоглобина и увеличение не окисленного гемоглобина. Это изменение не очень большое и поэтому не вызывает интереса при обычном применении пульсоксиметрии. В этом случае важно знать, что у пациента имеется достаточный уровень кислорода в крови в стационарном состоянии.

Рисунок 2.1 показывает оптическое измерение сердечного ритма, которое называют фотоплетизмограммой, где “фото” обозначает, использование оптического метода, а плетизмограмма, что изменения вызваны разным значением объема (здесь кровеносных сосудов) из-за кровяного давления. В сердечном цикле, диастола - точка, где сердце расслаблено, и кровь течет в сердечные камеры, систола – реальное сокращение сердца, мускулы которого, сокращаясь, выталкивают кровь в тело. Как показано на рисунке есть несколько вкладов в спектральную поглощательную способность: кожа, ткань, кости создают постоянную спектральную поглощательную способность вместе с венозной кровью и не пульсирующей артериальной кровью, мы обозначим это как постоянный DC уровень. Переменный сигнал, из-за которого пульсирует кровоток, мы обозначим AC. В минимумах на графике поглощение низкое и зарегистрированный сигнал (который мы будем называть T_{dia}) высокий. Это соответствует диастоле в сердечном цикле.

Когда поступление кислорода к телу сокращается, требуется 15 - 120с прежде, чем это может быть обнаружено пульсоксиметрией в зависимости от размеров участка [6]. Эта задержка представляет время, которое требуется организму, чтобы использовать кислород в крови. Так как эти времена больше чем интервал между двумя ударами пульса $\leq 1с$, использование кислорода между ударами пульса ограничено.

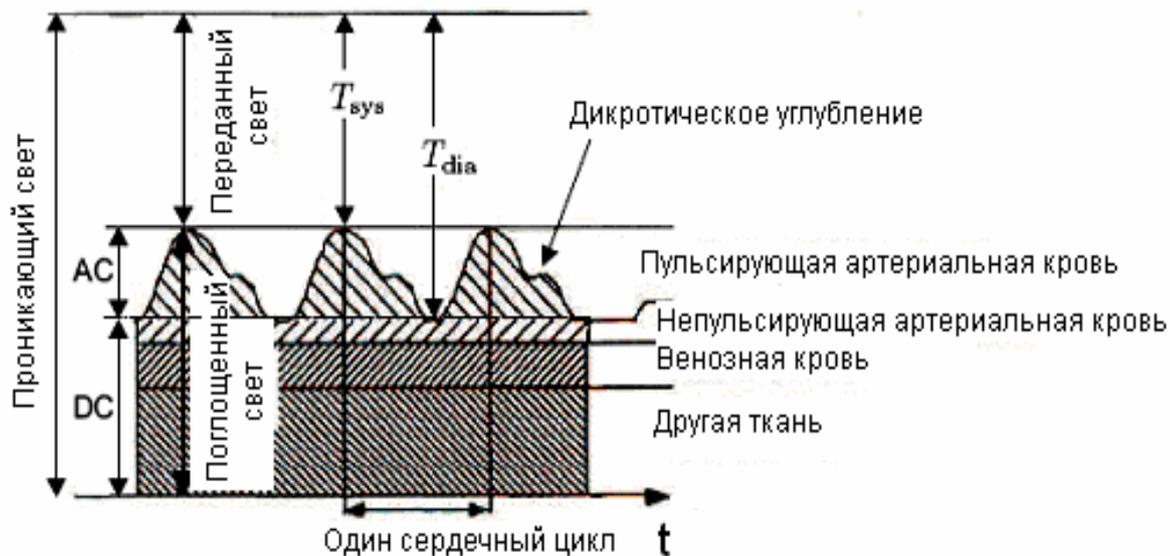


Рисунок 2.1 - Схематическая иллюстрация фотоплетизмограммы. Сигнал инвертирован по сравнению с сигналом от фотодетектора для наглядности.

От диастолы поглощение быстро увеличивается до максимума, и коэффициент прохождения уменьшается до минимума (обозначим T_{sys}). Это соответствует систоле в сердечном цикле. От этой точки спектральная поглощательная способность уменьшается более медленно. В отличие от предшествующего увеличения наблюдается небольшой спад, его называют дикротическим углублением. Это возникает, из-за того, что сердце состоит из четырех камер и поэтому создает двойное биение. Сигнал пульсоксиметрии показан на рисунке 2.1 это именно то, что мы ожидаем увидеть. Причина этому - изменения на графике, происходящие из-за поглощения, которые не зависят от местоположения фотодетектора. Однако из-за рассеивания величины прошедшего и отраженного сигналов будут разными, так как свет рассеивается преимущественно в переднем направлении. Изменение в спектральной поглощательной способности света полностью происходит из-за увеличения оптической длины пути во время систолы. Если бы отклонение в диаметре было единственной причиной, то изменение было бы меньше [5]. Также вклад в спектральную поглощательную способность вносят изменения в ориентации красных кровяных клеток как показано на

рисунке 2.2 [5]. Красные кровяные клетки сформированы как двояковогнутый диск. Во время диастолы их главная ось становится параллельной кровотоку, но во время систолы направление ориентации перемещается так, что их главная ось становится перпендикулярной направлению кровотока, т.о. приспособляясь к разному давлению (кровяное давление выше в систоле по сравнению с диастолой).

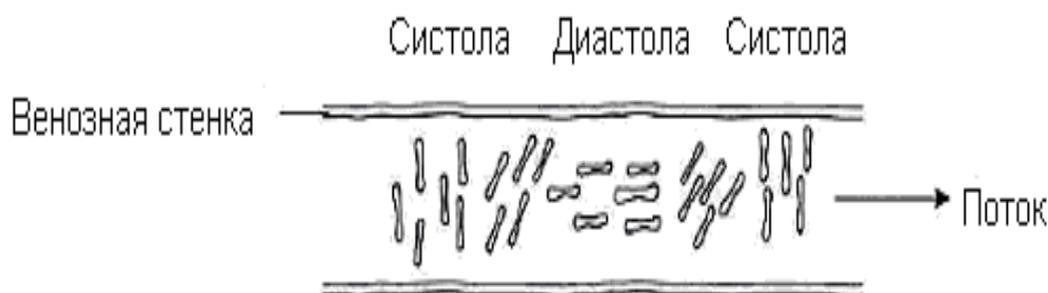


Рисунок 2.2 Изменение ориентации красных кровяных клеток. Во время систолы они выровнены перпендикулярно к направлению потока, делающего оптический путь длиннее, что приводит к увеличенной спектральной поглощательной способности.

При высоком давлении - энергетически благоприятно иметь главную ось, выровненную перпендикулярно, чтобы вызвать изменение давления. Поэтому оптическая длина пути возрастает, как показано на рисунке, вызывая увеличение поглощения.[4].

Современная пульсоксиметрия была изобретена Такуо Аояги в 1971 [4, 19]. Он понял, что из-за различия в спектре поглощения окисленного и не окисленного гемоглобина можно измерить насыщенность кислорода, в гемоглобине, используя пульсирующее изменение, в переданном свете, для выделения артериального вклада.

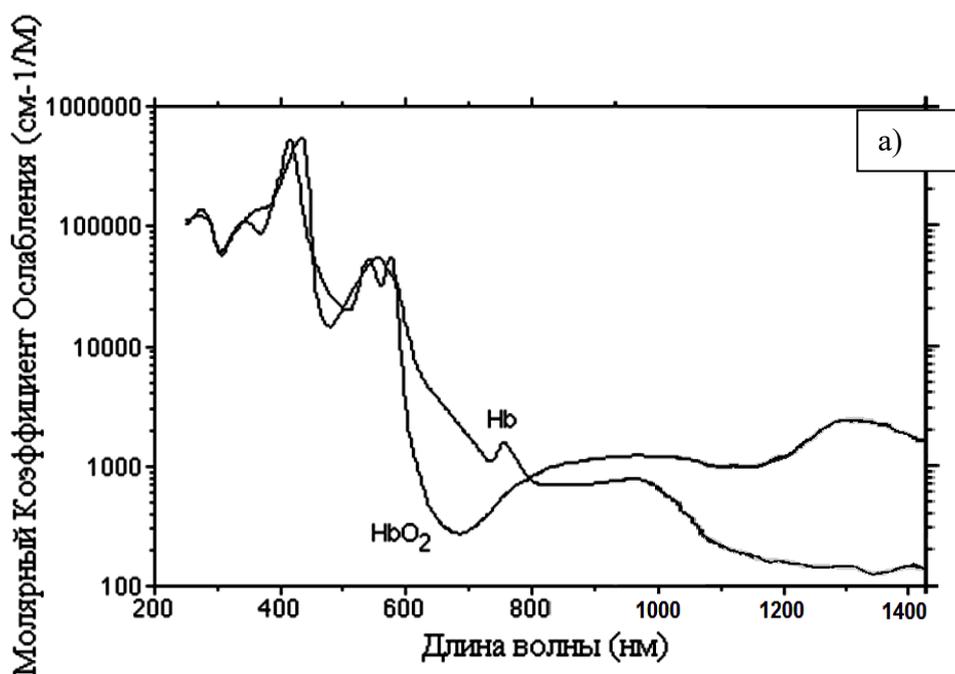
Рисунок 2.3 показывает спектры поглощения не окисленного (Hb) и окисленного гемоглобина (HbO₂) для длин волн в "тканевом окне" и отношение между ними. Спектры поглощения для Hb и HbO₂ разные, точка пересечения кривых в 805 нм. В ней коэффициенты поглощения равны. Для длин волн ниже, чем 805 нм в данном диапазоне, Hb - самый сильный поглотитель, и для длин волны выше, чем 805 нм HbO₂ - самый сильный

поглотитель. Рисунок 2.3 (b) показывает отношение пиков в ~ 660 нм, эта – особенность станет важной позже.

Эти два графика иллюстрируют основной физический принцип импульсной оксиметрии. Различие в коэффициенте поглощения для Hb и HbO₂ позволяет найти насыщенность кислорода, изучая фотоплетизмограмму для двух различных длин волн.

Ткань – это среда со значительным рассеиванием. Свет рассеивается во всех направлениях, но главным образом в направлении падения [16].

Однако вместо измерений в направлении падения света мы можем также измерить обратно рассеянный свет. В этом случае мы регистрируем обратно рассеянный свет и свет, отраженный от поверхности кожи ввиду различия коэффициентов преломления воздуха и ткани. Пульсоксиметр, работающий в таком режиме, называется отражательным и имеет очевидное большое преимущество, так как требует только одной поверхности.



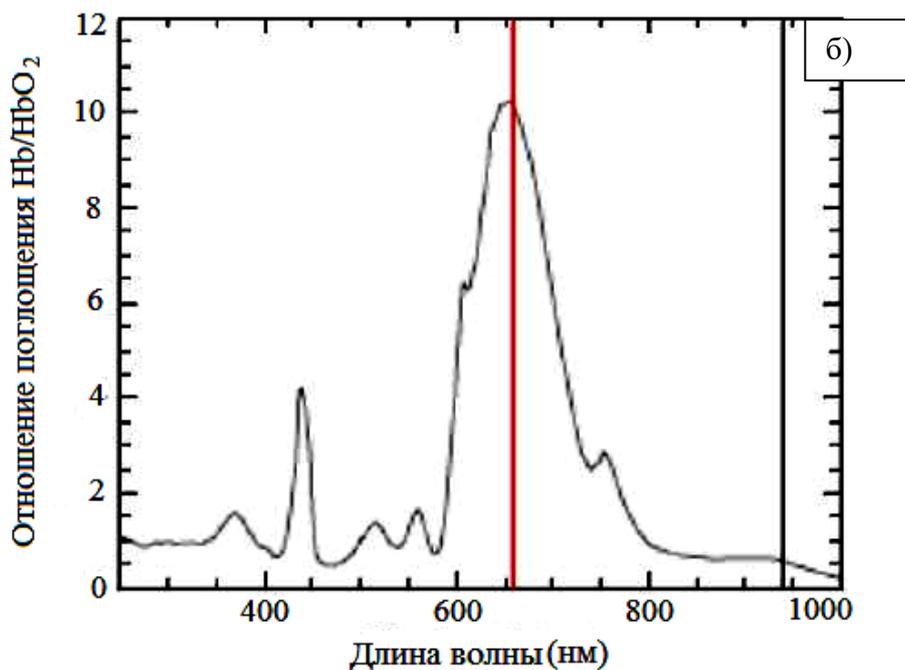


Рисунок 2.3 - Спектры поглощения для неоxygenного (Hb) и oxygenного гемоглобина (HbO₂). Видно, что для длин волн ниже чем 805 нм Hb, более сильный поглотитель чем HbO₂ в длинах волн выше чем 805 нм наоборот. Отношение между коэффициентами поглощения показаны на графике (б). Две линии, выделенные на графике, соответствуют 660 нм и 940 нм.

Известно, что ткань может быть разделена на различные слои, которые имеют различные оптические свойства, и поэтому поглощают и рассеивают различное количество света. Изменение спектральной поглотительной способности в течение времени происходит в слоях, которые хорошо пронизаны маленькими кровеносными сосудами. С точки зрения проектирования отражательного пульсоксиметра важно поместить датчик на таком расстоянии от источника света, чтобы зарегистрировать максимальное количество обратно рассеянного излучения. Вследствие малого отношения сигнал-шум для отражательного пульсоксиметра, он развит менее широко и применяется в тех случаях, когда пульсоксиметр нахождение применить затруднительно. Самое важное применение для отражательного пульсоксиметра – это контролирование насыщенности кислородом плода, особенно во время акушерского периода и измерение кислородной насыщенности в раковых опухолях.

2.2 Определение насыщения по фотоплетизмограммам

Кислородная насыщенность может быть найдена, если взять отношение двух фотоплетизмограмм, зарегистрированных при двух различных длинах волн. Кислородная насыщенность - функция физически измеренных величин, это функциональная зависимость, поэтому необходима калибровка инструмента. Существует несколько теоретических подходов, основанных на законе поглощения Ламберта-Бира, транспортное уравнение фотона и моделирование методом Монте-Карло. Однако не существует достаточно точных моделей, чтобы снять необходимость в эмпирической калибровке [4,5]. Калибровка, основанная на законе Ламберта-Бира, обеспечивает хорошее понимание физики и иллюстрирует основные ступени в обработке сигнала.

Закон Ламберта-Бира предполагает, что свет является монохроматическим и что среда является гомогенной и изотропной. Кровь не удовлетворяет этим условиям, поэтому закон Ламберта-Бира дает только грубую оценку калибровки. Моделирование света, попадающего в ткани, не тривиально из-за мутной природы ткани, негомогенной структуры кожи и основной ткани, и многих рассеивающих центров, которые увеличивают спектральную поглощательную способность. [16, 4]. Как мы видели выше, спектральная поглощательная способность не только изменяется как функция длины пути, но также и как функция изменения в оси эритроцитов. Учет отражений от кожи, костей и других частей тела может быть сделан при использовании только пульсирующего компонента.

Известно, что ткань рассеивает свет в основном в прямом направлении. Для получения коэффициента отражения импульсной оксиметрии, мы интересуемся интенсивностью обратного рассеивания как функцией времени. Изменения во времени происходят из-за поглощения света в ткани. Эти изменения во времени будут отражены в интенсивности прямого рассеивания и в интенсивности обратного рассеивания то есть когда

поглощение будет высоким обе интенсивности, переданные через кожу, и отраженные назад изнутри ткани будут низкими. Далее будем рассматривать коэффициент пропускания в направлении падения, как его описывает закон Ламберта-Бира.

Закон Ламберта-Бира определяет, что интенсивность света, прошедшего через среду, экспоненциально уменьшается с расстоянием. Интенсивность с другой стороны среды T таким образом определяется, как

$$I = I_0 \exp(-\varepsilon C d) \quad (2.1)$$

где I_0 - интенсивность падающего света, ε - молярный коэффициент ослабления с единицей измерения $\text{мМ}^{-1}\text{см}^{-1}$, c - концентрация поглощенного вещества, и d - оптическая длина пути через среду. Если ε и C являются постоянными тогда, прохождение это функция оптической длины пути то есть $I(d)$ спектральная поглощательная способность A , тогда определяется как,

$$A = -\ln \frac{T}{I_0} = \varepsilon C d \quad (2.2)$$

В случае большого числа поглотителей уравнение будет суперпозицией для каждого поглотителя.

Закон Ламберта-Бира можно выразить, используя коэффициент поглощения μ_a . Они связаны таким образом, что:

$$\varepsilon C = \mu_a + \mu_s$$

Молярный коэффициент ослабления находится экспериментально.

Когда свет проходит через ткань, интенсивность прохождения изменяется между максимумом в диастоле T_{dia} и минимумом в систоле T_{sys} , это можно увидеть на графике 2.2. В диастоле интенсивность определяется

$$T_{dia} = I_0 \exp(-\varepsilon_{DC} C_{DC} d_{DC}) \exp(-(\varepsilon_{HbO_2} C_{HbO_2} + \varepsilon_{Hb} C_{Hb}) d_{dia}) \quad (2.3)$$

где DC относится к спектральной поглощательной способности кожи, костей, ткани и т.д. Эта спектральная поглощательная способность является

постоянной. В систоле единственное различие в этом выражении - изменение в оптической длине пути. Тогда, коэффициент пропускания определяется

$$T_{SYS} = I_0 \exp(-\varepsilon_{DC} C_{DC} d_{DC}) \exp(-(\varepsilon_{HbO_2} C_{HbO_2} + \varepsilon_{Hb} C_{Hb}) d_{SYS}) \quad (2.4)$$

В пульсоксиметрии коэффициент прохождения измеряется как функция времени для двух различных длин волн. Спектральная поглощательная способность компонента DC (кожа, ткань и кости), чувствительность фотодетектора, и испускаемая интенсивность от источников света изменяется для различных длин волн. Чтобы обеспечить это, интенсивность прохождения должна быть нормирована относительно максимального коэффициента пропускания, то есть коэффициента пропускания в диастоле для каждой из этих двух длин волн, таким образом

$$T_N = \frac{T}{T_{dia}} \quad (2.5)$$

где T - интенсивность прохождения как в уравнении (2.1),

Во время одного сердечного цикла оптическая длина пути d , изменяется от d_{dia} до d_{sys} . Заменяя d_{SYS} на $d_{dia} + \Delta d$ в уравнении (2.4) и деля на T_{dia} как описано в уравнении (2.3), чтобы получить нормированный систолический коэффициент прохождения, мы получаем

$$T_{N,SYS} = \exp(-(\varepsilon_{HbO_2} C_{HbO_2} + \varepsilon_{Hb} C_{Hb}) \Delta d) \quad (2.6)$$

Этот коэффициент прохождения эквивалентен коэффициенту прохождения, если только поглотители были компонентами AC. Отношение между нормированным коэффициентом прохождения для красного (r) света $T_{N,r}$ и инфракрасного (ir) света $T_{N,ir}$, изменяется только как функция поглотителей в артериальной крови (компонент AC) то есть не зависит от оптической длины пути. Согласно уравнению (2.2), мы имеем для артериальной крови

$$R_{OS} = \frac{\ln T_{N,SYS,r}}{\ln T_{N,SYS,ir}} = \frac{A_r}{A_{ir}} \quad (2.7)$$

где A_r - поглощение красного света, A_{ir} - поглощение инфракрасного света переменной компонентой АС. Используя второе равенство и выражение спектральной поглощательной способности, как функцию артериальной кислородной насыщенности позволяет нам найти выражение SaO_2 как функцию отношения, R_{os} измеренной интенсивности для этих двух длинах волн.

Мы получаем для артериальной крови следующее:

$$C_{HbO_2} = S_a O_2 (C_{HbO_2} + C_{Hb}) \quad (2.8)$$

Таблица 2.1 - В таблице представлены молярные коэффициенты ослабления для Hb и HbO₂ при 660 нм и 940 нм [5].

Длина Волны (нм)	ϵ_{Hb} (мМ ⁻¹ см ⁻¹) ¹⁾	ϵ_{HbO_2} (мМ ⁻¹ см ⁻¹) ¹⁾
660	0.81	0.08
940	0.18	0.29

Подобным образом концентрация Hb может быть записана как,

$$C_{Hb} = (1 - S_a O_2)(C_{HbO_2} + C_{Hb}) \quad (2.9)$$

Используя уравнение (2.2) и принцип суперпозиции полное нормализованное поглощение HbO₂ и Hb при одной определенной длине волны можно определить, как:

$$A = (\epsilon_{HbO_2} C_{HbO_2} + \epsilon_{Hb} C_{Hb}) \Delta d \quad (2.10)$$

Дополняя для двух концентраций получим:

$$\begin{aligned} A &= (\epsilon_{HbO_2} S_a O_2 (C_{HbO_2} + C_{Hb}) + \epsilon_{Hb} (1 - S_a O_2) (C_{HbO_2} + C_{Hb})) \Delta d \\ &= (\epsilon_{HbO_2} S_a O_2 + \epsilon_{Hb} (1 - S_a O_2)) (C_{HbO_2} + C_{Hb}) \Delta d \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$(2.12)$$

Взяв отношение поглощения красной и инфракрасной длин волн, и используя уравнение (2.7) получим:

$$R_{OS} = \frac{A_r}{A_{ir}} = \frac{\varepsilon_{r,HbO_2} S_a O_2 + \varepsilon_{r,Hb} (1 - S_a O_2)}{\varepsilon_{ir,HbO_2} S_a O_2 + \varepsilon_{ir,Hb} (1 - S_a O_2)} \quad (2.13)$$

Что позволяет исключить d . Молярные коэффициенты ослабления различны в красных и инфракрасных длинах волн, это соответственно обозначено r и ir . После небольших расчетов мы получили:

$$S_a O_2 (R_{OS}) = \frac{\varepsilon_{r,Hb} - \varepsilon_{ir,Hb} R_{OS}}{\varepsilon_{r,Hb} - \varepsilon_{r,HbO_2} + (\varepsilon_{ir,HbO_2} - \varepsilon_{ir,Hb}) R_{OS}} \quad (2.14)$$

где мы указали, что определяемая артериальная кислородная насыщенность - функция R_{OS} , поэтому мы обратимся к R_{OS} как к некалиброванной кислородной насыщенности. Это уравнение, где мы имеем в виду, что определяемая артериальная кислородная насыщенность - функция R_{OS} , поэтому называем R_{OS} - некалиброванная кислородная насыщенность. Это уравнение, на графике 2.4, выражено как функция R_{OS} для коэффициентов ослабления Hb , перечисленных в таблице 2.1. График показывает, что модель имеет активный диапазон от $R_{OS}=0.3$ ко $R_{OS}=4.5$. Для здорового человека насыщение $> 95\%$ [4], поэтому в экспериментах R_{OS} должна быть <0.5 .

Из этой модели мы увидели, что необходимая обработка сигнала заключается в следующем: после регистрации двух фотоплетизмограмм для двух различных длинах волн, прежде всего, нужно разделить сигналы, если они записаны, используя тот же самый фотодетектор, затем найти интенсивность в диастоле и систоле и нормализовать относительно диастолы для обеих длин волн. Наконец должны быть взяты логарифм и отношение.

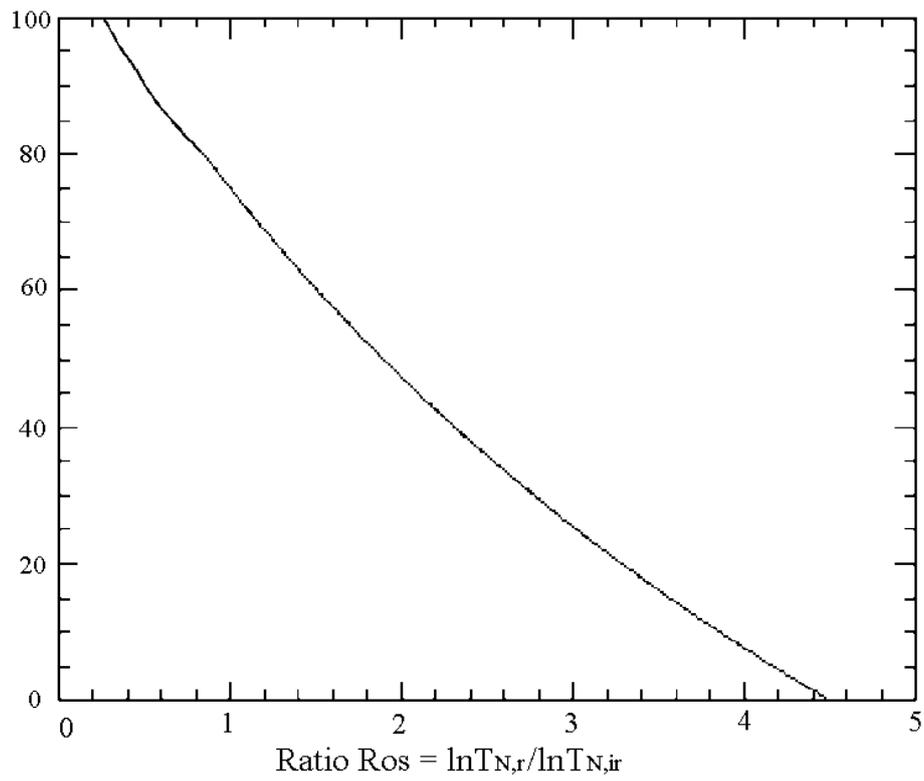


Рисунок 2.4: Теоретическая кривая калибровки, полученная согласно закону Ламберта-Бира.

Глава 3. Разработка импульсного оксиметра на отражение

3.1 Принцип работы устройство

На кафедре ПФ ФТИ ТПУ разработан макет пульсоксиметра на отражение. Блок-схема пульсоксиметра показана на рисунке 3.1.

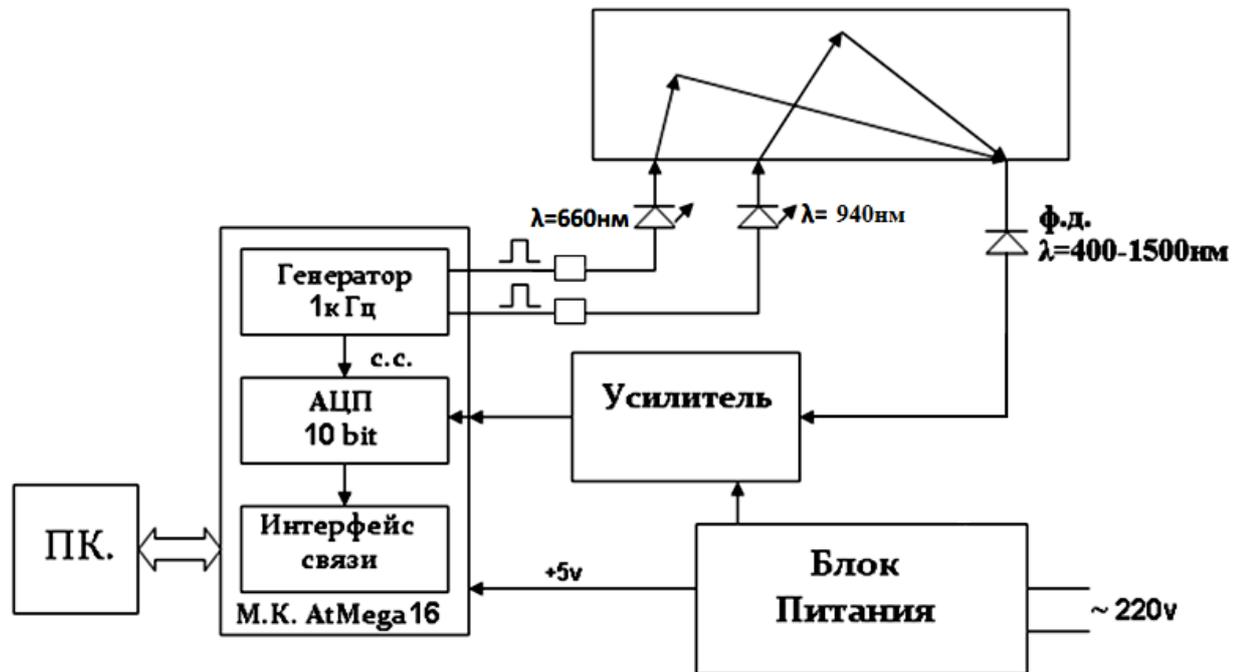


Рисунок 3.1 - Блок схема пульсоксиметра.

Прибор состоит из оптического преобразователя, приемной части и системы сбора и обработки данных. Основным управляющим элементом является микроконтроллер Atmega16. Сигнал обрабатывается 10 разрядным АЦП. Каждый светодиод управляется через мультиплексор. Основной целью является извлечь переменный сигнал с помощью исключения его постоянной части. Эта задача выполняется с помощью операционного усилителя .

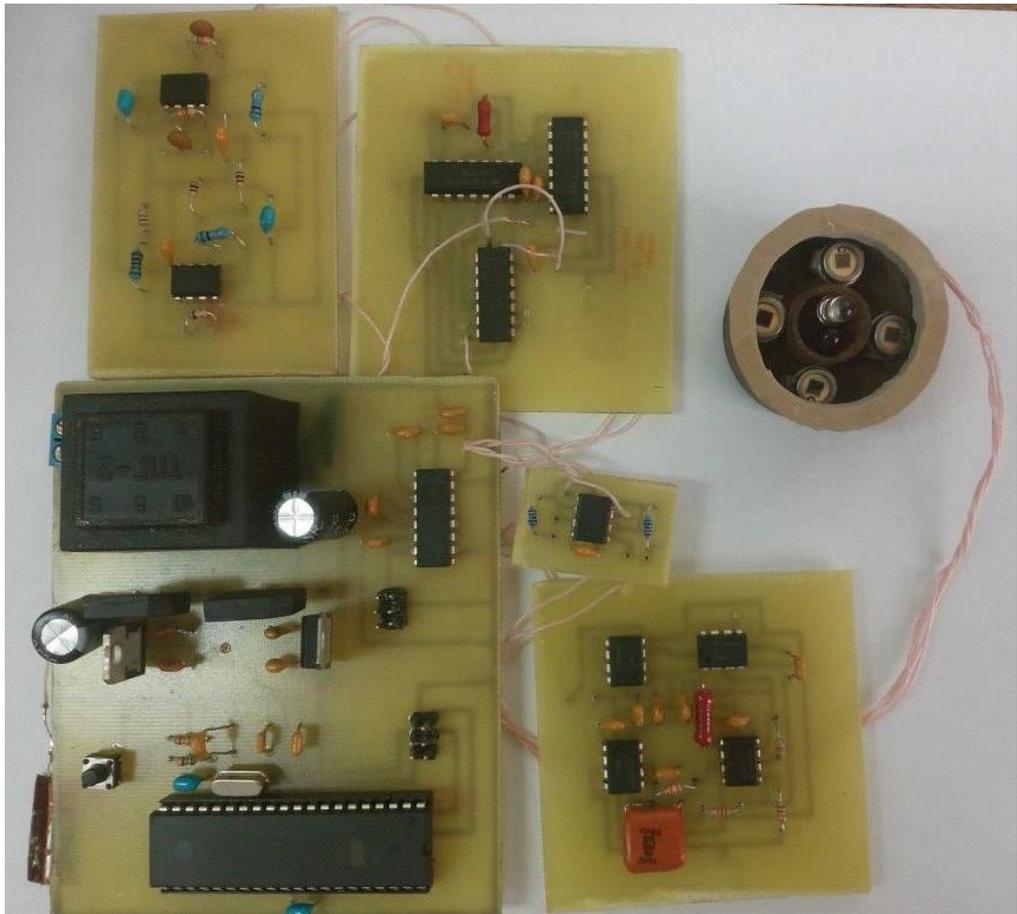


Рис.3.2.Макет импульсного оксиметра на отражение

Качество красного светодиода должно быть хорошим, то есть ширина линии должна быть достаточно узкой в области 660 нм, так как у отношения окисленного и неокисленного гемоглобинов есть пик в 660 нм, тогда как требования для инфракрасного источника более мягче, из-за того, что отношение в этой части спектра постоянно, как показано на рисунке 2.3 (b).

Кремниевые рп-диоды в этом случае хороший выбор. Для исследования коэффициента отражения использовался фотодиод BPW20RF.



Рисунок 3.3 – Внешний вид фотодиода BPW20RF

Особенностью являются высокая чувствительность, высокая надежность, высокая линейность. Фотодиоды этого типа применяются как аналитическое оборудование и оборудование для оптических измерений.

Его характеристики показаны в таблице 4.1.

Таблица 3.1. В таблице отображены технические требования для фотодиода, использованного в установке

	BPW20RF
Площадь (мм ²)	5.7
Длина волны в пике чувствительности (нм)	1100
Чувствительность (A/W)	0.6
Квантовая эффективность, η	N/A

У этого фотодетектора большая активная область и высокая чувствительность, которая важна для обнаружения сигнала приемлемой величины (μA). Квантовая эффективность – число падающих фотонов, которые производит фотоэлектрон, соответствующий фототоку к общему количеству падающих фотонов.

3.2 Управление светодиодами

В настоящей установке светодиоды управляются напряжением. Тогда интенсивность испускаемого света имеет экспоненциальную зависимость от напряжения.

$$I(V) = I_S \exp\left(-\frac{eV}{k_B T}\right) \quad (3.6)$$

где I_S – ток обратного насыщения диода, e - заряд электрона, V приложенный потенциал, k_B - константа Больцмана, и T - температура. Преимущество, использования этого метода состоит в том, что это позволяет быстро и легко изменять интенсивность излучения. Инфракрасный свет имеет наименьшее прямое смещение (20 мА) $\approx 1.2 \text{ В}$. Изменение в токе от 20 мА до 10 мА соответствует изменению в напряжении 40 мВ .

Схема цепи показана на рисунке 3.5.

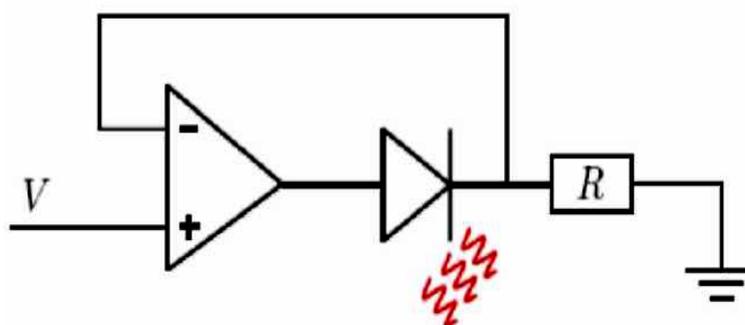


Рисунок 3.4 - Схема питания светодиода.

Принцип работы заключается в том, что усилитель старается удерживать потенциалы входов равными, таким образом, изменение напряжения на неинвертирующем входе будет передаваться в точку после диода. У усилителя очень высокое входное сопротивление (в идеале бесконечность), таким образом, ток в обратной связи равен нулю. Поэтому

ток через диод такой же, как ток через резистор и применяя закон Ома, мы находим, что поток определяется $I = V/R$. Огромное преимущество этого метода вместо метода напряжения состоит в том, что током теперь линейно управляет приложенное напряжение. Температурные зависимости в светодиоде становятся незначительными, так как усилитель будет непрерывно приспосабливаться к току, определяемому резистором, это означает, что ток будет таким же даже когда светодиод нагрет, например пальцем, который обычно приводил бы к изменению в токе как видно из закона диода (3.7).

Схема датчика показана на рис.3.5.

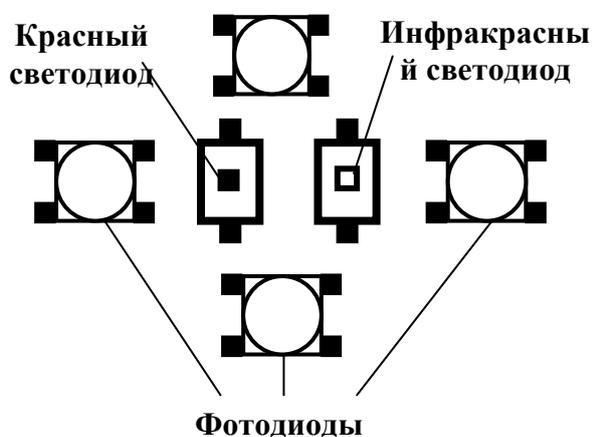


Рисунок 3.5 – Схема расположение светодиодов и фотодетектора.



Рисунок 3.6 – Внешний вид датчика (расположение светодиодов и фотодиодов)

4. Экспериментальная часть

4.1 Обработка фотоплетизмографических сигналов

4.1.1 Характеристики зарегистрированных фотоплетизмограмм

Рисунок 4.1 показывает типичную фотоплетизмограмму. Измеренная величина это напряжение на выходе усилителя, но на графике показан ток, полученный делением напряжения на коэффициент усиления. Ясно видно изменение из-за кардиореспираторного ритма. Изменение сигнала от максимума до минимума отражает сердечный удар, это означает, что больше крови накачано в ткань и поглощение увеличивается, поэтому уменьшается сигнал на фотодетекторе. Маленький пик на графике после снижения удара пульса - дикротическая впадина, которая возникает из-за особенности работы сердца (Сердце имеет четыре камеры и действительно делает двойной удар; однако, мы обычно рассматриваем только частоту главного удара пульса). График также показывает, что отношение сигнал/шум небольшое и равно 5. Усреднение значительно уменьшит шум без существенного искажения, это - красная линия на графике, где отношение сигнал/шум было улучшено до ≈ 160 . Важно отметить, что шум происходит не только из-за электрического шума, но также и из-за внешних источников, например изменения тела, электромагнитных полей и т.д.

Пульс измерен как обратная величина времени между двумя последовательными максимумами красного и инфракрасного сигналов. Чтобы найти кислородную насыщенность, необходимы оба сигнала и должна быть найдена величина сигнала в систоле, и диастоле.

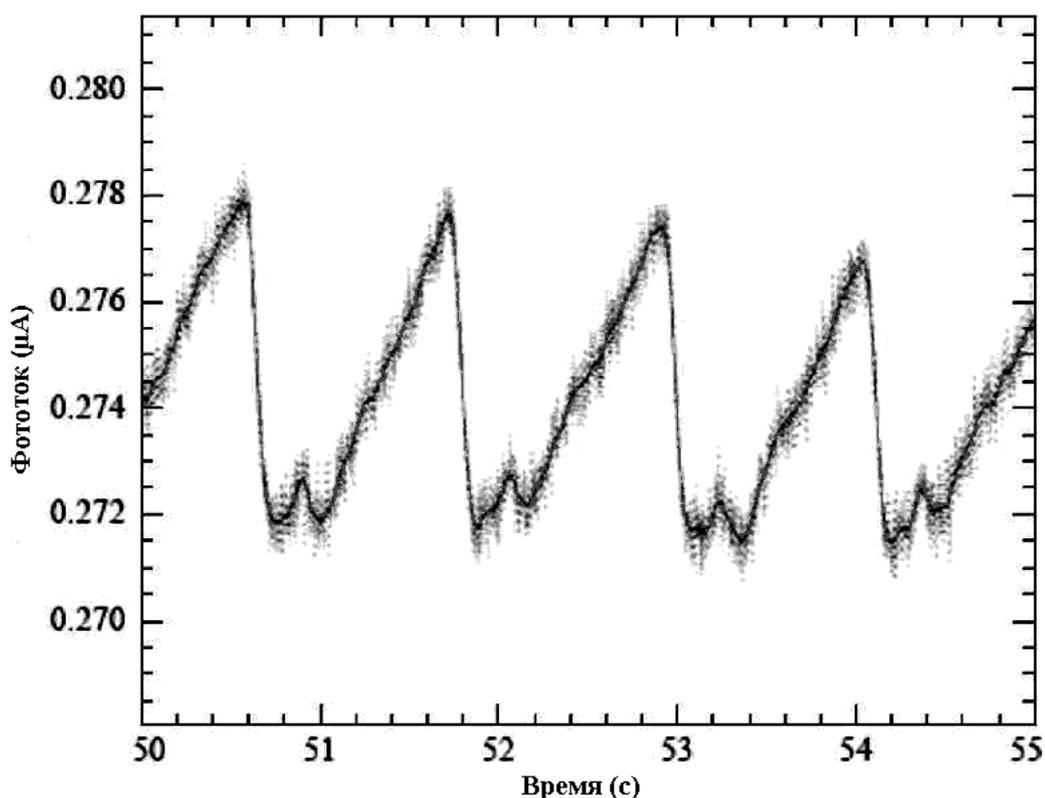


Рисунок 4.1 - Фотоплетизмограмма с красным светодиодом.

4.1.2 Фильтр с плавающим окном для понижения шума

Для улучшения отношения сигнал/шум, необходима цифровая фильтрация. Фильтры могут быть разделены на несколько групп, например низкочастотный, высокочастотный, полосовой, и т.д. Фотоплетизмографический сигнал низкочастотный, тогда как шум - широкополосный, но с существенным вкладом от высокочастотного шума операционного усилителя.

Свет испускает фотоны и поэтому квантуется с неопределенностью в энергии. Неопределенность описывается распределением Пуассона, которое приводит к отклонению, пропорциональному квадратному корню от среднего числа фотонов. Отношение сигнал/шум определяется как отношение между средним числом фотонов, полученных за данный период времени, таким образом:

$$\frac{S}{N} = \frac{\langle n \rangle}{\sqrt{\langle n \rangle}} = \sqrt{\langle n \rangle} \quad (4.1)$$

где $\langle n \rangle$ среднее число фотонов. Фильтр с плавающим окном является низкочастотным и полоса его пропускания определяется числом использованных точек. Чем больше число точек, тем меньше шум; однако, детали в сигнале будут также уменьшены или искажены.

Необходимое число точек, которые будут использоваться в фильтре с плавающим окном, может быть определено, улучшением отношения сигнал/шум по сравнению с искажением сигнала. Для типичной регистрации, описанной выше с частотой образца 1000 Гц, число точек, используемых в фильтре с плавающим окном варьировалось от 1 до 300. Методом подбора было найдено, что 50 точек является оптимальным значением.

Фильтр с плавающим окном имеет хорошее физическое обоснование и легко реализуется программно. С целью фильтрации шума можно рассмотреть другие фильтры. Например, один из альтернативных фильтров - фильтр Фурье, где выбранные диапазоны частот исключаются. Этот тип фильтра удаляет некоторые шумовые компоненты полностью, в то время как другие шумовые компоненты оставляет нетронутыми. Так как у шума действительно есть большой компонент белого шума, то фильтр должен быть способен работать в широкой полосе пропускания.

4.1.3 Вычисление нормированного переменного сигнала (AC)

Переменная часть сигнала определяется как средняя разница между максимумом и минимумом для последовательного числа периодов. Это можно измерить, найдя средний максимум и средний минимум, то есть:

$$AC = \frac{1}{N} \sum_i^N (I_{i,high} - I_{i,low}) = \frac{1}{N} \sum_i^N I_{i,high} - \frac{1}{N} \sum_i^N I_{i,low} \quad (4.2)$$

где N - число максимумов и минимумов, использованных в вычислении, I - "высокий" и "низкий" сигнал, использованный для определения максимума в диастоле и минимума в систоле. Для нормального пульса соответствует - 10 сек.

Чтобы получить точное определение кислородного насыщения, важно иметь высокое отношение между частью сигнала AC и частью DC сигнала. Так как DC плохо определен, AC нормализован относительно "высокого" уровня, т. е. в диастоле.

Отношение сигнал AC/шум более интересно, чем отношение сигнал/шум. Определив часть сигнала AC и шум, можно вычислить отношение сигнал AC/шум. Также важно получить это отношение настолько высоким, насколько возможно, так как это окажет прямое влияние на неопределенность в вычислении для некалиброванной кислородной насыщенности (R_{OS}).

4.1.4 Нахождение кислородной насыщенности

Для нахождения кислородной насыщенности используется закон Ламберта-Бира, как функция некалиброванной кислородной насыщенности R_{OS} . Величина R_{OS} найдена непосредственно из измеренной интенсивности. Из уравнения (3.8) некалиброванная кислородная насыщенность находится как,

$$R_{OS} = \frac{\ln\left(\frac{Re d_{low}}{Re d_{high}}\right)}{\ln\left(\frac{IR_{low}}{IR_{high}}\right)} \quad (4.3)$$

где мы использовали переменные "красный" и "инфракрасный", так как они могли быть также током или напряжением и т.д. Измеренный параметр

пропорционален воздействию от фотодетектора - взятие отношения исключает фактор пропорциональности. В этой установке измерено напряжение.

Высокие и низкие индексы соответственно указывают на высокий уровень в диастоле и низкий уровень в систоле на фотоплетизмограмме. Высокий уровень был найден, вычислением среднего числа 8 последовательных максимумов на фотоплетизмограмме. Низкий уровень был найден, вычислением подобного среднего числа соответствующих минимумов. Восемь периодов соответствуют ~ 10 сек с нормальным пульсом. Экспериментально было установлено, что с этим периодом, возможно, найти участок на фотоплетизмограмме (с продолжительностью 60 сек), где уровень сигнала DC не будет изменяться из-за незначительных телодвижений.

Некалиброванная мера кислородной насыщенности означает то, что фактическая насыщенность не может быть определена. Чтобы получить хорошую калибровку, должны быть проведены клинические испытания.

4.1.5 Расчет неопределенности для R_{OS}

Точность некалиброванного параметра R_{OS} является существенной для точности всего датчика, который также включает неопределенность от калибровки. Параметр R_{OS} - функция четырех независимых величин. Неопределенность определяется как стандартное отклонение от прямой линии поэтому, неопределенность одинакова и для максимума и для минимума.

Получая неопределенность для каждой переменной, неопределенность для R_{OS} может быть найдена при помощи закона накоплений неопределенностей [48], который записывается:

$$\delta q = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial q}{\partial x_i} \right)^2} \quad (4.4)$$

для функции $q(x_1, x_2, \dots, x_i)$. Применяя это выражения к уравнению (4.3) находим неопределенность для вычисления R_{OS} результат получается:

$$\delta R_{OS} = \left[\left(\frac{\delta Red_{low}}{Red_{low} \ln \left(\frac{IR_{low}}{IR_{high}} \right)} \right)^2 + \left(\frac{\delta Red_{high}}{Red_{high} \ln \left(\frac{IR_{low}}{IR_{high}} \right)} \right)^2 + \left(\frac{\delta IR_{low} \ln \left(\frac{Red_{low}}{Red_{high}} \right)}{IR_{low} \ln \left(\frac{IR_{low}}{IR_{high}} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{\delta IR_{high} \ln \left(\frac{Red_{low}}{Red_{high}} \right)}{IR_{high} \ln \left(\frac{IR_{low}}{IR_{high}} \right)^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.5)$$

где $\delta Red_{low} = \delta Red_{high}$ шум, согласно стандартному отклонению от прямой линии как описано выше для красной фотоплетизмограммы, и $\delta IR_{low} = \delta IR_{high}$ - шум для инфракрасной фотоплетизмограммы, определенный тем же способом.

4.2 Результаты исследования

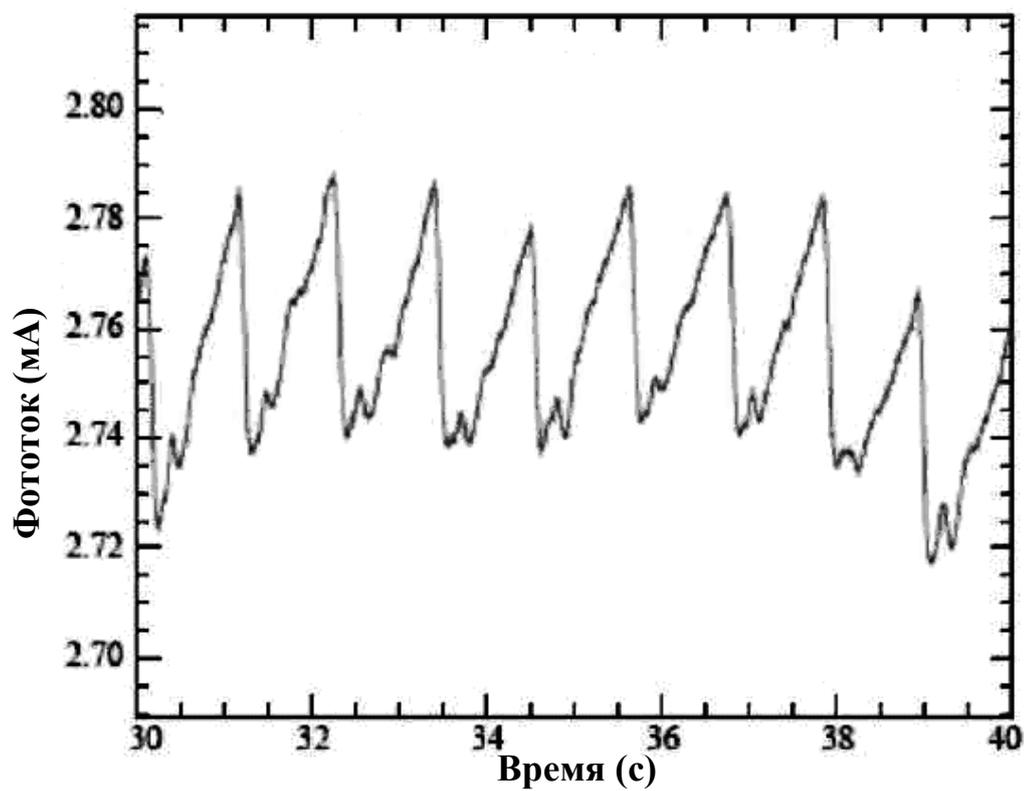
Были выполнены несколько экспериментов для изучения конструкции, испытания воспроизводимости и способности измерения изменений в кислородной насыщенности. Важные результаты - управление током светодиода и определение расстояния между источниками света и фотодетектором. Оба эти параметра крайне важны для проектирования импульсного оксиметра на отражение.

Фотоплетизмограммы для красного и инфракрасного светодиода показаны на графике 4.2. Рисунок (а) и (б) показывает процесс всего времени записи. Из-за сердцебиения ясно видна часть АС сигнала и дикротическая впадина. Также видна низкочастотная составляющая "изменений сигнала

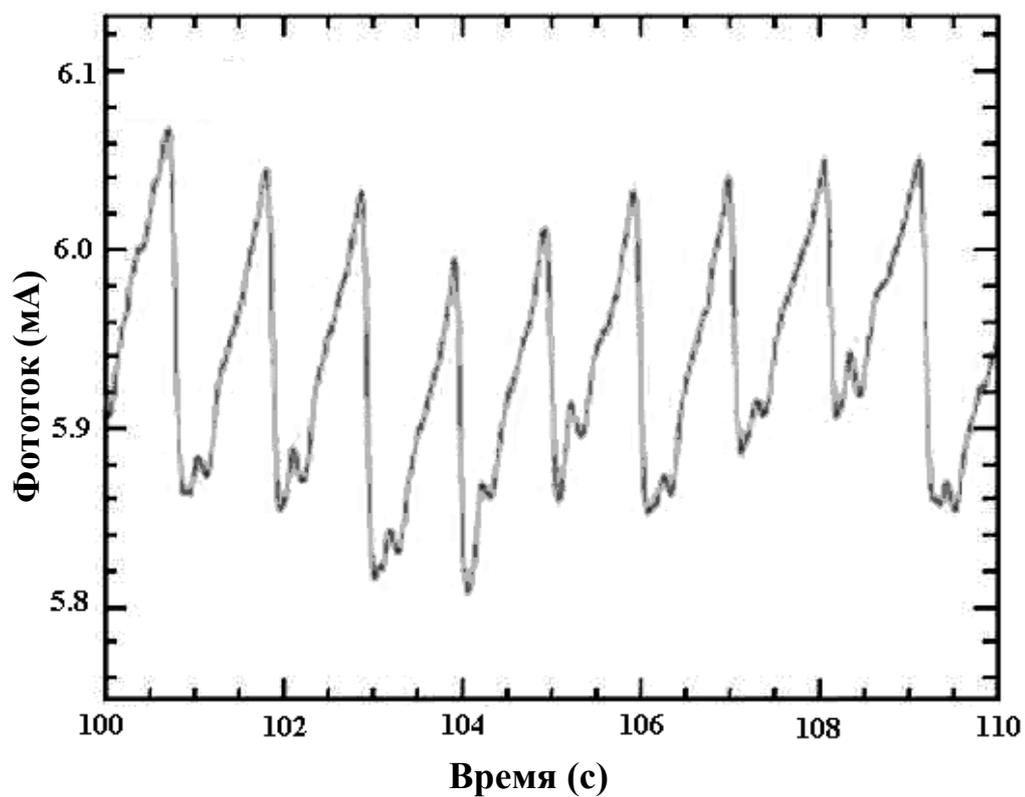
DC", которая наиболее вероятно происходит из-за небольших телодвижений, воздействующих на палец. Для здорового человека кислородная

насыщенность постоянная, приблизительно 100 %. Поэтому кислородная насыщенность может быть оценена от двух фотоплетизмограмм, зарегистрированных друг после друга.

Проведенный анализ сигнала характеризуется основными числами, эти величины перечислены в таблице 4.1. Как видно, инфракрасный сигнал приблизительно в два раза выше из-за маленького поглощения для этой длины волны. Это приводит к более высокому отношению сигнал/шум. Согласно обработке сигнала некалиброванная кислородная насыщенность составила 0.53 (при помощи уравнения (4.3)) с неопределенностью в 0.02 (при помощи уравнения (4.5)). Из сравнения этих величин с графиком 2.4, показывающим кривую калибровки, полученную из закона Ламберта-Бира, видно, что некалиброванный фактор 0.53 преобразовывает калиброванную кислородную насыщенность приблизительно в 90%. Так как использовалась простейшая кривая калибровки, основанная на законе Ламберта-Бира, то мы не получим такую точную величину, как это сделает правильный калиброванный инструмент. С помощью кривой калибровки Ламберта-Бира мы определили величину кислородного насыщения на 9% ниже верной величины. Поэтому мы приходим к заключению, что контрольное измерение может быть использовано как образец для исследований.



а) Данные для красного света



б) Данные для инфракрасного света

Рисунок 4.2 - Измеренные фотоплетизмограммы

Таблица 4.1 Измеренные и рассчитанные данные

	Red	Ir
Диастола	2.784μA	6.040 μA
Систола	2.737μA	5.853 μA
АС/ Диастола	0.0167	0.0310
Шум	0.0011 μA	0.0013 μA
АС/Шум	42.2	147.5
R_{0s}	0.53	
δR_{0s}	0.019	
SpO₂	90%	

4.2.1 Апробация прибора

Далее была проведена проверка работоспособности прибора. С помощью эластичной ленты прибор был прикреплен к руке добровольца. Затем были произведены измерения кислородного насыщения при нормальном дыхании и с последующей задержкой дыхания в течение 30с. Результаты измерения предоставлены на рис.4.7. Как можно увидеть из графика при задержке дыхания происходит уменьшение насыщения кислородом. Даная проверка показала работоспособность прибора.

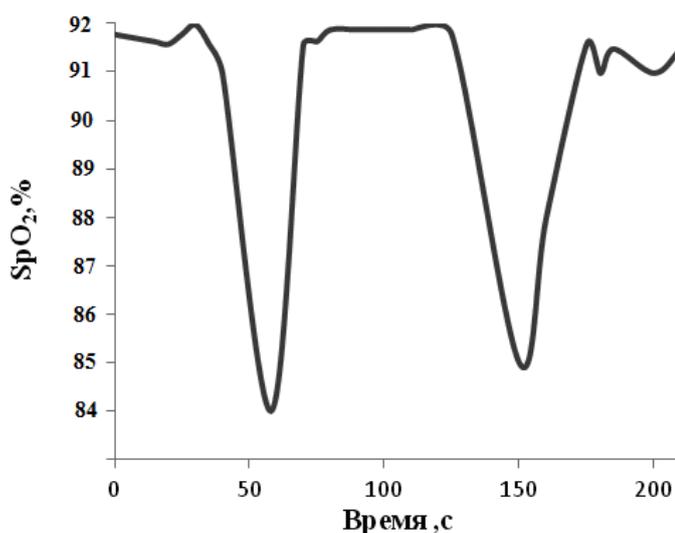


Рис.4.7. Типичный вид наличия гипоксии.

5 «Социальная ответственность»

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [26]

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно , называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

5.1 Анализ вредных и опасных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов [26], которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические,

психофизиологические [27].

В таблице 5.1 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
НИ ТПУ, ФТИ, кафедра ПФ Вид работы: моделирование на ПК и работа на электроприборе (паяльник)	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

На инженера, работа которого связана с электроприбором (паяльник) и с моделированием на компьютере, воздействуют следующие факторы:

- физические:
 - температура и влажность воздуха;
 - шум;
 - статическое электричество;
 - электромагнитное поле низкой частоты;
 - освещённость;
- психофизиологические

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ЭВМ и от паяльника.

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

5.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 5.2

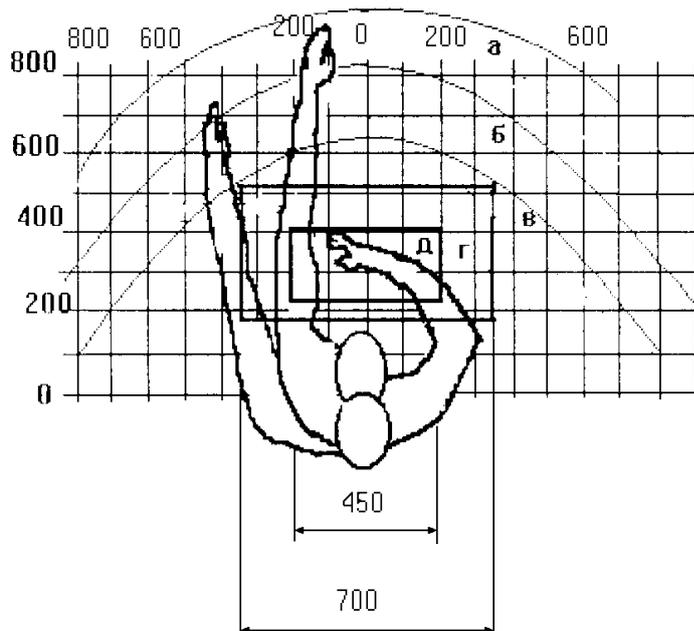


Рисунок 5.2 Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости рук;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и

длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглаблённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого

цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии со и приведены в таблице 5.3.

В таблице 5.3 приведены оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, оС	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными

требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом -20..25 °С, зимой – 13..15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других

средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50мкбэр/час. По нормам [17] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05м от экрана не более $7,7 \cdot 10^{-4}$ А/кг, что соответствует эквивалентной дозе, равной 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.4 Электробезопасность

Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электрическими приборами в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. При разработке

пульсоксиметра используется паяльник.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок.

- Отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надёжной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

Оценка пожарной безопасности помещения.

Согласно, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по

степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная

вентиляция);

– применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

– правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

– правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

– обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

– издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

– соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

– правильное размещение оборудования;

– своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- Сообщить руководителю;

- Позвонить в аварийную службу;

- Принять меры в соответствии с инструкцией.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Научно-исследовательские работы (НИР) – это работы научного характера, связанные с научным поиском, проведением исследований с целью получения научных обобщений, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции, они включают в себя:

1) фундаментальные исследования, выполняемые с целью расширения научных знаний, явлений и закономерностей их развития безотносительно к их конкретному практическому применению;

2) поисковые исследования, выполняемые с целью нахождения путей использования выявленных явлений и закономерностей в конкретной области науки и техники для создания принципиально новых изделий, материалов и технологий;

3) прикладные исследования, направленные на решение научных проблем, совершенствование методов с целью получения конкретных результатов, используемых в опытно-конструкторских разработках при создании научно-технической продукции (в том числе технических средств обучения).

Перспективность научного исследования определяется не только важностью проделанной работы, но еще не в малой степени зависит и от коммерческой значимости. По этому поводу при пред проектном анализе следует учитывать и экономические стороны выполняемой работы. Оценка экономической стороны проекта поможет оптимально распределить ресурсы, контролировать состояние продвижения работы. Также через такую оценку разработчик может найти партнера для проведения дальнейших научных исследований и предоставить на рынок продукт исследования.

Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научного проекта, расчет

ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической части исследования.

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является разработанный прибор для определения содержания кислорода в крови на отражение (неинвазивный метод), способный регистрировать насыщенность крови кислородом.

Для того чтобы узнать в каком направлении проводить исследования, был проведен анализ потребителей.

Целевым рынком данной разработки будет являться научная и образовательная отрасль. В качестве потребителей были выбраны предприятия промышленности и учебные учреждения.

Таблица 6.1 карта сегментирования

Организации	Пульсоксиметр
	Контроль содержания кислорода в крови
Промышленные предприятия	
Учебные учреждения	

Из карты сегментирования видно, что в разработке пульсоксиметра следует ориентироваться на промышленные предприятия и высшие учебные заведения, проводящие эксперименты, связанные с измерением содержания кислорода в крови.

6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 6.2. Б – продукт, который является результатом данной работы, $B_{к1}$ – конкурентные разработки. В качестве конкурентной разработки был принят: $B_{к1}$ – пульсоксиметр медицинский «Armed» YX302, производство компании «Armed».

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из данного анализа видно, что разработанный спектрометр имеет преимущество перед конкурентными разработками за счет того, что является портативным и обладает крайне низкой себестоимостью при стандартном наборе определяющих его параметров. Однако заметной проблемой является слабое проникновение на рынок.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических
(разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б	Б _{к1}	К	К _{к1}
Технические характеристики оценки ресурсоэффективности					
Удобство в эксплуатации	0,05	5	4	0,25	0,2
Энергоэкономичность	0,05	5	4	0,25	0,2
Надежность	0,05	4	5	0,2	0,25
Безопасность	0,05	5	5	0,25	0,25
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	4	5	0,8	1
Простота эксплуатации	0,05	5	4	0,25	0,2
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,05	4	5	0,2	0,25
Уровень проникновения на рынок	0,05	2	5	0,10	0,25
Цена	0,05	5	2	0,25	0,1
Послепродажное обслуживание	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	59	58	4,73	4,6

Б_{к1} – Пульсоксиметр медицинский «Armed» УХ302, производство компании «Armed».

6.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

В таблице 6.3 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 6.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Нет аналога в России.</p> <p>С2.Простота устройства.</p> <p>С3.Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4.Открытый программный код.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Непривлекательный дизайн.</p> <p>Сл2.Отсутствие инженеринговой компании, способной наладить серийное производство.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Государственное финансирование.</p> <p>В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>Нужно показать покупателям простоту устройства и сделать упор на портативность и дешевизну.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>Появление компании, которая будет готова построить производство, даст шанс новым потребителям получать устройство в короткие сроки.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>Более низкая стоимость устройства, а также простота обслуживания позволит разработанному пульсоксиметру быть востребованным в отечественных учреждениях и на рынке товаров.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>Следует повысить характеристики, сделать более привлекательным внешним вид.</p>

--	--	--

Из SWOT-анализа видно, что для реализации данной работы необходимо получить дополнительное инвестирование (получение грантов, субсидий, премиальных и т.д.).

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа строится интерактивная матрица проекта (табл. 6.4). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 6.4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	0	+	0	0
	B2	+	+	+	+
	B3	+	+	0	-
		Слабые стороны проекта			
		Сл1		Сл2	
Угрозы проекта	У1	+		+	
	У2	0		-	

6.4 Планирование научно-исследовательской работы

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении ВКР приведен в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Исполнитель
Разработка технического задания на НИР	1	Разработка ТЗ на ВКР	Руководитель
	2	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель, студент
Выбор направления исследования	3	Сбор и поиск тематической литературы в рамках проекта	Студент
	4	Сравнение аналогичных изделий, выбор и обоснование предмета разработки	Руководитель, студент
Теоретические исследования	5	Разработка принципиальной схемы	Руководитель, студент
	6	Изучение языка программирования C++ и Assembler. И программы Sprintlayout	Студент
Изготовление прибора	7	Изготовление макета устройства	Студент
	8	Программирование микроконтроллера	Руководитель, ассистент руководителя, студент
Тестирование прибора	9	Тестирование устройства и исследование его характеристик	Студент
	10	Проведение эксперимента с регистрацией сигнала от источника	Ассистент руководителя, студент
	11	Анализ и обработка полученных данных	Студент
	12	Обобщение и оценка результатов	Руководитель
Оформление отчета по НИР	13	Оформление пояснительной записки	Студент
	14	Подготовка к защите ВКР	Студент

6.4.1 Определение трудоемкости выполнения НИОКР

Следующим этапом является определение трудоемкости выполнения НИОКР. Трудоемкость выполнения НИОКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ используется следующая формула (6.2):

$$t_{ожі} = \frac{3t_{minі} + 2t_{maxі}}{5}, \quad (6.2)$$

где $t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, (чел.-дн.);

$t_{minі}$ - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), (чел.-дн.);

$t_{maxі}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), (чел.-дн.).

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1.8 \text{ чел} - \text{дн}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (6.3)$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.);

$t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, (чел.-дн.);

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, (чел.).

$$T_{p1} = \frac{t_{ож1}}{Ч_1} = \frac{1,8}{1} = 1,8 \text{ раб. дн.};$$

Дальнейшие расчеты продолжительности каждой работы проводятся подобным образом с использованием данных из таблицы 8.

6.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

Затем был разработан календарный план работ. В ходе данной работы был построен ленточный графика проведения НИР в форме диаграмм Гантта. Диаграмма Гантта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (6.4)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения одной работы, (кален. дн.); T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.); k - коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Расчёт коэффициента календарности производится по следующей формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1.22 \quad (6.5)$$

где, $T_{кг}$ - количество календарных дней в году ($T_{кг} = 365$ дн.); $T_{вд}$ - количество выходных дней в году ($T_{вд} = 52$); $T_{пд}$ - количество праздничных дней в году, ($T_{пд} = 14$).

$$T_{k1} = T_{p1} \cdot k = 1.8 * 1.22 = 2,196 \approx 2 \text{ кал. Дн.}$$

Расчетная величина продолжительности работ T_{ki} была округлена до целых чисел. Расчетные данные сведены в таблице 6.6, на основании которой был построен календарный план-график.

Таблица 6.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Исполнитель		$t_{min i}$	$t_{max i}$	$t_{ож i}$	Ψ_i	$T_{p i}$, раб.дн	T_k , кал.дн.
1.	Р	1	3	1,8	1	1,8	2
2.	РС	2	4	2,8	2	1,4	2
3.	С	5	15	9	1	9	11
4.	РС	3	6	4,2	2	2,1	3
5.	РС	2	4	2,8	2	1,4	2
6.	С	10	20	10	1	10	12
7.	С	3	7	4,6	1	4,6	6
8.	РАС	5	10	7	3	2,3	3
9.	С	3	5	3,8	1	3,8	5
10.	АС	1	3	1,8	2	0,9	1
11.	С	1	3	1,8	1	1,8	2
12.	Р	1	3	1,8	1	1,8	2
13.	С	10	20	10	1	10	12
14.	С	5	10	5	1	5	6
		52	113	66,4	-	55,9	69

6.4.3 Календарный план-график в виде диаграммы Гантта

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Гантта. График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения данной дипломной работы представлен ниже в таблице

Таблица 6.7 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	И сп	T_{ki}	Февр аль		Март			Апрель			Май			Июнь	
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
			Разработка ТЗ на ВКР	Р	2	▨									
Составление и утверждение ТЗ	Р С	2	▨ ■												
Сбор и поиск литературы в рамках проекта	С	11		■											
Сравнение аналогичных изделий, выбор и обоснование оптимального средства измерения	Р С	3			▨ ■										
Разработка принципиальн ой схемы	Р С	2				▨ ■									
Изучение языка программиров ания С++ и программы SprintLayout	С	12					■								
Изготовление макета устройства	С	6						■							
									▨						

В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

6.5.1 Расчет материальных затрат НИИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 6.8.

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – кафедра ПФ ТПУ

Таблица 6.8 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за ед., руб	Сумма , руб
1	2	3	4	5
Микроконтроллер	ATmega16A-PU	1	120	120
Стабилизатор напряжения	TL431	1	12	12
Операционный усилитель	LM074	4	15,83	63,32
Операционный усилитель	LM082	5	7,7	38,5
Операционный усилитель	LF398N	3	73,91	221,73
Светодиод инфракрасный	SFH 485-2	1	18,21	18,21
Светодиод красный KNBR	L-63SRD	1	6	6
Фотодиод	ФД303А	4	30	120
Резистор	чип 0805	10	0,17	1,7
Резистор	22 кОм	4	18	72
Резистор	220 кОм	4	10,80	43,2
Резистор	470 кОм	7	6	42
Резистор	33 кОм	6	6	36
Конденсатор керамический	330 нФ	3	5	15
Конденсатор	470 нФ	6	3	18
Конденсатор	1000 мкФ	2	9	18
Всего за материалы				850,66

Транспортно-заготовительные расходы (3 - 5%) 42,5

Итого по статье C_m 893,2

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} \quad (6.6)$$

где $C_{эл}$ — тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч); P — мощность оборудования, кВт; $F_{об}$ — время использования оборудования, ч.

Для компьютера:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,35 \cdot 336 = 682,08$$

Для паяльной станции:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,025 \cdot 27,6 = 4$$

Затраты на электроэнергию составили 686,08 рублей.

6.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (6.7)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, студента) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (6.8)$$

где $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (6.8)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; • при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 6.9)

Таблица 6.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель/Ассистент руководителя	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	48
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный оклад работника с учетом районного коэффициента для Томска $k_{\text{р}} = 1,3$, вычисляется:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot 1,3. \quad (6.9)$$

Например, для руководителя расчет основной заработной платы, зная, что его оклад 23264руб/месяц, проводится следующим образом:

- находим месячный должностной оклад:

$$Z_{\text{м}} = 23264 \cdot 1,3 = 30243 \text{ руб./месяц};$$

- рассчитываем среднедневную заработную плату:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{30243 \cdot 10,4}{225} = 1398 \text{ руб./день};$$

- рассчитываем основную заработную плату:

$$Z_{\text{осн}} = 1398 \cdot 7 = 9786 \text{ руб.}$$

Подобный расчет проводится для вычисления основной заработной платы ассистента руководителя и студента.

Данные и результаты расчета основной заработной платы приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{гс}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб./месяц	$Z_{\text{дн}}$, руб./день	$T_{\text{р.раб.}}$ дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	23264	1,3	30243	1398	7	9786
Студент	1500	1,3	1950	90	46	4146
Ассистент руководителя	16000	1,3	20800	961,42	1,2	1153,7
Итого $Z_{\text{осн}}$						15085,7

6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6.10)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}}, \quad (6.11)$$

где $k_{\text{пф}}$ - коэф. отчисления в пенсионный фонд; $k_{\text{с}}$ - коэф. отчисления страховых взносов; $k_{\text{пн}}$ - коэф. отчисления в подоходный налог.

$$k_{\text{внеб}} = 0,271$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (11777,5 + 1413,3) = 3574,7 \text{ руб.}$$

Таблица 6.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель + руководителя	Ассистент
Основная заработная плата, руб.	10939,7	
Дополнительная заработная плата, руб.	1312,8	
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	3320,4	

6.5.5 Затраты на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и

транспортных тарифов. В данной выпускной квалификационной работе затраты на командировки равны нулю.

6.5.6 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями.

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции, головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками. В данной работе затраты по данной статье расходов отсутствуют.

6.5.7 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйственного инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Затраты на электроэнергию составили 686,08 рублей.

6.5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 16.

Таблица 6.12 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	893,2
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	15085,7
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	1312,8
4. Отчисления во внебюджетные фонды	3320,4
5. Затраты на научные и производственные командировки	-
6. Контрагентные расходы	-
7. Накладные расходы	686,08
Бюджет затрат НИИ	21298,18

Из таблицы видно, что итоговая стоимость проекта будет составлять порядка 22 тысяч рублей, основной вклад в итоговую сумму бюджета вносят затраты на заработную плату.

6.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 6.13). В качестве аналога был взят пульсоксиметр медицинский «Armed» YX302.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в выпускной квалификационной работе бакалавра технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таблица 6.13 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог («Armed» УХ302)
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5
Помехоустойчивость	0,15	4	4
Энергосбережение	0,2	4	5
Надежность	0,25	5	5
Материалоемкость	0,15	5	4
ИТОГО:	1	4,5	4,6

Данные таблицы 6.13 показывают, что текущий вариант исполнения проекта имеет свои недостатки, но, несмотря на это, он имеет хорошие показатели финансовой и ресурсной эффективности.

Заключение

В ходе проделанной работы проведен обзор литературы по теме диссертации. Проанализированы экспериментальные и теоретические статьи по применению пульсоксиметрии.

В результате исследования был произведен расчет пулоксиметра на отражение и изготовлен его рабочий макет для применения в онкологии. Исследования проводились на живом объекте.

Проведена апробация макета. Обработаны фотоплетизмограммы для красного и инфракрасного света. В расчетах используется закон Ламберта-Бира. Измеренная кислородная насыщенность составила 0.53 с неопределенностью в 0.02. С помощью калибровочной кривой реальная кислородная насыщенность в ткани составила 90%. Проведенные предварительные испытания макета на живом объекте показали, что макет работоспособен и может быть использован для применения в онкологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. University of San Diego Char Lie Goldberg. A practical guide to clinical medicine, <http://medicine.ucsd.edu/clinicaimed/vital.htm>.
2. Carsten Mundt, Lifeguard – a wearable vital signs monitoring system, <http://lifeguard.stanford.edu>.
3. Systematic Software Engineering A/S Per Jensen.
4. John TB Moyle, Pulse Oximetry. BMJ Books, 2 edition, 2002.
5. J.G.Webster. Design of Pulse Oximeters. Institute of Physics Publishing, 1997.
6. NeUcor, a company within the Tyco Healthcare Group, <http://www.nellcor.com>.
7. Reindert Graaff. Tissue optics Applied to Reflectance Pulse Oximetry. PhD thesis, Rijksuniversiteit Groningen, 1993.
8. Mark Carton. Introduction to cell biology. Online book, <http://cbriumn.edu/inwd/>
9. A.J.Welch and M, J.Cvan Geniert. Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue. Plenum Press, 1995.
10. Julia Saarela. Photon migration in pulp and paper. Master's thesis, University of Oulu, Faculty of Technology, 2004.
11. Frank L. Pedrotti and Leno S. Pedrotti, Introduction to Optics. Prentice Hall, 2 edition, 1993.
12. Nancy Clar k. Nutrition spot lights. http://www.oznet.Itsu.edu/human_nutrition.
13. Vasan Venugopalan Alfred Vogel. "Mechanisms of Pulsed Laser A halation of Biological Tissues". Chem. Rev., 103:577-644, 2003.

14. Paras N. Prasad. Introduction to Biophotonics. John Wiley Sons, 2003.
15. Akira Ishimaru. Electromagnetic wave propagation, radiation, and scattering. Prentice Hall, Inc., 1991.
16. M. Niemz. Laser-Tissue Interactions - Fundamental and Applications. Springer, 2 edition, 2002.
17. Andrew T.C. Tsin Dhiraj K. Sardar, Ray M. Yow and Ratna Sardar. "Optical scattering, absorption, and polarization of healthy and neovascularized human retinal tissues". Journal of Biomedical Optics* 10(5), 2005.
18. Akira Ishimaru. "Diffusion of light in turbid material". Applied Optics, 28(12), 1089.
19. K.Miyasaka T. Aoyagi. "Pulse oximetry: Its invention, contribution to medicine, and future tasks". Anesthesia and Analgesia, 94:s1-3, 2002.
20. Scott Prahl, Oregon Medical Laser Center <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin/>, 1998.
21. Huch A Konig V, Huch R. "Reflectance Pulse Oximetry - Principles and Obstetric Application in the Zurich System". Journal of Clinical Monitoring and Computing, 10:403-412, 2003.
22. Naoto Kakuta Yukio Yamada Keisuke Matsushita, Kazuo Aoki. "Fundamental Study of Reflectance Pulse Oximetry". Optical Review, 10(5):482-487, 2003.
23. M.D, Graham S. Takatani. "Theoretical analysis of diffuse reflectance from a two-layer tissue model. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 26(12):656-664, 1979.
24. J, L. Reuss. "Arterial Pulsality and the Modeling of Reflectance Pulse Oximetry". Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE EMBS, pages 2791-2794, 2003.

25. J. L, Reuss. "Photon Tracking in a Multilayer Tissue Model". Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, pages 643664, 2004.
26. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
27. Федеральный закон «Трудовой кодекс РФ» от 21.12.2001 г.
28. Федеральный закон «Об охране окружающей природной среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002 г.
29. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность.
30. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы».
31. ГОСТ 12.1.004 – 91 Пожарная безопасность.
32. ГОСТ 12.1.044–84 Пожарная и взрывная безопасность.