

Школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии
 Отделение электронной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Оптоволоконная система диффузной оптической томографии

УДК 616-073.756.8:681.784

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д51	Кияницына Анастасия Алексеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Солдатов А. А.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШНХБ	Губарев Ф. А.	К.ф. - М.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОСГН ШБИП	Потехина Н. В			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев М. В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Дикман Е.Ю.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте биомедицинской и экологической техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности

P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии
 Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ Е.Ю. Дикман
 (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
1Д51	Кияницына Анастасия Алексеевна

Тема работы:

Оптоволоконная система диффузной оптической томографии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	23. 10. 2018 № 9450/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Исследование неинвазивного оптического метода диагностики головного мозга. Объектом проектирования является оптоволоконная система, состоящая из двух лазерных диодов и двух фотоприемников. Подвод и отвод излучения осуществляется с помощью оптоволоконна. Исходные данные: - режим работы: импульсный; - источник питания: 9В; - частота излучения: 0.44 Гц;
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- обзор литературы; - разработка принципиальной схемы; - разработка макета оптоволоконной системы; - экспериментальное исследование работы макета; - финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; - социальная ответственность; - заключение по работе;
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	- принципиальная схема источника излучения; - принципиальная схема приемника излучения;

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Нина Васильевна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21. 01. 2019
---	--------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Солдатов А. А.	к.т.н.		
Доцент ИШНХБ	Губарев Ф. А.	к.ф. - м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д51	Кияницына Анастасия Алексеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 102 с., 43 рис., 13 табл., 42 источников, 2 прил.

Ключевые слова: диффузная оптическая томография, оптоволоконная система, оптические соединители, лазерные диоды, фотоприёмники, черепно-мозговые травмы, оптические неоднородности.

Объектом исследования является метод диагностики оптических неоднородностей в головном мозге – метод диффузионной оптической томографии.

Цель работы – создать макет оптоволоконной системы на основе двух лазерных диодов и двух фотоприемников, в котором связь между объектом исследования и источником (или приемником) осуществляется с помощью оптоволоконна.

В процессе исследования проводились обзор литературы, проектирование оптических соединителей, разработка и сборка принципиальных схем источника и приемника излучения, опыты на обнаружение оптических неоднородностей в объекте исследования.

В результате исследования разработана оптоволоконная система для диагностики неоднородностей в объекте исследования

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: импульсный режим работы, источник питания 9В, частота излучения 0.44 Гц.

Степень внедрения: не внедрено, на стадии разработки

Область применения: медицина

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в развитие нового неинвазивного метода диагностики оптических неоднородностей (гематомы, опухоли) головного.

В будущем планируется создание портативного прибора для обнаружения ЧМТ, опухолей головного мозга

Сокращения

ЧМТ – черепно – мозговая травма;

ДОТ – диффузная оптическая томография;

КТ – компьютерная томография;

МРТ – магнитно – резонансная томография;

АЦП – аналогово – цифровой преобразователь;

ИК – инфракрасный;

Нормативные ссылки

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению [Текст]. – Введ.2009-07-01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 13 с.;
2. ГОСТ 2.702-2011 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем [Текст]. – Введ.2012-01-01. – М.: Стандартиформ, 2011. – 26 с.;

Оглавление

Введение.....	10
1 Литературный обзор	12
1. 1 Оптические свойства биологических тканей	12
1. 2 Строение головного мозга.....	21
1. 3 Методы исследований головного мозга	23
1. 3. 1 Оптические методы исследования головного мозга	23
1. 3. 2 Традиционные методы исследования головного мозга	31
1. 4 Источники и приемники излучения	33
2 Техника эксперимента	37
2. 1 Структурная схема эксперимента	37
2. 2 Расчет принципиальной схемы.....	38
2. 2. 1 Расчет принципиальной схемы источника излучения	38
2. 2. 2 Расчет принципиальной схемы приемника излучения	44
3 Экспериментальные исследования.....	49
3. 1 Оптические соединители и оптоволоконна.....	49
3. 2 Объект исследования	52
3. 3 Исследования отраженного излучения	54
3. 4 Исследования пройденного через объект излучения	57
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	62
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	62
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	62
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	63
4.1.3 SWOT-анализ.....	64
4.2 Планирование научно-технического исследования	66
4.2.1 Структура научно-технического исследования	66
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	67
4.2.3 Разработка графика проведения научно-технического исследования	68

4.3 Бюджет научно-технического исследования	71
4.3.1 Материальные затраты	71
4.3.2 Амортизационные отчисления	72
4.3.3 Заработная плата исполнителей	72
4.3.4 Формирование бюджета затрат	74
5 Социальная ответственность.....	78
5. 1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
5. 1. 1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	79
5. 1. 2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	80
5. 2 Производственная безопасность	81
5. 2. 1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	81
5. 2. 2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	82
5. 3 Экологическая безопасность.....	87
5. 4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	88
5. 4. 1 Анализ вероятных ЧС при разработке и эксплуатации объекта исследования	88
5. 4. 2 Разработка мер по предупреждению и ликвидации ЧС.....	89
Заключение	91
Список используемой литературы	92
Приложение А ФЮРА.432228.001 Источники излучения	96
Приложение Б ФЮРА.432231.002 Приемники излучения.....	100

Введение

Сегодня огромное внимание уделяется обследованию головного мозга. Это один из самых сложных органов человеческого организма. Головной мозг имеет сложное строение и выполняет множество функций. Он объединяет органы в единую систему, функционирование которой контролирует. Головной мозг координирует их действия между собой. Также отвечает за обработку информации от органов чувств, внимание, память и координацию. Важно вовремя обнаружить новообразования такие, как гематомы, кисты, опухоли, чтобы успеть принять необходимые меры по лечению пациента.

В настоящее время в медицинской практике используют традиционные методы исследования головного мозга такие, как магнитно-резонансная томография, компьютерная томография. Данные методы имеют свои противопоказания, их стоимость достаточно высокая, имеются строгие требования к организации кабинета обследования. Кроме того, методы на основе ионизирующих излучений, даже малой интенсивности, небезопасны для пациентов. В связи с этим возникает потребность в новых неинвазивных, безопасных и недорогих методах и приборах для исследования головного мозга.

Одними из перспективных и развивающихся направлений диагностики являются оптические методы. Преимущества данных методов – это их безопасность, невысокая стоимость и возможность изменять параметры (длину волны, модуляцию, длину импульса) излучения, которое используют для обследования пациента.

Во время прохождения через ткань оптическое излучение взаимодействует с различными ее компонентами, а именно поглощается и рассеивается. По изменению сигнала судят об оптических свойствах ткани и о наличии различного рода заболеваний в организме. Свойства ткани поглощать и рассеивать излучение являются основой метода диагностики – диффузионной оптической томографии. Метод заключается в измерении изменения параметров

пройденного излучения через исследуемый объект. В диффузионной оптической томографии, как правило, используется излучение ближнего инфракрасного диапазона. Организм человека хорошо адаптирован к этому излучению. При малой интенсивности оно является абсолютно безопасным. Также данное излучение имеет хорошую проникающую способность для биологических тканей.

В настоящее время актуальной задачей является создание прибора для оперативного обнаружения неоднородностей в головном мозге. Решением данной проблемы может являться использование такого метода диагностики, как диффузионная оптическая томография. Метод безопасен для исследуемого пациента и для врача и не имеет противопоказаний, что является большим преимуществом по сравнению с другими методами.

1 Литературный обзор

1. 1 Оптические свойства биологических тканей

Биологические ткани относятся к оптически неоднородным средам, поэтому при падении света наблюдаются различные явления такие, как отражение, рассеивание и поглощение, которых подробнее рассмотрим ниже на примере кожи. Часть падающего излучения отражается от поверхности кожи за счет различия показателей преломления воздуха и биологической ткани. Значительная часть энергии падающего света рассеивается и поглощается, эти явления обусловлены разнообразной структурой кожи.

По оптическим свойствам биологические ткани можно разделить на:

- сильно рассеивающие среды к ним относятся кожа, мозг, стенки сосудов, кровь, это неоднородные среды в которых происходит многократное рассеянии оптического излучения;
- слабо рассеивающие – прозрачные среды, к ним относятся роговица, хрусталик, это упорядоченная среды с однократным рассеянием излучения;

Рассмотрим для начала такие оптические свойства, как отражение и преломление.

Отражение определяется взаимодействием падающего света с поверхностью биообъекта. Излучение изменяет свое направление распространения на границе раздела двух сред, обладающих разными оптическими свойствами.

Закон отражения заключается в равенстве углов отражения и падения. Данные углы измеряются между падающим, отраженным лучом и нормалью в точке падения, находящимися в одной плоскости.

$$\theta = \theta' , \quad (1)$$

где θ – угол падения;

θ' – угол отражения.

Отражение разделяют на два типа: зеркальное и диффузное. Когда шероховатости поверхности можно не учитывать, так как их размеры значительно меньше длины волны излучения, тогда отражения называют зеркальным. Если же поверхностные неровности сравнимы или больше длины волны падающего света, то будет происходить диффузное отражение. При изучение биологических тканей чаще встречается диффузионное отражение, так как ее поверхность имеет неровности. Но имеются исключения, если поверхность биообъекта влажная, то преобладает зеркальное отражение. Отражающая способность зависит от угла падения, поляризации излучения и показателей преломления материалов, образующих границу раздела.

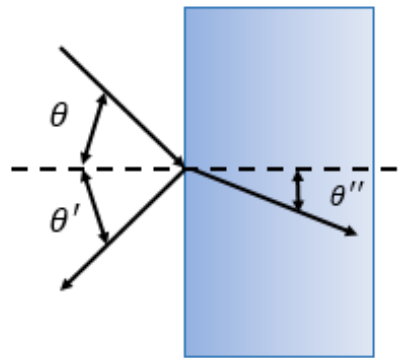


Рисунок 1 – Преломление падающего излучения

Преломление происходит на разделе двух сред с различными показателями преломления, так как скорость света изменяется при прохождении границы раздела. Преломление определяется законом Снеллиуса:

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta''} = \frac{v}{v'}, \quad (2)$$

где θ'' – угол преломления;

v и v' – скорости света до и после прохождения границы раздела двух сред.

Скорости световой волны связаны с показателями преломлениями следующей формулой, из которой выразим скорости света:

$$n = \frac{c}{v} \quad n' = \frac{c}{v'}, \quad (3)$$

где c – скорость света в вакууме.

Закон Снеллиуса будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta''} = \frac{v}{v'}, \quad n \cdot \sin \theta = n' \cdot \sin \theta''. \quad (4)$$

Закон не выполняется в тех случаях, когда $\sin \theta > \frac{n'}{n}$. Преломление происходить не будет. Данное явление называется полным отражением. Показатель преломления определяется природой вещества и длиной волны падающего вещества. Для уменьшения влияния отражения на изучении биологической ткани нужно обработать спиртовым раствором участок воздействия, чтобы очистить его от жира и пота [1].

Следующие оптическое свойство – отражение.

Явление, при котором происходит ослаблении падающего излучения при прохождении через исследуемое вещество, называют поглощением [2]. При поглощении излучения наблюдается процесс перехода световой энергии в тепловую, при котором происходит увеличении амплитуды колебаний молекул поглощающего вещества. К прозрачным средам относят вещества, при прохождении через которые интенсивность падающего излучения не изменяется. Свойство прозрачности зависит от длины волны. Каждая среда имеет свой спектр пропускания и поглощения электромагнитных волн.

Количество поглощенного излучения зависит от его длины волны, от электронного строения атомов и молекул исследуемой среды, толщины поглощающего слоя, внутренних параметров: температуры и концентрации поглощающих агентов (хромофоров).

Излучение известной интенсивности I_0 проходит через тонкий образец ткани известной ширины L некоторой среды (хромофора), часть излучения поглощается средой, а оставшая часть проходит через исследуемый образец.

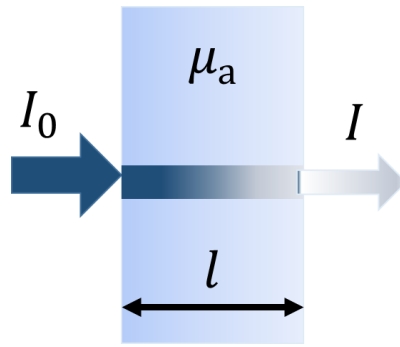


Рисунок 2 – Поглощение падающего излучения

Моделируя это явление, полагая, что каждый бесконечно малый слой поглощает количество излучения (dI) и что это поглощение пропорционально интенсивности падающего излучения, приводит к следующей математической модели. Измеряемая интенсивность излучения моделируется законом Ламберта-Бэра:

$$dI = -\mu_a \cdot I \cdot dz, \quad (5)$$

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = \int_0^l (-\mu_a) dz, \quad (6)$$

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_a \cdot l}, \quad (7)$$

где μ_a – коэффициент поглощения среды при заданной длине волны (λ).

Длина поглощения равна величине обратной коэффициенту поглощения и показывает расстояние, на котором переданная интенсивность уменьшается в e раз от начальной величины:

$$I = \frac{1}{\mu_a}. \quad (8)$$

Коэффициент пропускания определяется отношением передаваемой интенсивности к падающей:

$$T = \frac{I}{I_0}. \quad (9)$$

Для нахождения поглощения A используется коэффициент пропускания. Данная физическая величина выражает потерю интенсивности при прохождении света через тонкую биологическую ткань, измеряется в единицах оптической плотности и задается уравнением:

$$A = \lg\left(\frac{1}{T}\right) = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right). \quad (10)$$

Для поглощающего соединения, растворенного в неабсорбирующей среде, затухание пропорционально молярной концентрации соединения в растворе ($[c]$), удельному коэффициенту экстинкции соединения (ε) и расстоянию между точками, в которых свет входит и выходит из раствора (длина оптического пути равна l):

$$A = \varepsilon \cdot [c] \cdot l = \lg \left(\frac{I}{I_0} \right). \quad (11)$$

Для случая, когда раствор содержит несколько различных поглощающих соединений, уравнение запишется более расширено, учитывая вклад каждого хромофора (компоненты крови, такие как оксигемоглобин, дезоксигемоглобин, вода и др.):

$$\begin{aligned} A(\lambda) &= \varepsilon_1(\lambda) \cdot [c_1] \cdot l + \varepsilon_2(\lambda) \cdot [c_2] \cdot l + \dots + \varepsilon_n(\lambda) \cdot [c_n] \cdot l = \\ &= \sum_n \varepsilon_n(\lambda) \cdot [c_n] \cdot l. \end{aligned} \quad (12)$$

Уравнение можно перезаписать с использованием натурального логарифма:

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) &= \alpha_1(\lambda) \cdot [c_1] \cdot l + \alpha_2(\lambda) \cdot [c_2] \cdot l + \dots + \alpha_n(\lambda) \cdot [c_n] \cdot l = \\ &= \sum_n \alpha_n(\lambda) \cdot [c_n] \cdot l, \end{aligned} \quad (13)$$

где α - удельный коэффициент поглощения соединения, отличающимся от коэффициента экстинкции коэффициентом масштабирования, равным $\ln 10$.

Коэффициент поглощения зависит от внесенного вклада каждого поглотителя:

$$\mu_a(\lambda) = \ln 10 \sum_n \varepsilon_n(\lambda) \cdot [c_n]. \quad (14)$$

Перейдем к следующему оптическому свойству – рассеянию.

Рассеяние – это физический процесс, в котором свет взаимодействует с веществом, изменяя свое направление. Рассеяние излучения зависит от многих переменных, таких как размер рассеивающей частицы, длины волны света и изменения показателей преломления различных тканевых компонентов (клеточных мембран, органелл).

Различают упругое и неупругое рассеяние. Рассмотрим упругое рассеяние, это рассеяние, при котором суммарная энергия падающей и рассеивающей частицы сохраняется (т.е. она одинаковая до и после соударения), падающей фотон теряет часть своей энергии при соударении и отклоняется от прямого первоначального пути. Упругое рассеяние приводит к затуханию светового пучка путем отклонения фотоном от их исходного пути.

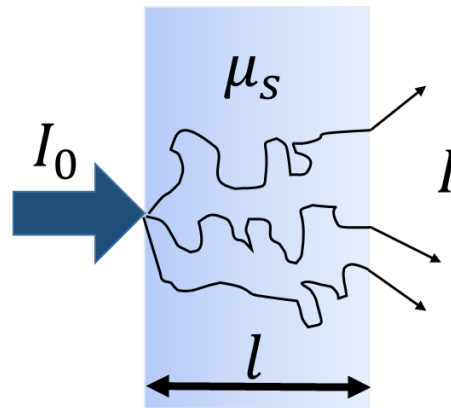


Рисунок 3 – Рассеяние падающего излучения

Таким образом, как и для поглощения, конечная величина интенсивности света, передаваемая через тонкую биологическую ткань толщиной d при освещении источником интенсивности I_0 , описывается:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_s \cdot l}, \quad (15)$$

где μ_s – коэффициент рассеяния среды при заданной длине волны λ и представляет вероятность рассеянного фотона на единицу длины.

Также выделяют такое оптическое свойство, как анизотропия.

Практический эффект рассеяния и поглощения излучения частицей на параллельном пучке света, распространяющегося в одном заданном направлении, состоит в том, что интенсивность пучка в этом направлении уменьшается [2, 3]. Часть излучения поглощается, переходит в тепловую энергию, а часть света рассеивается, изменяя свой путь и увеличивая время прохождения излучения через биологическую ткань.

При упругом столкновении, когда фотон отклоняется от своего первоначального направления частицей, он начинает движение в новом

направление (S') под случайным углом, который имеет определенное распределение вероятности, которая определяется фазовой функцией $p(S, S')$. Данная функция показывает вероятность движения фотона в направление S' после рассеивания и нормируется так, чтобы при интегрировании по всем направлениям, она равнялась единице:

$$\frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} p(\theta) \cdot d\omega = 1, \quad (16)$$

где $p(\theta)$ – функция вероятности;

$d\omega = \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\varphi$ — элементарный телесный угол;

φ - азимутальный угол.

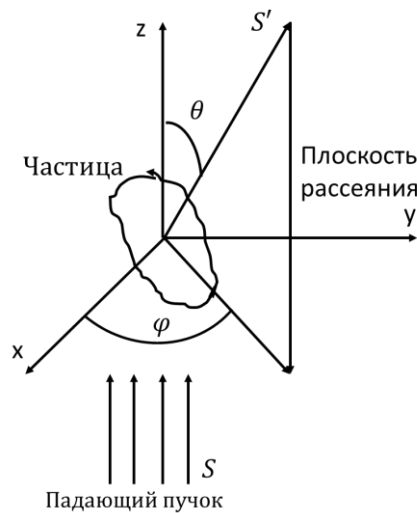


Рисунок 4 – Отклонение излучения от первоначального направления

Для того, чтобы описать изменение направления распространения фотонов при их рассеивании, вводится такое понятие, как фактор анизотропии. Данный параметр определяется как среднее значение косинуса угла отклонения. В полярных координатах записывается как

$$g = \frac{\frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} p(\theta) \cdot \cos \theta \cdot d\omega}{\frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} p(\theta) \cdot d\omega}. \quad (17)$$

Коэффициент анизотропии равный 1 говорит о том, что рассеяние прямое, при $g=0$ имеем дело с изотропным рассеиванием, когда $g=-1$ рассеивание обратное, а в биологической ткани g имеет значения от 0,69 до 0,99.

Транспортный коэффициент рассеяния:

$$\mu'_s = \mu_s \cdot (1 - g), \quad (18)$$

где μ_s - коэффициент рассеивания;

g - средний косинус угла рассеивания.

Общий коэффициент затухания будет равен:

$$\mu_t = \mu'_s + \mu_a = \mu_s \cdot (1 - g) + \mu. \quad (19)$$

Для определения распространения и глубины прохождения излучения в биологическую ткань необходимо также знать значение пути свободного пробега и фактор анизотропии.

Для анизотропного вещества длина свободного пробега:

$$L = \frac{1}{\mu_s \cdot (1 - g)} \quad (20)$$

Для изотропного вещества ($g=0$):

$$L = \frac{1}{\mu_s} \quad (21)$$

Основные хромофоры в биологических тканях рассмотрены в работе [1].

Биологическими соединениями, которые поглощают свет в определенном спектре называют хромофорами. Каждый поглотитель имеет свой спектр, который описывает уровень поглощения на определенных длинах волн.

Значение коэффициентов поглощения биологических тканей лежат в пределах 10^{-2} - 10^4 см⁻¹. В ультрафиолетовой (УФ) и инфракрасной (ИК) ($\lambda \geq 2$ мкм) областях спектра преобладает поглощение над рассеянием, поэтому излучение проникает в биоткань на один или несколько клеточных слоев. В равной степени происходит поглощение и рассеивание излучения в коротковолновой видимой области, поэтому около 15-40% падающего излучения отражается, проникает свет на глубину 0.5-2,5 мм на этих длинах волн. В области длин волн 0.6-1,5 мкм преобладает рассеяние, поэтому наблюдается увеличение интенсивности отраженного излучения до 35-70% и глубины проникновения до 8-10 мм. Значительное проникновение видимого и ближнего ИК излучения через кожу наблюдается в области «терапевтического окна» (0,6-1,5 мкм), поэтому именно эту область и используют в оптических методах исследования. [3]

Основными хромофорами в ближнем инфракрасном диапазоне в мягких тканях являются такие компоненты, как вода, оксигемоглобин и дезоксигемоглобин, также свой вклад вносят меланин, липиды и другие. На рисунке представлены коэффициенты поглощения основных хромофоров в биотканях.

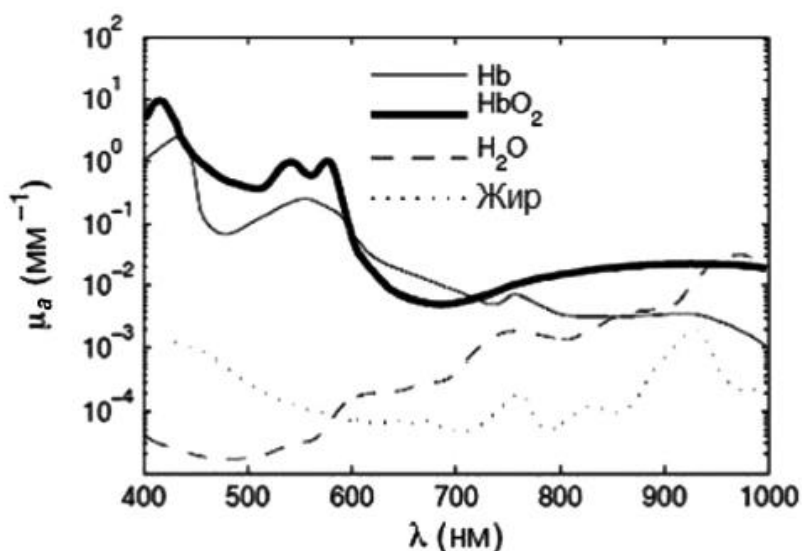


Рисунок 5 – Коэффициент поглощения основных хромофоров в биотканях

Среднее содержание воды в мозге у взрослого человека около 80% его веса. Из-за высокой концентрации в большинстве биологических тканей, вода считается одним из наиболее важных хромофоров. Тем не менее, для большинства клинических измерений концентрацию воды в ткани можно считать постоянной, и поэтому вода действует как фиксированный постоянный поглотитель.

Гемоглобин преобладает в сосудистой ткани. Гемоглобин играет важную роль в транспортировке и доставке кислорода из легких в ткани (оксигемоглобин) и переносе углекислого газа из ткани (дезоксигемоглобина) обратно в легкие. Молекулы гемоглобина (Hb) в эритроцитах ответственны за почти все поглощение света кровью. Однако спектр поглощения гемоглобина изменяется, когда происходит оксигенация или деоксигенация. Оксигенированный гемоглобин является сильным поглотителем света с длиной

волны до 600 нм. Далее его поглощение резко падает и остается низким. Однако поглощение дезоксигенированного гемоглобина не падает резко; оно остается относительно высоким на более длинных волнах, хотя коэффициент поглощения уменьшается с увеличением длины волны. Два спектра поглощения пересекаются около 800 нм, что видно на рисунке 5 [1].

1. 2 Строение головного мозга

При исследовании головного мозга необходимо учитывать его сложное строение, оптические свойства его составляющих (кожи, черепа, мозговых оболочек) [1].

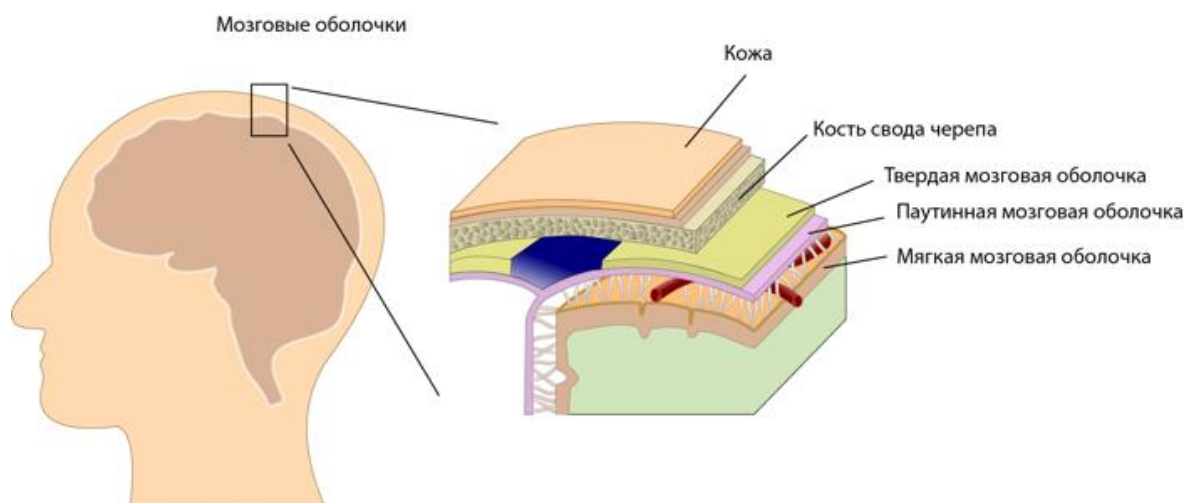


Рисунок 6 – Строение головного мозга

Кожа покрывает всю поверхность тела и защищает внутренние органы от агрессивных элементов окружающей среды. Основными составляющими слоями кожи являются:

- эпидермис, который является самым внешним слоем кожи и состоит из миллионов мертвых клеток кожи, не имеет кровеносных сосудов и имеет природный защитный пигмент, отвечающий за цвет кожи, известный как меланин;

- соединительная ткань дермы, которая состоит из нервов, в ней же расположены потовыми железы и волосяные фолликулы;
- под дермой гиподерма представляет собой подкожную жировую ткань.

Череп – костная часть головы, выполняющая защитную, опорную и двигательную функции. Это костный каркас, который защищает от внешних воздействий и служит местом крепления мягких тканей головы. Череп разделяют на два отдела: висцеральный (лицевой) и мозговой (черепная коробка). К мозговому черепу относят свод (крыша) и основание черепа. Кости свода черепа относят к плоским костям, состоящим из двух пластинок плотного вещества, между которыми находится губчатое вещество (диплоэ). В ячейках губчатого вещества расположены костный мозг и кровеносные сосуды, но небольшое количество крови не оказывает влияния на поглощении костью.

Спинномозговая жидкость окружают головной мозг и большую часть спинного мозга. Спинномозговая жидкость циркулирует через желудочки головного мозга (внутренние структуры мозга, образованные четырьмя камерами). Она обеспечивает защиту головного мозга от механических повреждений, поддерживает внутричерепное давление. Оптически очень похожа на воду с коэффициентом поглощения $0,0022 \text{ мм}^{-1}$ при 800 нм. Мозг окружен 3 оболочками (твердой, паутинной и мягкой), которые являются тонкими и не оказывают сильного влияния на поглощении, поэтому при распространении излучения их не учитывают, так же, как и спинномозговую жидкость.

Нервные клетки (нейроны) образуют мозговую ткань. Совокупность нейронов называют серым веществом, образующие кору головного мозга, внутри которой находится белое вещество, которое служит для передачи нервного импульса. Оно образуется из пучков отростков – аксонов, покрытых миелиновой оболочкой, которые являются источником высоких, неоднородных и анизотропных рассеивающих свойств мозга.

В таблице ниже приведены коэффициенты рассеяния и поглощения структур головного мозга при длинах волн от 650-950 нм [4].

Таблица 1 – Оптические параметры головного мозга

Биоткань	μ_a , мм ⁻¹	$\mu'_s = \mu_s \cdot (1 - g)$, мм ⁻¹
Белое вещество	0,02 – 0,07	9,0
Серое вещество	0,04 – 0,08	2,5
Черепная кость	0,01 – 0,03	1,5
Кожа	0,02 – 0,04	1,5

1. 3 Методы исследований головного мозга

1. 3. 1 Оптические методы исследования головного мозга

В настоящее время диагностику серьезных заболеваний головного мозга и профилактические обследования невозможно представить без использования методов визуализации. Поэтому к актуальному и важному направлению в биомедицине относится улучшение традиционных и создание новых методов визуализации. К развивающимся технологиям предъявляются основные требования такие, как максимальная информативность, безвредное воздействия на биологический объект, удобство в эксплуатации, портативность и относительная низкая стоимость. Данным требованиям соответствуют оптические методы исследования.

Оптические методы заключаются в освещении поверхности головы излучением ближнего красного (БИК) диапазона и обнаружении излученного света на расстояние нескольких сантиметров. Ближнее инфракрасное излучение (БИК) может быть использовано для оценки параметров оксигенации и циркуляции крови в тканях мозга неинвазивно, через кости черепа, так как инфракрасное излучение обладает хорошей проникающей способностью для покровных тканей (кожи, черепа) и относительно незначительно поглощается ими по сравнению с кровью и нервными тканями.

В ткани с излучаемым светом происходят два основных процесса: рассеяние и поглощение. Благодаря сильному рассеянию и хорошей

прозрачности биологической ткани для БИК, мы можем наблюдать обратное излучение, прошедшее через головной мозг. Абсорбция связана с взаимодействием фотонов с хромофорами в ткани, включая гемоглобин, воду, липиды. Затухание света увеличивается, когда между источником и детектором обнаруживается поглотитель (гематома). По закону Ламберта-Бэра изменения в затухании света за счет поглощения прямо пропорциональны концентрации хромофоров [5].

Рассмотрим оптические методы, которые в настоящее время используются для исследования головного мозга. Начнем с наиболее распространенного метода оптической визуализации мозга – инфракрасной спектроскопии [6].

Метод основан на проникновении излучения длиной волны 680-1000 нм в биологическую ткань и поглощении естественными хромофорами: окси- и дезоксигемоглобином, меланином, билирубином, водой и другими веществами. Зондирование объекта происходит на нескольких длинах волн, как правило двух, чтобы зарегистрировать изменения в спектре поглощения исследуемого хромофора.

В данном методе используются пары источников света и детекторов, подсоединенных к голове человека. От источника через оптоволокно излучение поступает к исследуемому объекту, проходит через мягкие ткани, кости черепа в головной мозг, отражаясь и рассеиваясь, попадает на детектор, который находится на расстоянии 3,5-6 см от излучателя. При использовании массива источников и детекторов, изменения сигналов, измеренные между парой источник-детектор, можно сопоставить или интерполировать с лежащей в основе корой головного мозга, и получить топографическую карту с разрешением >5 мм.

Инфракрасная спектроскопия получила распространение в неонатологии. Так как кости черепа ребенка достаточно тонкие, он хорошо просвечивается насквозь. Для исследования черепа взрослых людей применяют спектроскопию в режиме отражения, что связано с относительно большой толщиной кожи головы, костей черепа и головного мозга.

Инфракрасная спектроскопия перспективна для оценки изменений оксигенации и кислородного статуса головного мозга при черепно-мозговых травмах (ЧМТ) и цереброскулярных заболеваниях. В настоящее время имеются портативные приборы, которые используются для выявления внутричерепных гематом. Одним из таких приборов является аппарат «Ifroscaner» (рисунок 7).



Рисунок 7 – Прибор «Ifroscaner»

Прибор «Ifroscaner» используется для обнаружения ЧМТ, в условиях, когда невозможно использовать другие методы нейровизуализации. Прибор основан на принципе сравнения оптических свойств двух полушарий в четырех различных зонах. Инфракрасное излучение поглощается больше в том месте, где обнаружена гематома, внесосудистая кровь поглощает излучение больше, так как в гематоме большая концентрация гемоглобина, чем в здоровой ткани мозга. Данный прибор с длиной волны 805 нм распознает объем крови, но не ее насыщенность кислородом. В приборе используется одна длина волны. В этом заключается его основной недостаток. Время исследования 2-3 мин. Разрешающая способность 3,5 см³[7].

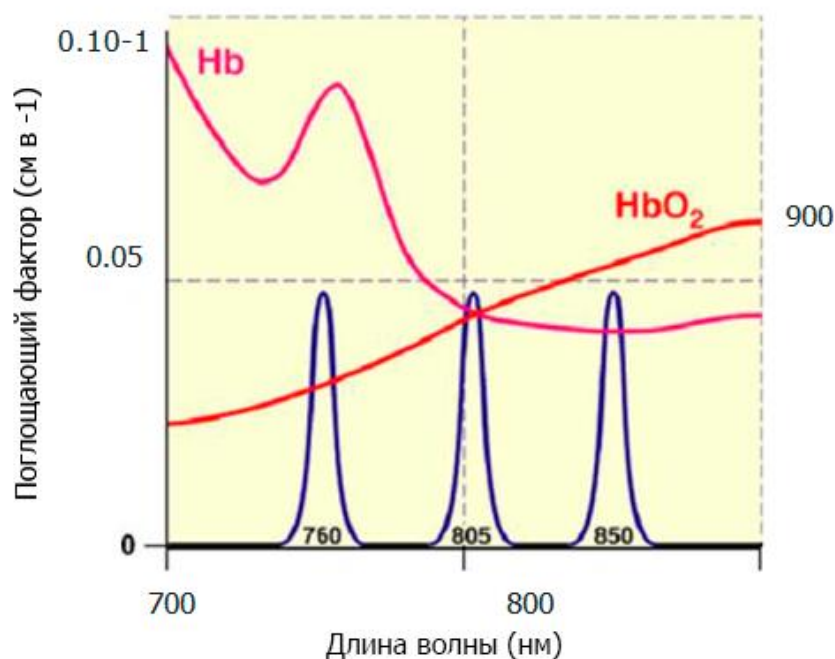


Рисунок 8 – Поглощение света гемоглобином

Ближнее инфракрасное излучение используется и в диффузная оптической томографии. Основная задача томографии заключается в локализации и получении двух- или трехмерных изображений макронеоднородностей в биоткани (опухоли, гематомы и т.п.). В данном методе используется плотный массив источников и детекторов для получения информации с различных точек на голове. Путем решения обратной задачи эти измерения преобразуются в информацию о глубине, образуя, таким образом, трехмерные изображения.

В оптической томографии возможно локализовать опухоль как косвенно, так и прямо. Прямая локализация основана на измерениях оптических параметров самой ткани (поглощение и рассеяние), а косвенная основана на визуализации метаболических процессов (скорость и распределение кровотока и лимфотока в ткани) или скорости кровотока.

Когда ближний инфракрасный свет проходит через ткань, он не движется по прямой. Вместо этого каждый фотон перемещается в случайном направлении

от одного события рассеяния к следующему. Поэтому поле света называется диффузным [8].

В настоящее время для визуализации оптических свойств тканей используются три основных метода измерения сигнала с использованием БИК-излучения: источник с непрерывным, импульсным и модулированным излучением. Все методы представлены на рисунке [9].

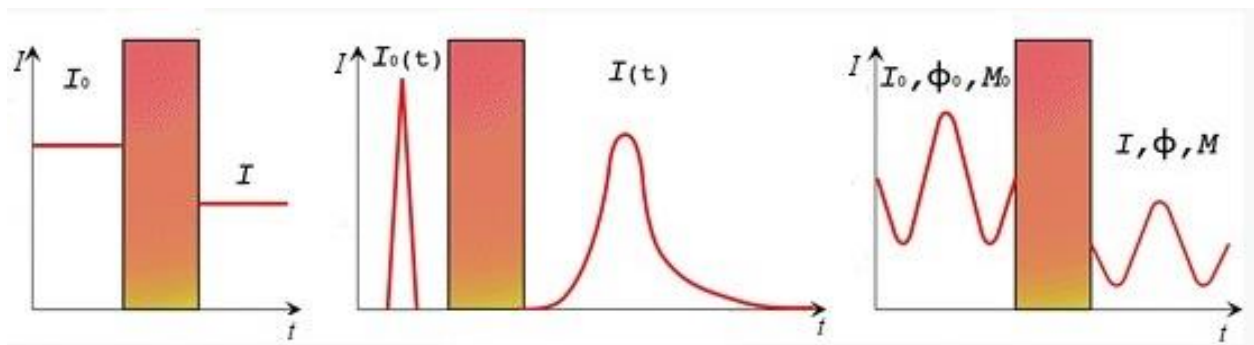


Рисунок 9 – Источник с непрерывным, импульсным и модулированным излучением

Рассмотрим томографию непрерывного излучения. Данный метод основан на измерении интенсивности диффузного рассеянного излучения при различных положениях источника непрерывного излучения и детектора. Метод позволяет оценить относительные изменения концентрации гемоглобина и кислорода по отношению к базовым значениям на основании поглощения излучения. Таким способом невозможно измерить абсолютные изменения концентрации, так как путь реального движения фотонов неизвестен. Достоинство данного метода – это простота реализации диагностического прибора, для которого не требуется применение быстродействующих источников и приемников. Данные приборы имеют невысокую цену и могут быть портативными.

В импульсной томографии используется пикосекундный импульсный лазер и детектор, имеющий более высокую чувствительность. Метод основан на зондировании рассеивающей среды ультракоротким лазерным импульсом, который при прохождении через биологический объект изменяет свою форму из-

за диффузного рассеяния. Прошедший импульс состоит из баллистического и диффузного компонента. Фотоны, движущие вдоль лазерного пучка по прямой линии, образуют баллистический компонент. Интенсивность которого определяется как нерассеянными фотонами, так и рассеянными вперед. Фотоны, движущиеся зигзагообразно, испытавшие всего несколько столкновений образуют первопришедшую часть диффузионного компонента. Эти фотоны несут информацию об оптических свойствах рассеивающей среды, а по его деформации возможно определить наличие локальных неоднородностей. Опираясь на форму прошедшего импульса, можно определить коэффициент рассеяния и поглощения. Импульсный метод дает лучшую количественную оценку концентрации хромофоров. Данный метод имеет свои недостатки: из-за высоких требований к источнику и детектору излучения, стоимость прибора значительно возрастает по сравнению двумя другими методами.

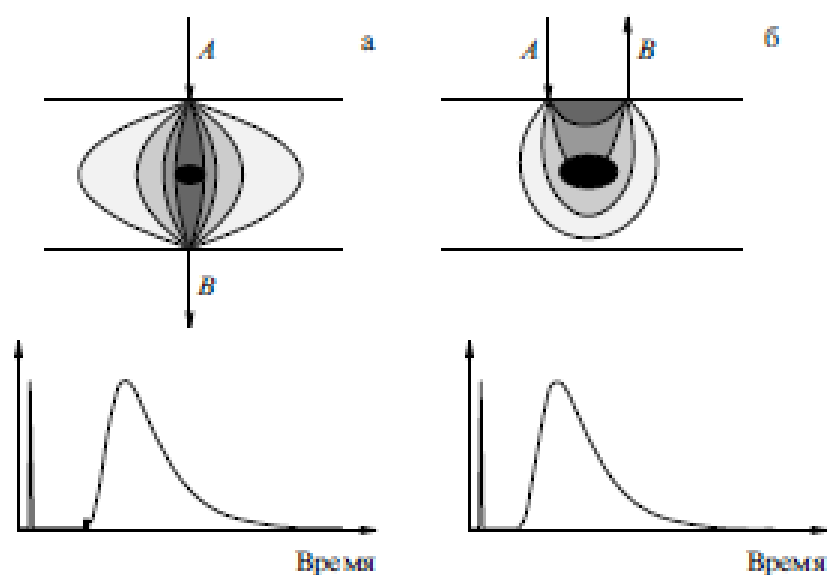


Рисунок 10 – Исследования биотканей с разрешением во времени, А – зондирующее излучение, В – регистрируемое излучение

Модуляционная томография основана на использовании амплитудно-модулированного источника, работающего на высокой частоте (несколько сотен МГц), и измерении затухания амплитуды и фазового сдвига передаваемого сигнала для различных положений источника и приемника на объекте

исследования. Сигнал, пройденный через исследуемый объект, сравнивают с источниками излучения для измерения относительных изменений амплитуды и фазы.

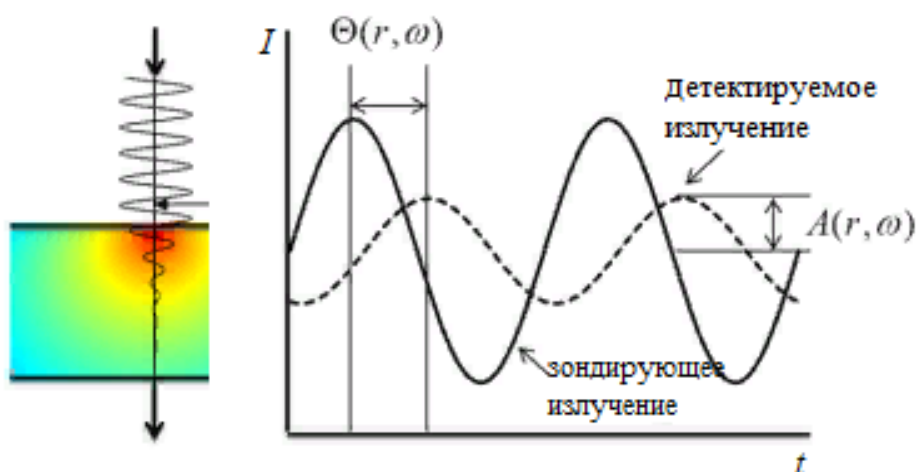


Рисунок 11 – Исследования биотканей модуляционным методом

Оптическая томография позволяет диагностировать наличие новообразований, но по сравнению с имеющимися методами диагностики данный метод имеет меньшее пространственное разрешение, что обусловлено диффузионным характером распространения света в биоткани.

Рассмотрим оборудование компании NIRX, данная компания выпускает прибор для стационарного NIRScout и портативного NIRSport использования [10].



а)



б)

Рисунок 12 – а) NIRScout; б) NIRSport

В системе NIRScout пользователь может сам выбрать количество используемых источников между 8-64 и детекторов 4-32. Имеется возможность объединения двух систем, что позволяет увеличить количество источников до 16-128 и детекторов до 8-64. В данном приборе используется два вида источников: светодиоды 760 и 850 нм, лазеры 685, 780, 808, 830 нм. Максимальное функциональное разрешение прибора составляет 5 мм. Возможно использовать с другими методами обследования: электроэнцефалографией, функциональной магнитно-резонансной томографией и др.

Система NIRSport имеет от 8 до 64 источников излучения и от 8 до 64 детекторов. Тип источников: светодиоды с длиной волны 760 и 850 нм.

Источники и детекторы излучения крепятся в специальную шапочку. Также компания предлагает различные варианты зондов в зависимости от задачи. Для работы с детьми зонды имеют плоский наконечник для безопасного использования.



а)

б)



в)

Рисунок 13 – а) стандартный зонд; б) зонд с плоским наконечником для младенцев; в) крепление источников и детекторов излучения систем NIRX

1. 3. 2 Традиционные методы исследования головного мозга

Основными методами нейровизуализации, которые используются в повседневной клинической практике, являются компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография головного мозга (МРТ). КТ и МРТ являются взаимодополняющими методами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Выбор подходящего обследования зависит от того, насколько быстро нужно пройти обследование, какая часть головы обследуется, и от возраста пациента.

Компьютерная томография – это неинвазивная процедура визуализации, в которой используется рентгеновские лучи для получения горизонтальных и продольных изображений (срезов) черепа и головного мозга [11].

За счет того, что излучение поглощается различными тканями организма, происходит их ослабление, которое регистрируется детекторами. Информация рентгеновских снимков передается в компьютер, интерпретируется и формируется изображение.

На КТ контрастность тканей характеризуется рентгеновской плотностью – «электронной плотностью» вещества, т.е. способностью вещества поглощать рентгеновское излучение. Поглощение рентгеновского излучения связано с переходом электронов с орбиты на орбиту, таким образом, КТ отражает поверхностное строение атомов вещества. Ткань на изображении выглядит ярче, если она плотнее.

КТ применяется чаще в неотложной нейротравматологии, так как здесь играет важную роль скорость процедуры, чувствительность КТ к острому кровоизлиянию и лучшее отображение костей черепа.

Компьютерная томография может применяться для исследования пациентов с опухолью головного мозга, однако в настоящее время основным методом для таких больных является МРТ. На сегодняшний день роль КТ свелась, в основном, к экстренному получению снимков в случае подозрения на кровоизлияние, образование мозговой грыжи и т.п.

МРТ – это метод диагностики, основанный на использовании мощного однородного магнитного поля, в которое помещается пациент. МРТ строится на переизлучении радиоволн ядрами водорода, содержащимися в тканях тела, сразу после получения ими энергии от радиоволнового поля, которым облучают пациента. Контрастность тканей на МРТ отражает особенности внутренних структур ткани и зависит от строения вещества и взаимодействиями между молекулами.

Основная роль МРТ в первоначальной оценке опухоли головного мозга заключается в определении общего расположения опухоли, установлении точной локализации опухоли в структуре головного мозга для планирования лечения и проведения биопсии, оценке объемного воздействия на головной мозг, систему желудочков и сосуды, и в постановке предварительного диагноза [11, 12].

Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки [11, 12, 13]

– КТ гораздо быстрее, чем МРТ, что делает его исследование выбора в случаях травмы и других острых неврологических чрезвычайных ситуаций;

- КТ менее чувствителен к движению пациента во время обследования.
- КТ может проводиться без риска для пациента, имеющих имплантируемые медицинские устройства, таких как кардиостимуляторы, ферромагнитные сосудистые зажимы и нервные стимуляторы;
- у КТ имеются ограничения для проведения процедуры, такие как беременность, диабет;
- МРТ не использует ионизирующее излучение, и, таким образом, предпочтительнее для детей и пациентов, нуждающихся в множественном исследовании изображений
- МРТ имеет гораздо больший диапазон доступного контраста мягких тканей, более подробно изображает анатомию и более чувствительна, и специфична для аномалий в самом мозге;
- МРТ-сканирование может быть выполнено в любой плоскости без физического перемещения пациента;
- МРТ позволяет оценить структуры, которые могут быть затемнены артефактами из кости в изображениях КТ;

1. 4 Источники и приемники излучения

Оптические методы диагностики, как и другие методы медико-биологических исследований, имеют свои особенности, которые нужно учитывать для получения качественных результатов. Источник должен генерировать стабильное зондирующее излучение, которое должно обладать достаточной проникающей способностью для исследуемого объекта, приемник должен иметь чувствительность, достаточную для регистрации даже слабых полезных сигналов.

В качестве источника излучения в системах ДОТ используют лазерные диоды, которые обладают необходимыми характеристиками: монохромностью,

пространственной когерентностью, поляризованностью, достаточной интенсивностью и требуемой длительностью импульсов.

Лазер – это генератор оптических колебаний, в котором энергия накачки преобразуется в монохроматический, узконаправленный поток излучения. В основе работы лазера лежит явление вынужденного излучения. Лазер состоит из источника накачки, активной (рабочей) среды и оптического резонатора. Лазеры бывают различных видов в зависимости от агрегатного состояния рабочей среды (твёрдое вещество, газ, краситель, полупроводник) [8].

Конструкция лазерного диода представлена на рисунке. Система накачки (1) отвечает за подачу энергии атомам или молекулам рабочей среды, переводя их в возбужденное состояние, создавая инверсию населённости. Система накачки отвечает за режимы работы лазера: импульсный или непрерывный. Оптический резонатор (3) формирует направление пучка фотонов. Зеркала (2), входящие в оптический резонатор, образуют обратную связь. Выходное зеркало является полупрозрачным и имеет коэффициент в пределах 75-99%, «глухое» зеркало - 98%. Зеркала поддерживают генерацию излучения, обеспечивая достаточное число проходов пучка света через рабочую среду, тем самым компенсируя потери излучения в данной системе.

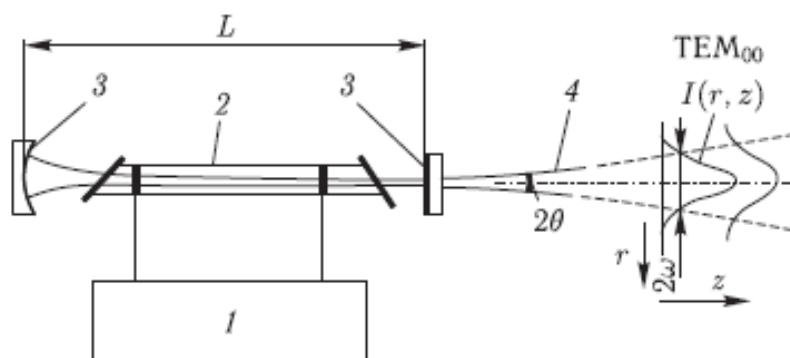


Рисунок 14 – Устройство лазера

В качестве приемника излучения в оптических системах часто используют фотодиод. Фотодиод – это полупроводниковый детектор, который получил широкое распространение из-за своей чувствительности, компактности,

скорости и невысокой стоимости. Характеристики фотодиода зависят от состава полупроводника и монтажа кристалла. В основе работы фотодиода лежит внутренний фотоэффект – под воздействием излучения возникают неравновесные носители заряда (дырки и электроны), которые образуют фотоэлектродвижущую силу. На рисунке 15 представлена принципиальная конструкция фотодиода [14].

При соединении двух типов полупроводников, избыточные электроны из зоны проводимости полупроводника n -типа заполняют вакансии в валентной зоне полупроводника p -типа. Данную область называют запирающим слоем. Именно здесь происходит преобразования фотонов в электрические сигналы. Границы запирающего слоя с p -стороны имеют отрицательный заряд, а n -стороны положительный, так как электроны из полупроводника n -типа перешли в дырки полупроводника p -типа. Когда фотон попадает в запирающий слой, электрон переходит из валентной зоны в зону проводимости и притягивается к положительной стороне. Дырка, в свою очередь, притягивается к отрицательной стороне. Далее они перемещаются к внешним контактам, таким образом формируется электрический импульс.

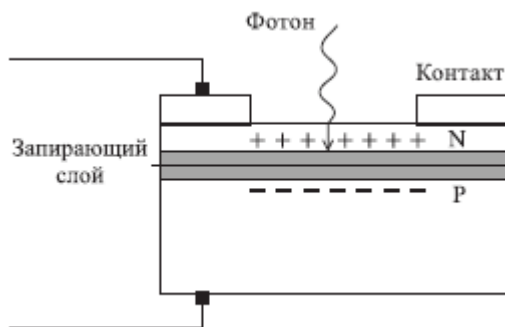


Рисунок 15 – Устройство фотодиода

В оптических системах для доставки света к рассеивающей среде и сборе излучения от рассеивающей среды обычно применяются оптоволоконные световоды. Это гибкие волокна, которые обладают способностью передавать свет непосредственно к среде, закрытость их конструкции снижает уровень посторонних засветок. При непосредственной близости к среде волокно

эффективно собирает излучение. Наиболее широкое распространения в медицинской оптике получили волокна, изготовленные из стекла, так как они дают небольшие потери в ближней инфракрасной области. Волокна изготавливаются различных диаметров, от нескольких микрометров до 1 мм [14].

Важным фактором в создании оптической системы является эффективность ввода излучения в оптоволокно. Но имеются ограничения, связанные с явлением полного внутреннего отражения, ограничивающим распространение света по волокну. На рисунке 16 это явление показано на волокне со ступенчатым профилем показателя преломления. Оно имеет цилиндрическую стеклянную сердцевину, окруженную оболочкой, изготовленной из стекла с более низким показателем преломления.



Рисунок 16 - Оптоволокно со ступенчатым профилем показателя преломления

Полное внутреннее отражение между сердцевиной и оболочкой зависит от двух факторов – относительной разности показателей преломления n_1 и n_2 и угла падения света на оболочку. Угол падения зависит от угла ввода света в волокна θ и показателя преломления внешней среды n . Когда угол падения слишком большой, условия для полного внутреннего отражения не выполняются, и луч уходит через оболочку (луч 4). Угол наибольшего отклонения (угловая апертура), при котором свет распространяется по волокну, выражается соотношением:

$$NA = n \cdot \sin(\theta) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (22)$$

где n — показатель преломления вещества, в котором находится торец световода, NA - числовая апертура.

2 Техника эксперимента

2. 1 Структурная схема эксперимента

На рисунке 1 представлена структурная схема экспериментальной установке. Схема включает в себя микроконтроллер, который регулирует включение лазерных диодов tgleiser. Он обеспечивает импульсный режим работы лазерных диодов и попеременное их включение. После включения лазерных диодов, излучение с помощью соединителей подводится к оптоволокну, а само оптоволокно присоединяется к объекту исследования.

После прохождения излучения через фантом оптоволокно в одном случае крепится на расстоянии 1-2.5 см для того, чтобы исследовать отраженное излучение, в другом же крепится с противоположной стороны объекта исследования для исследования пройденного излучения через объект. Были испытаны разные способы подвода и отвода излучения с помощью оптоволокну, описание этих способов будет представлены ниже. Принятый сигнал оптоволокну передается через специальный соединитель на фотоприемник. Так как сигнал, проходя через объект ослабляется, нам необходимо его усилить для проведения анализа, поэтому перед модулем АЦП/ЦАП E14-440 LCard ставим операционные усилители. Для обработки информации используем персональный компьютер.

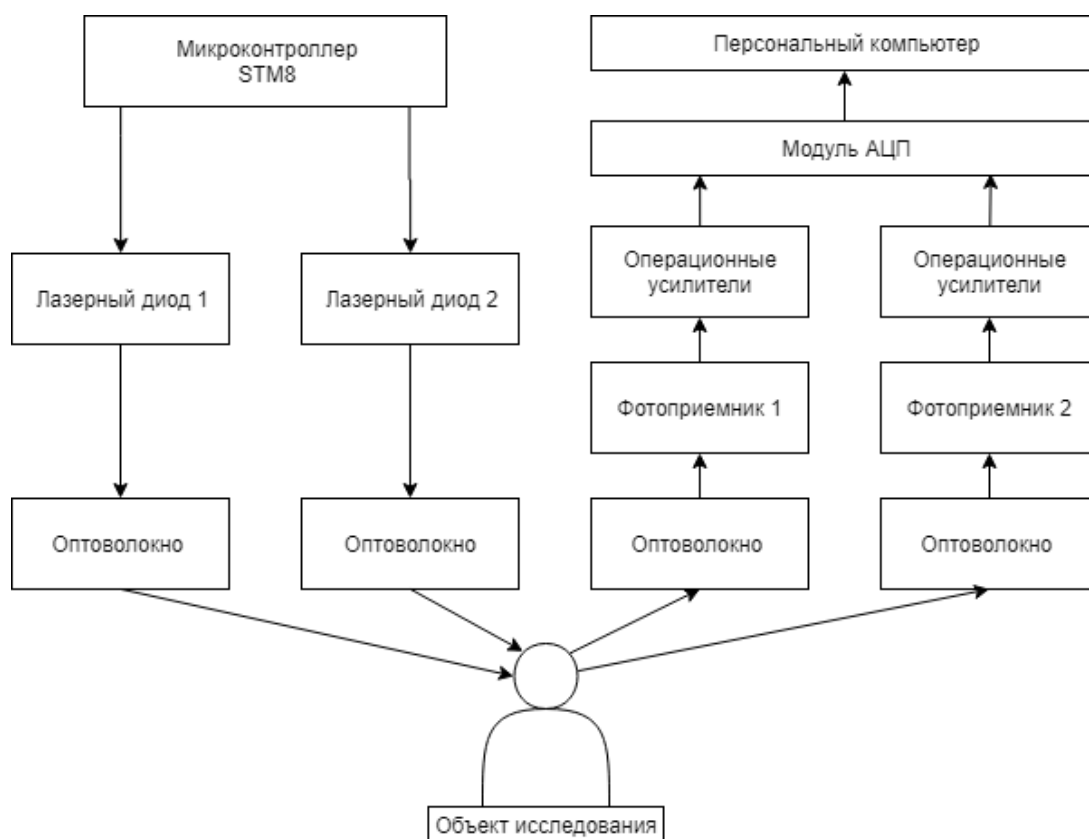


Рисунок 17 – Структурная схема опыта

2. 2 Расчет принципиальной схемы

2. 2. 1 Расчет принципиальной схемы источника излучения

Принципиальная схема источника излучения приведена в приложении А. В схеме в качестве источника излучения используются полупроводниковые лазерные диоды tgleiser, которые обеспечивают стабильные колебания с одной поперечной модой с длиной волны 650 нм и мощностью 100 мВт. Напряжение на лазерном диоде составляет 2,5 В. Типовое значение рабочего тока 150 мА. При таком значении тока мощность излучения составляет 80 мВт [15].

Лазерные диод управляется с помощью микроконтроллера STM8S003K3 (DD1), представленного на рисунке [16]. Ниже приведем основные технические характеристики:

- ядро stm8;

- ширина шины данных 8-бит;
- тактовая частота 16 МГц;
- количество входов/выходов 28;
- объем памяти программ 8 кбайт;
- напряжение питания 2,95-5,5 В;

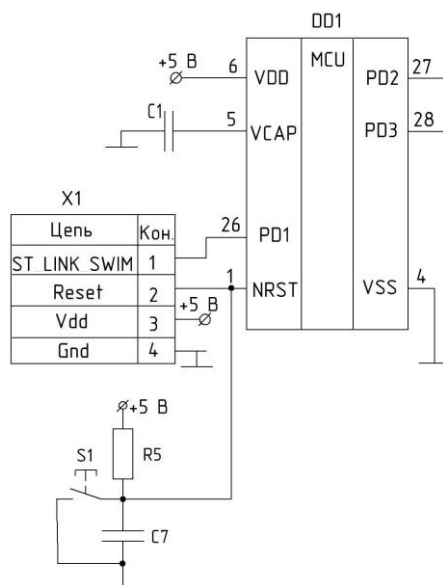


Рисунок 18 – Подключении микроконтроллера STM8S003K3

К ножке VCAP микроконтроллера рекомендуется подключать конденсатор C1 равный 0,1-2,2 мкФ. Выбираем [17]:

C1 – K73 – 17 – 0,33 мкФ $\pm 5\%$

Для обеспечения кнопки сброса на вывод NRST подключаем кнопку (S6). Во время работы микроконтроллера к данному выводу подсоединено питание через резистор R=55кОм, значение резистора рекомендовано по даташиту. Также по даташиту рекомендован конденсатор C7=0,1 мкФ. Микроконтроллер сбрасывается логическим «0», при нажатии кнопки, вывод «1» подключается к земле. Выбираем элементы:

C7 – K73-17-0,1 мкФ $\pm 5\%$ [17]

R5 – C1-4-1 Вт-56 кОм $\pm 5\%$ [18]

Для питания микроконтроллера необходимо 5 В, так как напряжения подаваемое на схему равно 9 В, его необходимо понизить и стабилизировать. Для

данной задачи воспользуемся микросхемой L7805 (DA1). На рисунке приведена схема включения данной микросхемы. Ниже рассмотрим основные технические характеристики [19]:

- входное напряжение от 7 до 25 В;
- рассеиваемая мощность 15 Вт;
- выходное напряжение 4,75-5,25 В;
- выходной ток до 1,5 А;

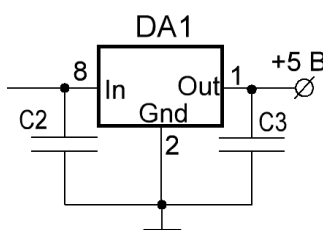


Рисунок 19 – Схема включения стабилизатора напряжения L7805

В соответствии рекомендацией конденсаторы C2 и C3 берем 0,33 мкФ и 0,1 мкФ. Конденсаторы обеспечивают стабильную работу схемы и уменьшают уровень помех. Конденсатор C2 фильтрует питающее напряжение от высокочастотных помех, конденсатор C3 обеспечивает защиту стабилизатору от помех, которые могут поступить с нагрузки и от источника питания.

Выбираем [17]:

C2 – K73 – 17 – 0,33 мкФ $\pm 5\%$

C3 – K73 – 17 – 0,1 мкФ $\pm 5\%$

Для стабильной работы лазерного диода необходимо регулировать текущей через него ток и его мощность. Для этого воспользуемся микросхемой LM317 (DA2), с помощью которой можно регулировать выходное напряжение в зависимости от потребности, изменяя резисторы R1 и R2. Данная микросхема обеспечивает ограничение тока и защиту от тепловой перегрузки. Ниже рассмотрим технические характеристики [20]:

- выходное напряжение от 1,2 до 37В;
- максимальный выходной ток 1,5 А;

- максимальная мощность 20 Вт;
- для защиты от короткого замыкания имеется ограничитель по току;
- имеется защита от перегрева;

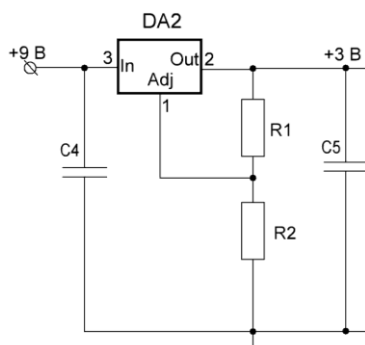


Рисунок 20 – Схема включения LM317

В схеме, представленной на рисунке 20, конденсаторы C4, C5, C6 используются для фильтрации сигнала от шумов и обеспечения устойчивой работы стабилизатора. Рекомендованное значение C4, C5 и C6: 0,1 мкФ и 1 мкФ. Рекомендуется использовать резисторы R1 равный 240 Ом. Рассчитаем рассеивающую мощность на резисторе R1:

$$P_{R1} = \frac{U_{R1}^2}{R_1} = \frac{1,25^2}{240} = 0,0065 \text{ Вт} \quad (23)$$

Рассчитаем значение резистора R2:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{опор}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + I_{ad} \cdot R_2, \quad (24)$$

где $U_{\text{опор}}$ – это напряжение, которое стабилизатор поддерживает на резисторе R_1 . В среднем значение опорного напряжение равняется 1,25 В;

I_{ad} – это ток, который вытекает из вывода подстройке (*Adj*), в среднем его значение составляет 50 мкА.

Выразим R2:

$$R_2 = \frac{U_{\text{вых}} - U_{\text{опор}}}{\frac{U_{\text{опор}}}{R_1} + I_{ad}} = \frac{3 - 1,25}{\frac{1,25}{240} + 50 \cdot 10^{-6}} = 332,8 \text{ Ом} \quad (25)$$

Выбираем номинал резистора из ряда E24 равный 330 Ом.

Рассчитаем мощность рассеивания на резисторе R2:

$$P_{R2} = \frac{U_{R2}^2}{R_2} = \frac{1,75^2}{330} = 0,009 \text{ Вт}$$

Выбираем резисторы и конденсаторы в соответствии с расчётами:

R1 – C1 – 4 – 0,125 Вт – 240 Ом $\pm 5\%$ [18]

R2 – 3306 F – 1 – 501 – 0,2 Вт $\pm 25\%$ [21]

C4 – K73 – 17 – 0,1 мкФ $\pm 5\%$ [17]

C5, C6 – K73 – 17 – 1 мкФ $\pm 5\%$ [17]

Резисторы R3 и R4 необходимы для ограничения тока через лазерный диод. Рассчитаем номинал резисторов, исходя из того, что напряжение на выходе схемы равно 3 В, через лазерный диод течет 150 мА.

$$R_3 = \frac{U_{\text{вых}}}{I} = \frac{3}{150 \cdot 10^{-3}} = 20 \text{ Ом} \quad (26)$$

Выбираем номинал резистора из ряда E24 равный 20 Ом.

Рассчитаем рассеивающую мощность:

$$R_3 = \frac{U_{R3}^2}{R_3} = \frac{3^2}{20} = 0,45 \text{ Вт}$$

Выбираем резисторы:

R3, R4 – C1 – 4 – 1 Вт – 20 Ом $\pm 5\%$ [18]

Для управления лазерными диодами используется МОП-транзисторы IRLR2905. Для стабильной работы полевых транзисторов подаем на его затвор управляющие напряжение через драйвер IR2103 (DD2, DD3) от микроконтроллера для обеспечения попеременной работы лазерных диодов. Технические характеристики полевого транзистора приведены ниже [22]:

- п-канал;
- максимальный ток стока 42 А;
- максимальное напряжение сток-исток 55В;
- максимальная мощность рассеивания 110Вт;
- допустимое напряжение на затворе $\pm 16\text{В}$;
- пороговое напряжение на затворе +1-+2В;

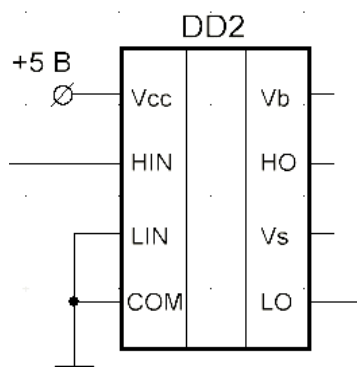


Рисунок 21 – Драйвер IR2103

Драйверы IR2103 используется для усиления мощности и напряжения импульсов и предназначен для управления силовыми ключами. Для полного открытия ключа необходимо 10-15 В, но так как микроконтроллер выдает напряжение 5 В, необходимо использовать устройство для его повышения – драйвер нижнего плеча [23].

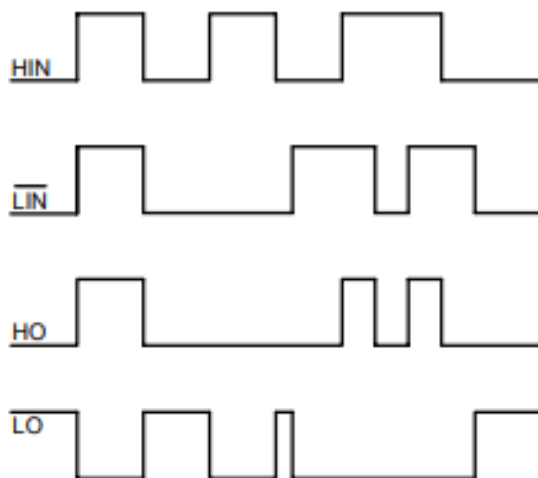


Рисунок 22 – Диаграмма работы драйвера IR2103

На рисунке 22 представлены диаграммы работы драйвера, для подключения нижнего плеча порты LIN, HO подключаем к земле, на порт HIN подаем управляющий сигнал, порт LO подключаем к затвору транзистора.

2. 2. 2 Расчет принципиальной схемы приемника излучения

Принципиальная электрическая схема приемника излучения представлена в приложении Б.

Для приема излучения используем кремниевый фотодиод ФД-256. Для анализа сигнала необходимо его усилить, для этого используем микросхему LM 358. Полученный аналоговый сигнал преобразуем в цифровой с помощью модуля АЦП/ЦАП У14-440 LCard. Ниже рассмотрим технические характеристики необходимых элементов. Принципиальная схема

На принципиальной схеме VD1, VD2 обозначены фотодиоды ФД-256. Данные фотодиоды применяются в качестве приемника инфракрасного излучения в составе оптико-электронной аппаратуры.

Технические характеристики ФД-256 [24]:

- площадь фоточувствительного элемента (эффективная) 1,37 мм²;
- рабочее напряжение 10В;
- диапазон спектральной чувствительности 0,4-1,1 мкм;
- максимум спектральной характеристики: 0,8 - 0,9 мкм;
- темновой ток не более 5 нА;
- интегральная токовая чувствительность 0,6 мА/лк;

Рассмотрим следующий элемент принципиальной схемы DA1, DA2 – микросхема LM 358 [25].

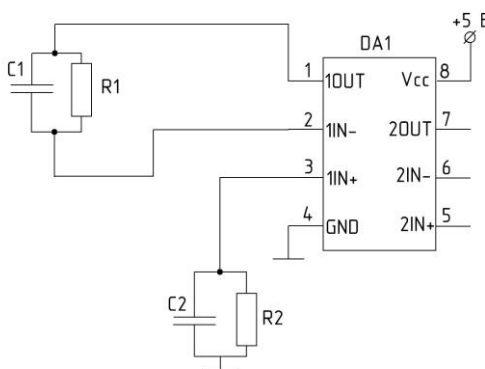


Рисунок 23 – Схема подключения микросхемы LM 358

Микросхема реализована в стандартных корпусах DIP, SO. У данной схемы имеются 8 выводов. Также ее возможно питать как однополярным, так двухполярным напряжением в зависимости от типа источника и требований схемы, в которой она включена. В данной схеме имеются два усилителя: выводы микросхемы 2, 3 и 5,6 входы усилителей, 1,7 – выводы, с которых снимается усиленный сигнал. Технические характеристики LM 358:

- питание: 3-32 В;
- биполярное питание: $\pm 1,5\text{В}$ до $\pm 16\text{ В}$;
- потребляемый ток 0,7 мА;
- напряжение смещения по входу 3 мВ;
- входной ток смещение 20 нА;
- скорость нарастания на выходе 0,3 В/мсек;
- ток на выходе 30-40 мА;
- максимальная частота 0,7 до 1,1 МГц
- коэффициент дифференциального усиления 100 дБ;
- рабочая температура 0° до 70°;

Конденсаторы С1 и С3 включены параллельно резисторам в обратной связи. Емкость конденсатора обратной связи обеспечивает устойчивость схемы и определяет ее полосу пропускания. Корректирующий конденсатор нужен для того, чтобы предотвратить самовозбуждение ОУ, охваченного обратной связью.

Рекомендуется использовать конденсаторы [17]:

$$C1=C3=1 \text{ нФ}$$

$$C1=C3 - \text{K73-17-0,001 мкФ} \pm 5\%$$

В данной схеме включения рекомендуется в отрицательную обратную связь подключать резисторы $R1=R3=1 \text{ МОм}$.

Рассчитаем мощность на резисторах:

$$P = \frac{U_{\text{пит}}^2}{R_2} = \frac{10^2}{10^6} = 0,0001 \text{ мВт}$$

При больших значениях сопротивлений $R2, R4$ эти резисторы начинают давать значительный температурный дрейф напряжения из-за температурного

коэффициента входного тока усилителя. Чтобы компенсировать эту ошибку, к инвертирующим входам подключаем резистор R2 и R4 с такими же сопротивлениями, как резисторы в обратной связи, и добавляем емкостную развязку для устранения шума, емкости берем в соответствии с рекомендациями $C2=C4 = 0,1\text{мкФ}$.

Выбираем:

$R1=R2=R3=R4 - C1-4-1 \text{ Вт-1 Мом} \pm 5\% [18]$

$C2=C4 - K73-17-0,1 \text{ мкФ} \pm 5\% [17]$

Рассмотрим основные параметры модуля АЦП/ЦАП E14-440 LCard. Это универсальный модуль АЦП/ЦАП с интерфейсом USB 2.0, удобно использовать для создания портативных измерительных устройств с использованием ноутбука. Не требует дополнительного источника питания [26].

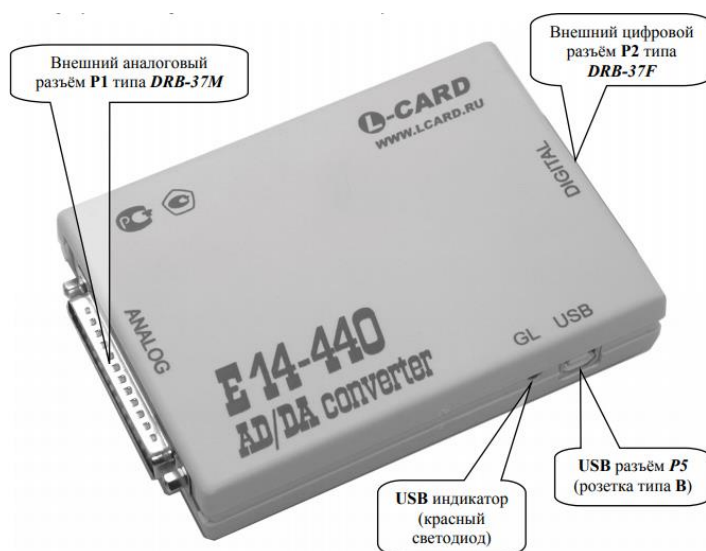


Рисунок 24 – Внешний вид модуля E14-440

Имеет программно-управляемую настройку параметров сбора данных: числа и последовательности опроса входных каналов, диапазонов измерения, частоты преобразования АЦП. Возможна синхронизация сбора данных по внешнему синхросигналу или по уровню входного сигнала.

Технические характеристики входного аналогового тракта:

- количество каналов: 16 дифференциальных или 32 с "общей землей";
- разрядность АЦП: 14 бит;

- поддиапазоны измерения входного сигнала: ± 10 В, $\pm 2,5$ В, $\pm 0,625$ В, $\pm 0,156$ В;
- максимальная частота преобразования 400 кГц;
- синхронизация: внутренняя, от синхросигнала, по уровню аналогового сигнала;
- устойчивость к перегрузкам входным измерительным сигналом ± 30 В (питание вкл.), ± 10 В (питание выкл.).

Для подключения аналоговых сигналов у модуля имеется внешний разъем DRB-37M.

Таблица 2 – Внешний аналоговый разъем DRB-37M

Сигнал	Назначение
DAC<1...2>	Выходы каналов 1, 2 ЦАП. Диапазон выходного напряжения ± 5 В
AGND	Аналоговая земля
GND32	– В однофазном режиме это общий инвертирующий вход каналов 1...32; – Для всех режимов должен быть подключен к AGND (в дифференциальном режиме – для увеличения помехозащищенности).
X<1-16>	– Неинвертирующий вход каналов 1-16 для дифференциального и однофазного режима; – Рабочий диапазон напряжения ± 10 В; – Неиспользуемые входы X<1-16> рекомендуется подсоединить к AGND.
Y<1-16>	– Инвертирующий вход каналов 1-16 для дифференциального режима; – Вход каналов 17...32 для однофазного режима; – Рабочий диапазон напряжения ± 10 В; – Неиспользуемые входы Y<1-16> рекомендуется подсоединить к AGND.
TRIG	– Вход внешней цифровой синхронизации сигнала; – Совместим с выходным логическим уровнем TTL/CMOS элементов с напряжением питания +5 В.

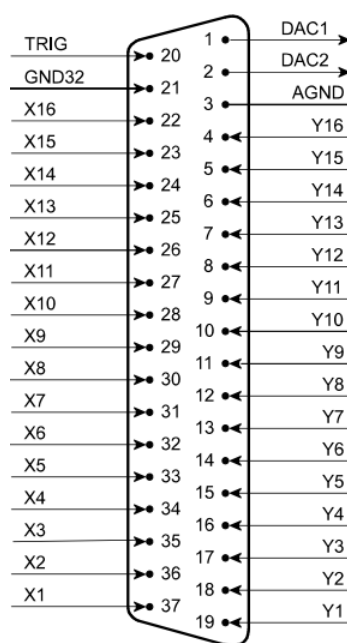


Рисунок 25 – Внешний аналоговый разъем DRB-37M

Перед подключением к модулю каких-либо источников сигнала необходимо обеспечить общий контур заземления. Для этого нужно соединить контакт 3 аналогового разъёма модуля с контуром заземления подключаемой схемы. При дифференциальной схеме подключения сигнала измеряется разность напряжений между двумя входами канала. При таком подключении обеспечивается подавление синфазных помех, возникающих на соединительных проводах, не менее чем на 60 дБ. На рисунке 9 показана схема подключения модуля в дифференциальном режиме.

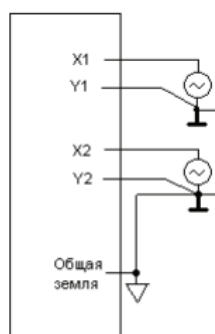
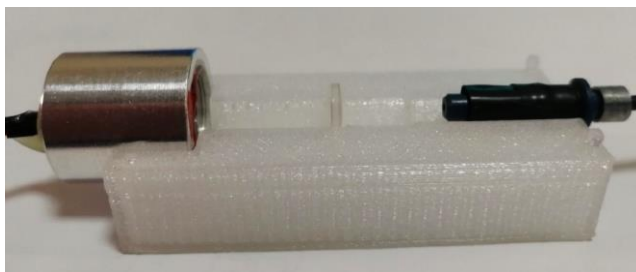


Рисунок 26 – Схема подключения модуля АЦП

3 Экспериментальные исследования

3. 1 Оптические соединители и оптоволокна

Для проведения экспериментов был собран макет оптоволоконной системы. Основные трудности в создании оптической системы заключаются в правильном вводе и приеме излучения. Для соединения источника и приемника излучения с оптоволоконном были напечатаны на 3D принтере специальные соединители, представленные на рисунке. Соединитель состоял из двух деталей. В одной из деталей были сделаны пазы, а в другой выступы для скрепления деталей. Для лазерного диода, фотоприемника, линзы и оптоволокну были сделаны посадочные места соответствующих размеров. Для фокусировки излучения лазерного диода на торце оптоволокну, и фокусировки принимаемого сигнала на фотоприемник установлены линзы. Взаимное расположение элементов схемы определялась заранее при проектировании соединителя с учетом фокусного расстояния линзы, которое составляло 8 мм.



а)



б)

Рисунок 27 – Соединитель источника (а) и приемника (б) излучения с
ОПТОВОЛОКНОМ

Для исследования биологических объектов удобным вариантом могло бы являться оптоволокну с разветвителем, например, 2:1 (рисунок 28). Предполагалось, что первый вывод оптоволокну (1) подводится к объекту исследования, второй вывод оптоволокну (2) подключается к лазерному диоду, третий вывод (3) – к фотоприемнику. Из доступных на рынке (не под заказ) было приобретен разветвитель со следующими параметрами:

- тип сплиттера: ST Box type PLC 1x2 сплиттер;
- тип волокна: одномодовое G657A, 0.9 мм;
- диаметр модового пятна: $8,6-9,5 \pm 0,4$ мкм;
- диаметр оболочки: $125 \pm 0,7$ мкм;
- обратные потери : ≥ 55 дБ;
- рабочая полоса пропускания: 1260-2650 нм;

Для начала была проведена проверка прохождения излучения по оптоволокну. Ввод и прием лазерного излучения осуществлялся с помощью соединителя, описанного выше. К вводам 2 и 3 оптоволокну подключили лазерный диод и фотодиод. Вывод 1 был подведен вплотную к зеркалу, отражение излучения которого составляло 80-90% для красного диапазона длин волн.



Рисунок 28 – Оптоволокну с разветвителем

На рисунке показан полученный сигнал после отражения от зеркала, видно сигнал очень слабый, так как происходит затухание светового излучения при прохождении по оптоволокну.

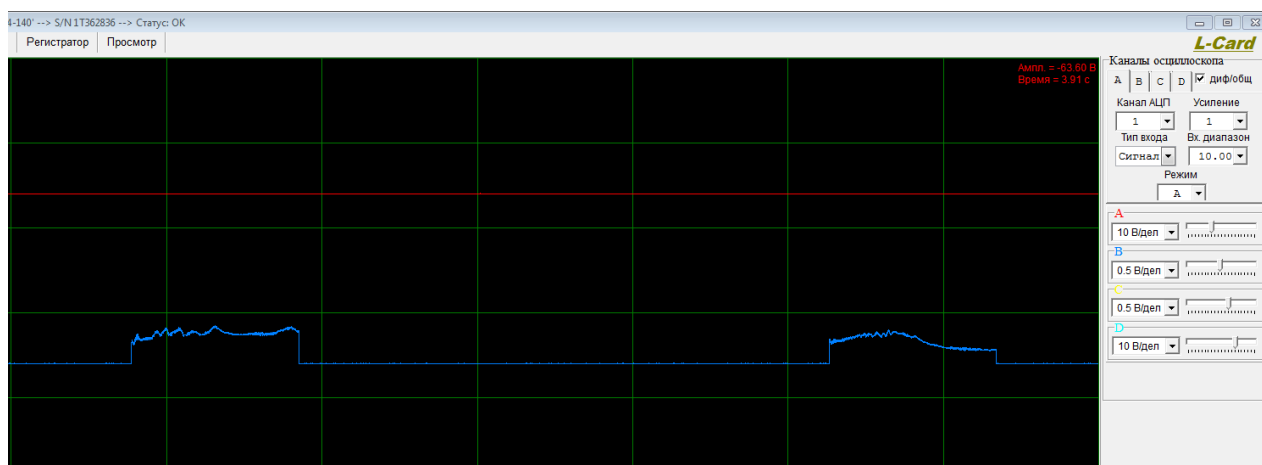


Рисунок 29 – Осциллограмма сигнала, отраженного от зеркала

Причиной таких потерь являются несколько факторов. Во-первых, это потери излучения при вводе излучения. Оптоволокну является одномодовым, толщиной ~ 9 мкм, соответственно, ввести излучение в такое оптоволокну без применения специализированных «заводских» соединителей, с минимальными потерями невозможно. При соединении источника излучения с оптоволокну могли быть допущены неточности в вводе излучения, так как для выполнения явления полного внутреннего отражения важно правильно согласовать угол падения луча света с торцом волокна. Во-вторых, использованное оптоволокну предназначено для пропускания света с длиной волны 1260-1650 нм. Очевидно, что излучение с длиной волны 650 нм при прохождении значительно поглощается и рассеивается. В-третьих, отраженный от зеркала сигнал возвращается обратно в оптоволокну также с потерями. И, в-четвертых, распространяясь от коннектора 1 и коннектору 3, излучение делится на две части. Тем не менее, наблюдался слабый сигнал на выходе из коннектора 3 (рисунок 29). Это свидетельствует о потенциальной возможности применения подобных разветвителей в будущем при использовании более чувствительным фотоприемником.

Для следующей серии опытов использовалось оптоволокну без разветвителя, предназначенное для красной длины волны (625-740 нм) производства фирмы Avago HFBR – RLS001. При пропускании излучения через него было обнаружено, что мощность излучения падает примерно в 3 раза. Мощность лазерного излучения на выходе лазерного диода составляла 87 мВт, а мощность на выходе оптоволокну составляло 26 мВт. Причинами затухания сигнала в оптоволокну могут быть поглощение и рассеяние, вызванные неоднородностью оптического материала из-за различного рода примесей, а также возможны потери на микроизгибах оптического волокна. Кроме того, существенные потери излучения имеют место при вводе излучения в оптоволокну. Основной причиной потерь излучения при вводе является неровность торца волокна и неперпендикулярность плоскости торца оптической оси оптоволокну. Было проведено сравнение четырех оптоволокон: одного с заводским обжимом коннектора и трех с обжимом в условиях нашей лаборатории. Общие потери с использованием заводского оптоволокну составили, как отмечалось выше, 70%. При использовании трех других, потери составили 90, 96 и 97%.



Рисунок 30 – Оптоволокну без разветвителя

3. 2 Объект исследования

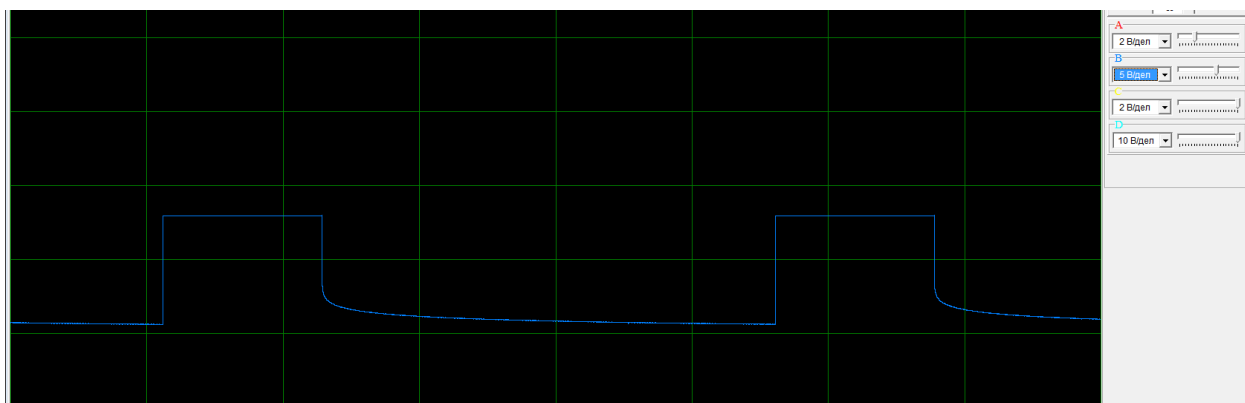
Для проведения опытов необходимо подобрать объект исследования, чтобы его оптические свойства были схожи с оптическими свойствами

головного мозга. Фантом был создан по исследованиям, приведенным в статье [27]. В данном исследовании мозговую ткань заменяли дисперсионной жидкостью на основе масляной эмульсии (майонез), кость была заменена фторопластом. В статье была приведена оценка оптических свойств выбранных материалов с реальными образцами тканей, измерялась интенсивность прошедшего и обратно рассеянного излучения через данные объекты исследования. При исследовании было выяснено, что оптические свойства данных материалов схожи с оптическими свойствами биологических тканей. Чтобы удостовериться в схожести оптических свойств фторопласта и костной ткани головного мозга, были проведены следующие опыты. Для начала была проведена визуальная оценка размера и интенсивности пятна излучения, пройденного через свиной череп и фторопласт. Результаты приведены на рисунке, на них видно, что размеры и интенсивность пятна совпадают. Толщина кости и фторопласта примерно одинаковая.

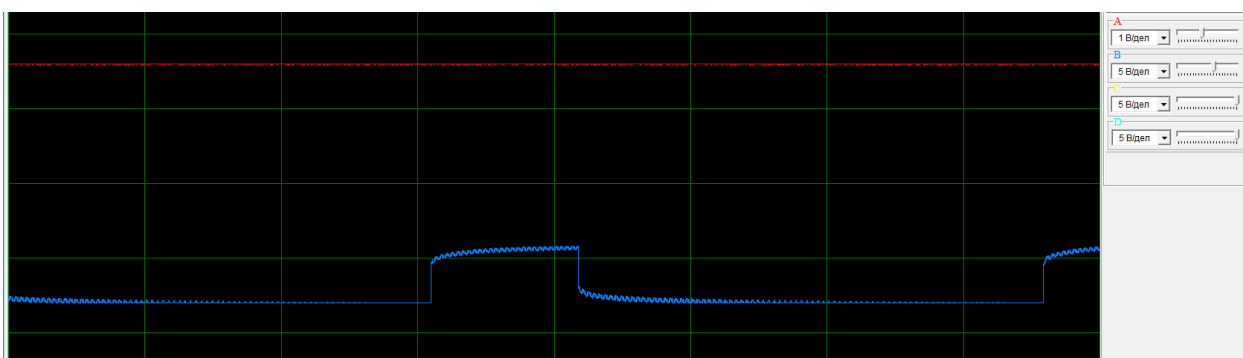


Рисунок 31 – Визуальная оценка излучения через исследуемые объекты (кость свиного черепа – слева, фторопластовая пластина – справа).

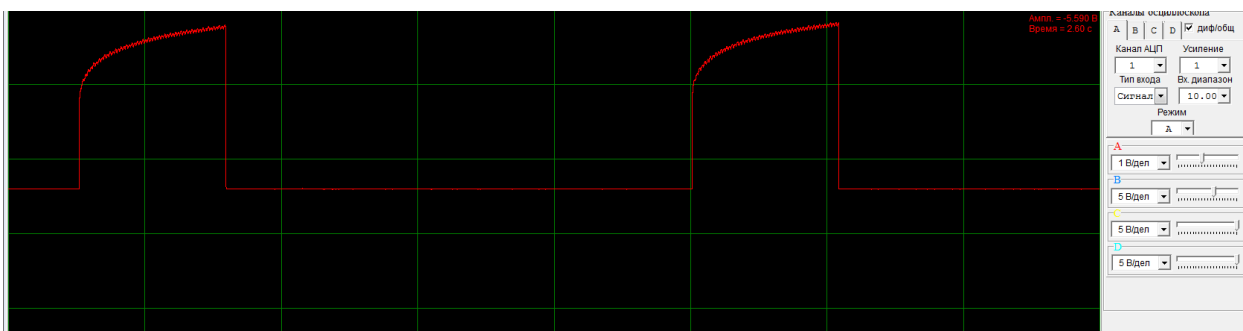
На рисунке проведены сигналы, полученный через кость свиного черепа и фторопластовую пластину, снятые с помощью фотоприемника ФД256. На осциллограммах видно, что поглощение сигнала через кость и фторопласт имеют примерно одинаковое значение.



а)



б)



в)

Рисунок 32 – Осциллограмма сигналов: а) без объекта; б) через кость; в) через фторопластовую пластину

3.3 Исследования отраженного излучения

Обнаружение оптических неоднородностей в головном мозге основано на исследовании пройденного излучения через исследуемый объект, интенсивность которого уменьшается за счет его поглощения этой неоднородностью. Как правило, исследования проводятся на отражение с вводом и приемом излучения

с поверхности головы. На рисунке 33 приведены схемы экспериментов. Для создания среды, имитирующей структуры головы, были использованы материалы, оптические свойства которых наиболее близки к свойствам реального объекта. Свойства данных материалов были рассмотрены выше. Были использованы ёмкость с дисперсной жидкостью, заменяющая ткань мозга, и пластина фторопласта схожая по оптическим свойствам с костной тканью головы. Излучение нужно подводить вплотную к исследуемому объекту для меньшей потери интенсивности. Излучатель и приемник крепились в пенополиэтилен, который вплотную прилегал к пластинке фторопласта.

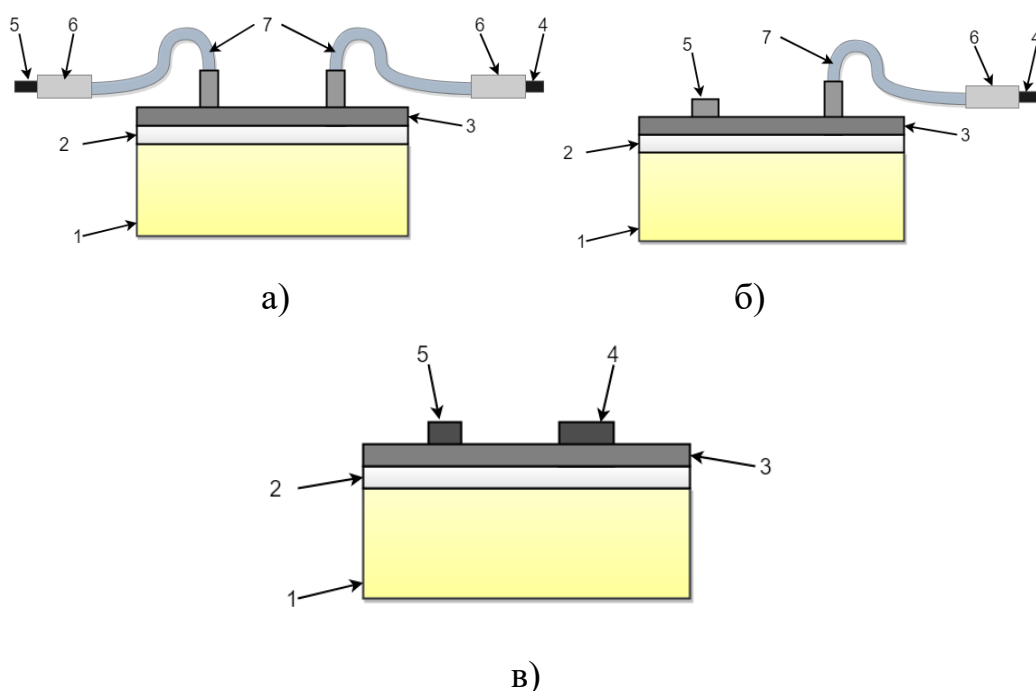


Рисунок 33 – Схема эксперимента на отражение: а) с двумя оптоволоконными; б) с одним оптоволоконном; в) без оптоволокон. 1 – емкость с дисперсионной жидкостью, 2 – пластина фторопласта, 3 – пенополиэтилен, 4 – источник излучения, 5 – приемник излучения, 6 – оптические соединители, 7 - оптоволоконна

В опытах на отражение при вводе и приеме излучения с помощью оптоволоконна возникла проблема в сложности регистрации сигналов из-за их малой интенсивности. При подаче и приеме света с помощью оптоволоконна (рисунок 33, а) наблюдался очень слабый сигнал (рисунок 34). Причины слабого

сигнала на выходе из оптоволокну описаны выше. Тем не менее, визуально мы могла наблюдать наличие сигнала, что свидетельствует о потенциальной возможности регистрации с помощью оптоволокну с применением более чувствительных фотоприемников.

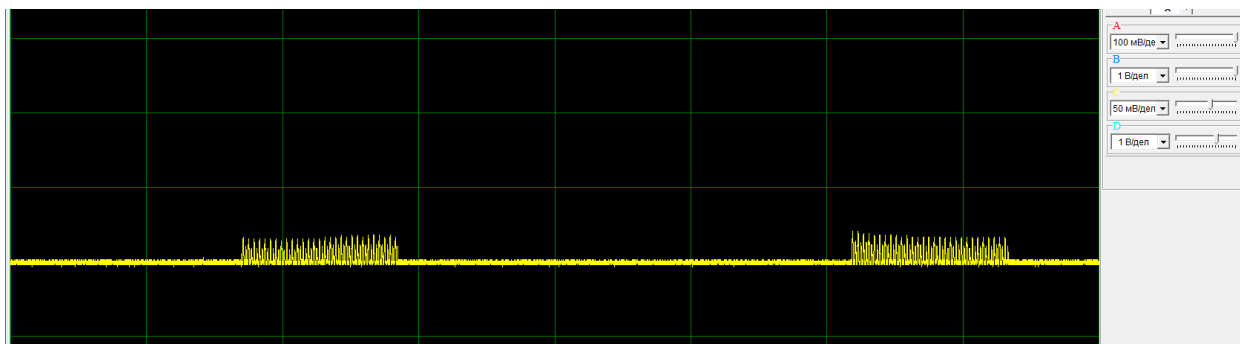


Рисунок 34 – Осциллограмма сигнала на отражение

Далее был проведен опыт с регистрацией сигнала фотоприемником напрямую, без применения оптоволокну (рисунок 33, б). На рисунке 35 видно, что сигнал имеет большую амплитуду за счет избавления от потерь на одном оптоволокну.

При подаче и приеме излучения без оптоволокну (рисунок 33, в) наблюдается еще более интенсивный сигнал, что подтверждает природу потерь излучения в оптоволокну (рисунок 36).

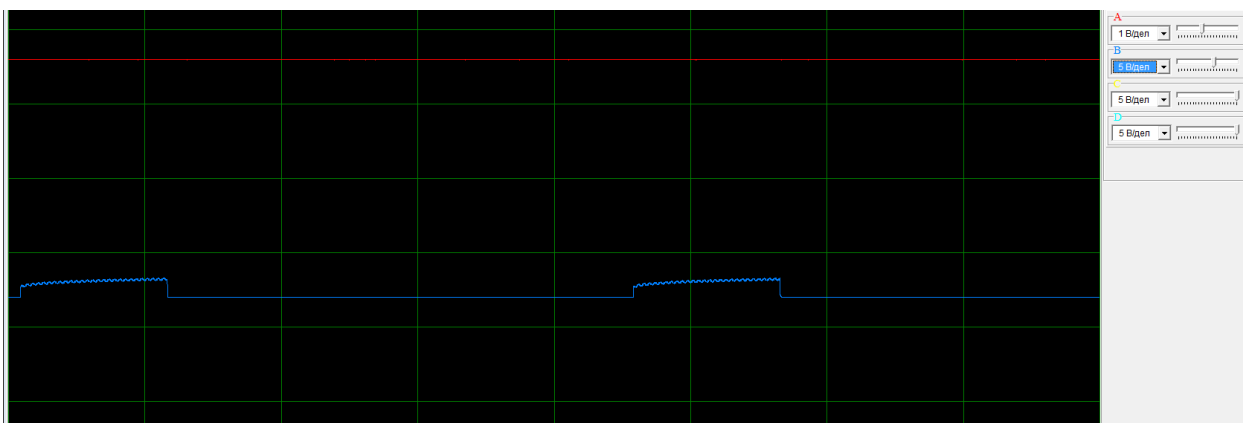


Рисунок 35 – Осциллограмма исследования на отражение, сигнал принят фотоприемником без оптоволокну

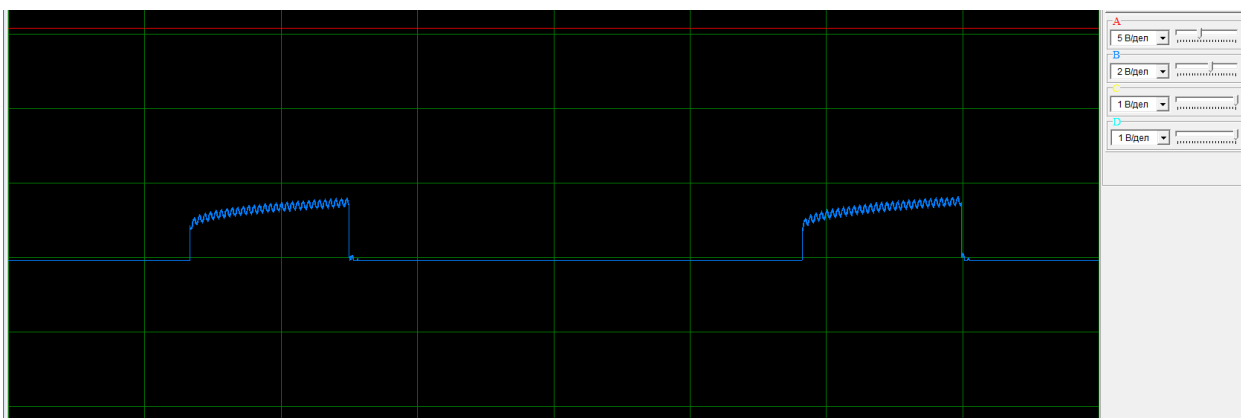


Рисунок 36 – Осциллограмма исследования на отражение, сигнал подан и принят без оптоволокну

Так как в оптоволокне наблюдаются существенные потери излучения, следующие опыты были основаны на исследовании прошедшего излучения через объект. Исследование на просвет проводятся для обнаружения оптических неоднородностей у новорожденных, так как поглощение излучения в костной ткани младенца не такое большое, как в костной ткани взрослого человека. Толщина костной ткани черепа ребенка еще достаточно маленькая, поглощение небольшое, поэтому можно проводить исследования на просвет. Данный метод обнаружения гематом у младенцев используется в системе Monstir [1].

3. 4 Исследования пройденного через объект излучения

На рисунке 37 приведены схемы экспериментов при исследовании объект на просвет. Материалы для проведения опытов были использованы те же, что и в предыдущих опытах, были изменены расположения источника и приемника излучения. Также были проведены опыты с использованием оптической неоднородностью (сгусток свернувшейся крови), которую поместили под одним из источников излучения.

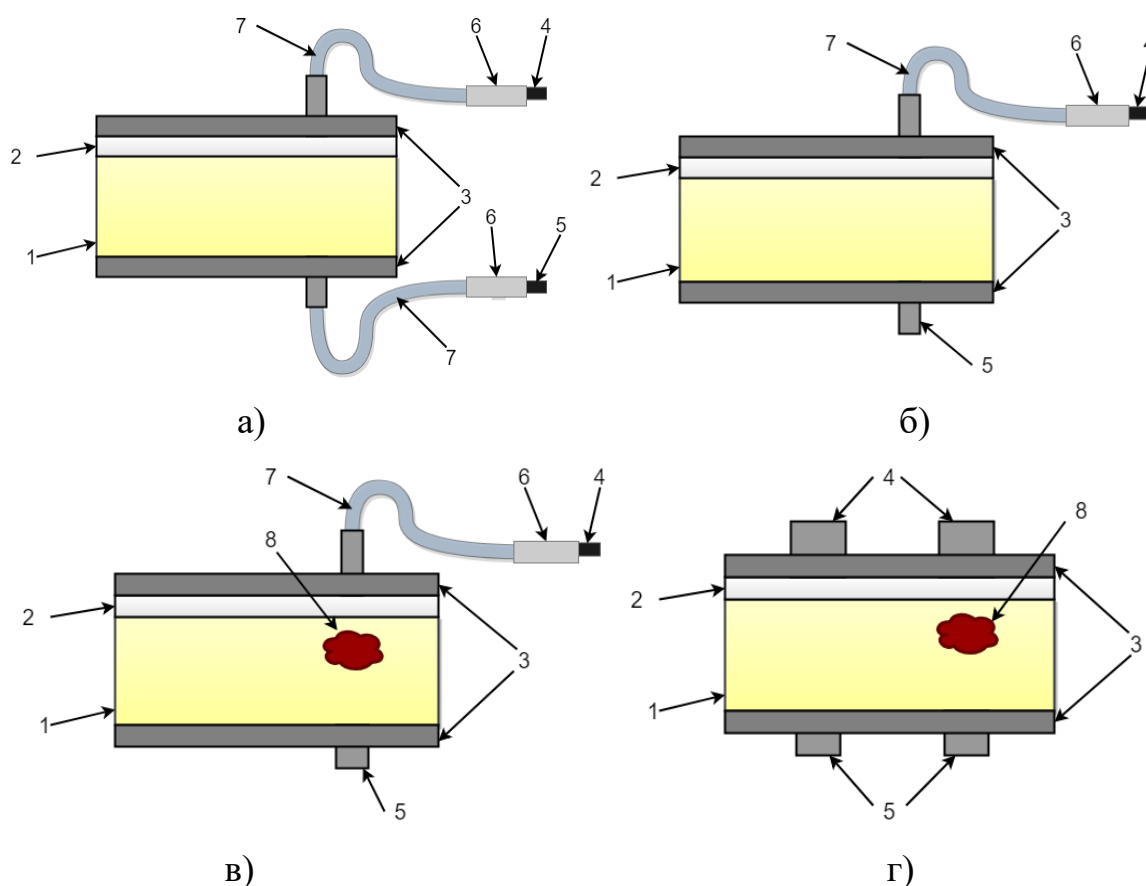


Рисунок 37 - Схема эксперимента на просвет: а) с двумя оптоволоконными без оптической неоднородности; б) с одним оптоволоконным без оптической неоднородности; в) с одним оптоволоконным с оптической неоднородностью; г) без оптоволокон, с использованием двух излучателей, с оптической неоднородностью. 1 – емкость с дисперсионной жидкостью, 2 – пластина фторопласта, 3 – пенополиэтилен, 4 – источник излучения, 5 – приемник излучения, 6 – оптические соединители, 7 – оптоволоконна, 8 – оптическая неоднородность

При подаче и приеме излучения с помощью оптоволоконна в исследовании на просвет объект исследования без оптической неоднородности (рисунок 37, а) наблюдался сигнал с достаточно малой интенсивностью, результат представлен на рисунке 38. При помещении оптической неоднородности (свернувшейся крови), наблюдалось свечение приемного оптоволоконна, но сигнал фотоприемником не регистрировался, что связано с недостаточной чувствительностью приемника. В перспективе, с применением более

чувствительного приемника, прием слабых сигналов позволит регистрировать неоднородности объекта. В работе [1] для приема сигналов использовался многоканальный фотоумножитель.

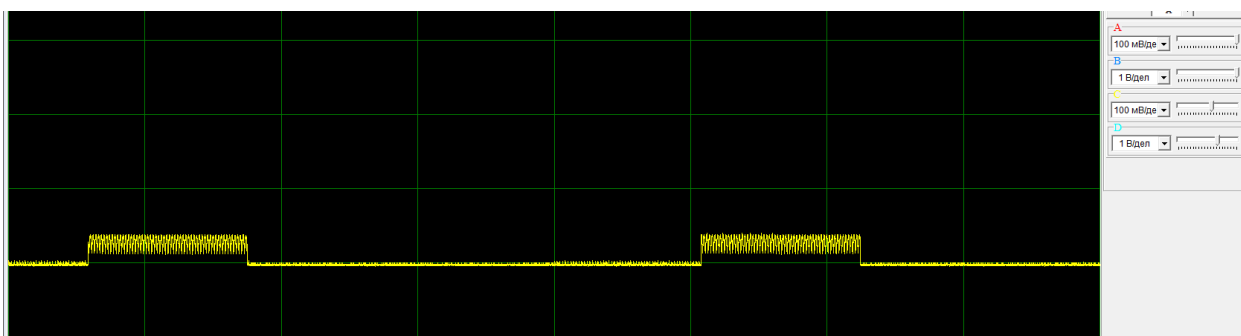


Рисунок 38 – Осциллограмма излучения, прошедшего через объект без оптических неоднородностей

В следующих опытах для приема сигнала использовался фотоприемник без оптоволокну (рисунок 37, б). При исследовании объекта с оптической неоднородностью (рисунок 37, в) видно на рисунке 40, что принятый сигнал уменьшился по сравнению с сигналом, прошедшим через объект без оптической неоднородности (рисунок 39), что связано с поглощением части излучения свернувшейся кровью.

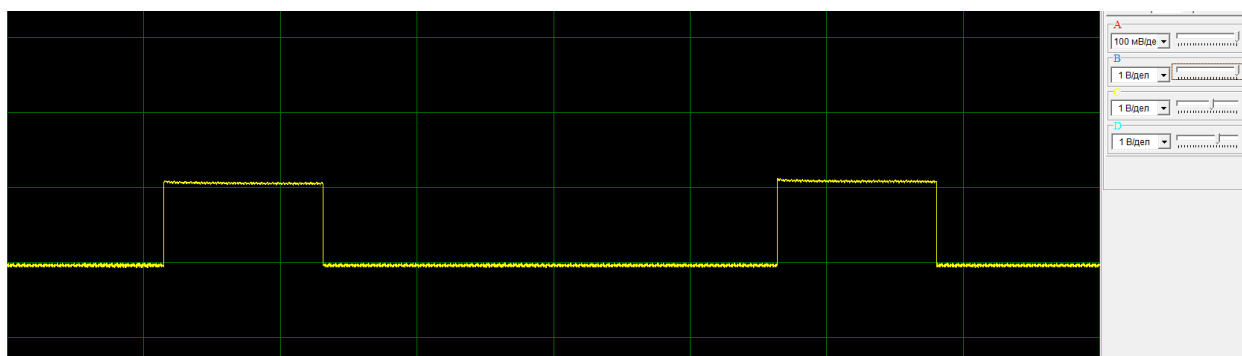


Рисунок 39 – Осциллограмма излучения, прошедшего через объект без оптической неоднородности

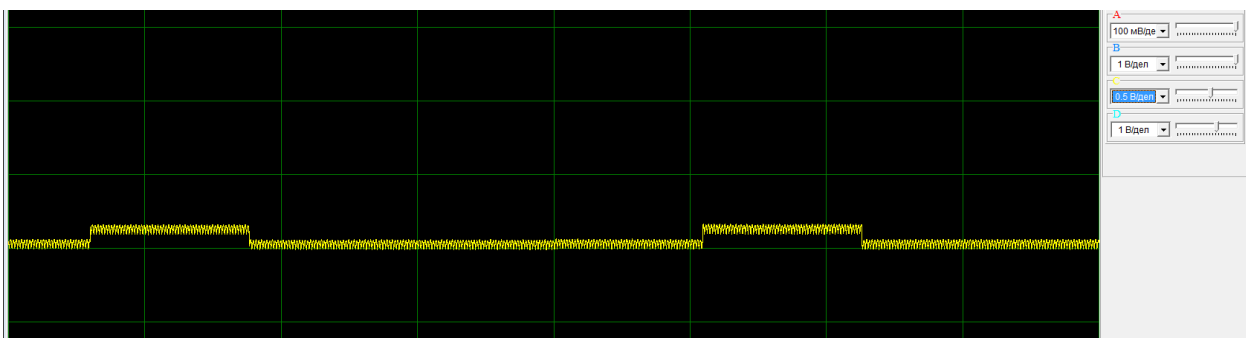


Рисунок 40 – Осциллограмма излучения, прошедшего через объект с оптической неоднородностью

При освещении исследуемого объекта двумя лазерными диодами (рисунок 37, г), получились осциллограммы, представленные на рисунке 41. Видно, что сигнал на первом фотоприемнике меньше, чем на втором, так как под ним находится сгусток свернувшейся крови, который поглощает излучение.

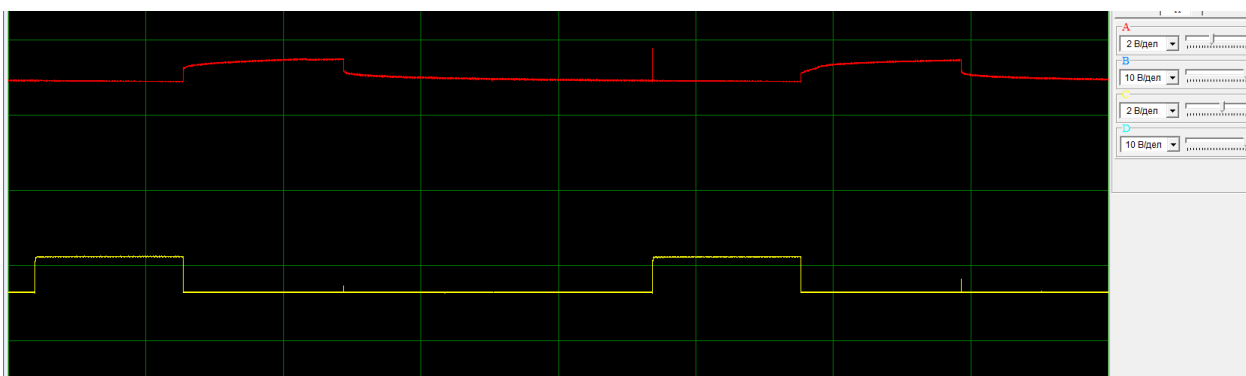


Рисунок 41 – Осциллограмма излучения, прошедшего через объект с оптической неоднородностью и без нее

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Д51	Кияницына Анастасия Алексеевна

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.04.Биотехнические системы и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 33664 руб. Оклад инженера- 21760 руб. Материальные затраты, сформированы на основе прайсов компаний – 3817 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Дополнительная заработная плата 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30% Норма амортизации 33,3 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	-Анализ конкурентных технических решений; -SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование работ; Разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Описание потенциального эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Многоугольник конкурентоспособности
2. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21. 01 2019
--	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОСГН ШБИП	Потехина Нина Васильевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д51	Кияницына Анастасия Алексеевна		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целью данного раздела является анализ ресурсоэффективности и конкурентоспособности неинвазивного метода исследования головного мозга с использованием ближнего инфракрасного излучения. Для этого будет проведен анализ конкурентоспособности технических решений, SWOT-анализ, планирование работ и рассчитан бюджет затрат. Данный метод достаточно востребованный благодаря своему безопасному воздействию на человека и возможностью создать портативный прибор.

В настоящее время для того, чтобы пройти обследование головного мозга для обнаружения каких-либо повреждений или заболеваний необходимо пройти обследования на МРТ, КТ, но данное оборудование имеется не во всех поликлиниках. Во-первых, оно очень дорогое, во-вторых, имеются определенные требования к эксплуатации (правильное оборудование кабинета, обеспечение безопасности пациента и персонала и тд.). Поэтому у людей, живущих в отдаленных местностях возникают сложности в прохождении обследования.

Портативный прибор с использованием инфракрасного излучения позволяет пройти диагностику мозга в своей местности, после чего врач определит имеется ли необходимость отправлять пациента в городские медицинские центры или нет.

Еще одно из возможных применений данного портативного прибора – это обнаружение черепно-мозговой травмы (ЧМТ). Повреждение головного мозга является самым распространённым видом травматизма. При травматических повреждениях головного мозга важно оперативно выявить наличие

внутричерепных гематом, поэтому важно создать прибор, который можно переносить и применять в «полевых» условиях.

Создание портативного прибора для диагностирования заболеваний и повреждений мозга является актуальной задачей и может быть применимо в сельских местностях и в «полевых» условиях.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для успешного внедрения научной разработки необходимо изучить преимущества и недостатки конкурирующих методов (МРТ, КТ) диагностики головного мозга, чтобы вносить соответствующие поправки во время создания прибора для его лучшего продвижения на рынке в будущем.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		МРТ	КТ	ДОТ	Кмрт	Ккт	Кдот
1. Безопасность	0,3	4	2	4	1,2	0,6	1,2
2. Противопоказания	0,2	3	2	4	0,6	0,4	0,8
3. Побочные действия	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
4. Стоимость оборудования	0,2	3	3	4	0,6	0,6	0,8
6. Простота проведения процедуры (неподвижность)	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
7. Требования к помещению	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
Итого	1				3,4	2,5	4

В таблице представлены основные конкуренты и критерии оценки конкурентоспособности. Каждый показатель конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей определяются в соответствии с их значимостью для пациента и врачей и в сумме составляют 1. По таблице видим, что МРТ И ДОТ имеют

примерно одинаковое количество баллов, КТ значительно им уступает из-за небезопасности данной процедуры. По баллам ДОТ немного превосходит своих конкурентов, это говорит о том, что данный метод может конкурировать с существующими методами диагностики в поставленных для него задачах.

На рисунке 42 наглядно представлены преимущества и недостатки предложенного и существующих методов диагностики головного мозга. Видно, что ДОТ имеет преимущество по таким показателям, как безопасность, отсутствие противопоказаний, требований к помещению и процедуре, а также стоимость. КТ значительно уступает конкурентам из-за небезопасности процедуры и противопоказаний.

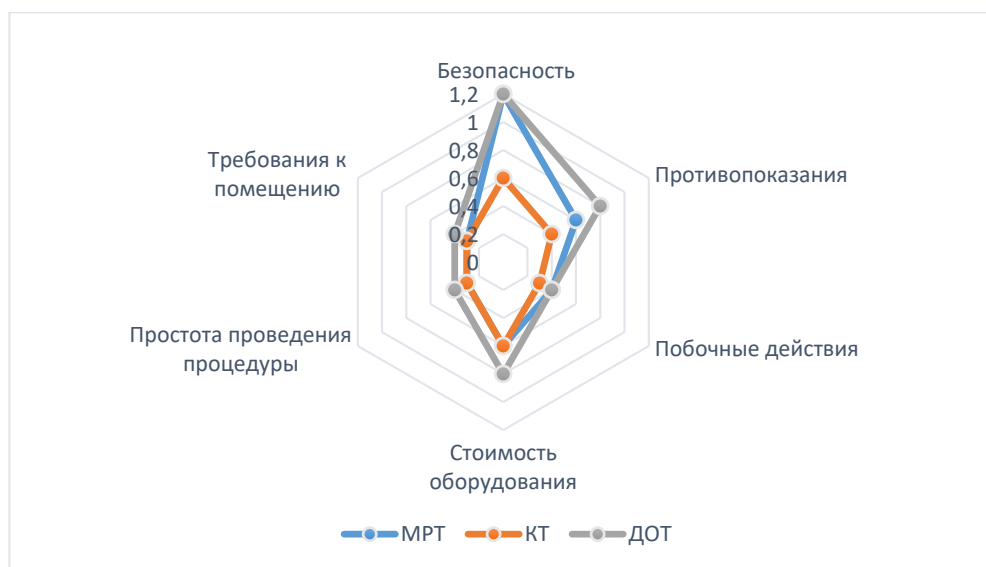


Рисунок 42 – Многоугольник конкурентоспособности

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT анализ – это метод оценки ситуации и будущих перспектив проекта, основная задача которого: определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды. На основании анализа делается вывод: правильно развивается проект, какие риски нужно предусмотреть, что следует делать, каковы перспективы проекта.

Таблица 4 – Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1. Безопасность метода диагностики головного мозга (возможность использовать для обследования новорожденных) С2. Более низкая стоимость создания прибора по сравнению с другими устройствами. С3. Портативность прибора. С4. Отсутствие обязательных требований к кабинету для проведения диагностики. С5. Обследование является кратковременным и безболезненным.	Слабые стороны: Сл1. Слабое разрешение прибора по сравнению с другими аппаратами. Сл2. Невозможность решения обратной задачи в настоящий момент. Сл3. Необходимость в проведении опытов на человеке. Сл4. Отсутствие научной группы – квалифицированного персонала; Сл5. Долгая доставка элементов необходимых для сбора прибора.
Возможности: В1. Привлечение специалистов из СибГМУ, использование возможностей СибГМУ для проведения опытов; В2. Использование менее дорогого по сравнению с иностранным отечественного оборудования В3. Электронные компоненты отечественных производителей. В4. Появление дополнительного спроса на новый прибор (получение финансовой поддержки от Министерства обороны) В5. Набор персонала из аспирантов и преподавателей В6. Улучшение технических характеристик нашего портативного прибора.	1. Безопасность, портативность, низкая стоимость влияют на появление дополнительного спроса, который в последствии позволит получить необходимое финансирование от заинтересованных организаций; 2. Низкая стоимость прибора повышает конкурентоспособность по отношению к имеющимся иностранному оборудованию; 3. Замена электронных иностранных элементов на элементы отечественного производителя позволит понизить стоимость прибора и уменьшить время производства прибора; 4. Безопасность метода и отсутствии требований к кабинету для проведения диагностики позволят привлечь медицинских специалистов для проведения опытов и подтверждения эффективности данного метода;	1.3а счет малой разрешающей способности, прибор уступает по определенным техническим параметрам, имеющимся у иностранных приборов. В перспективе возможно улучшить эти технических параметров и повысить конкурентоспособность; 2. Необходимо провести опыты на биологических объектах для продвижения оптического прибора на рынок, эта задача решиться подписанием договора с медицинским центром; 3. Для слаженной работы необходимо организовать научную группу из квалифицированных работников - молодых ученых; 4. Время создания прибора и его стоимость увеличиваются, так как используются электронные компоненты из зарубежья. Данная проблема решиться если появятся на российские компоненты с необходимыми техническими параметрами;

Продолжение таблицы 4

Угрозы: У1. Появление новых более эффективных методов диагностики заболеваний и повреждений головного мозга. У2. Сложности в нахождении квалифицированных работников. У3. Отказ в подписание договора с медицинскими центрами. У4. Понижение стоимости диагностического оборудования (МРТ, КТ) У5. Отсутствие доверия к новому методу диагностики.	1. Понижение стоимости имеющихся диагностических оборудования не окажет никакого влияния, так как создаваемый прибор достаточно экономичен, также он не имеет строгих требований к кабинету обследования, и является портативным, что дает ему преимущество; 2. Безопасность и безболезненность метода диагностики головного мозга может повлиять на доверие пациентов и медицинских работников к данному методу;	1. Появление более эффективных методов диагностики может негативно отразиться на продвижение данного прибора, так как имеются ряд недостатков: слабое разрешение и нерешенная обратная задача; 2. Отсутствие научной группы может отодвинуть время начала работы над прибором, так как имеется сложность в нахождении квалифицированных работников; 3. Для проверки данного прибора и получения разрешения на внедрения его в продажу необходимо провести опыты на биообъектах, что может быть не осуществимо из-за отказа в подписании договора с медицинскими центрами; 4. Низкая разрешающая способность и отсутствии изображения обследуемого объекта, может поставить под сомнение эффективность и вызвать недоверии нового метода;
--	---	--

Из матрицы SWOT видно, что необходимо сделать упор на такие сильные стороны, как безопасность, портативность и экономичность прибора, так как именно эти сильные стороны проекта связаны с наибольшим количеством возможностей. Что касается слабых стороны, необходимо обратить внимание на улучшение технических параметров. Работа над этими недостатками позволит повысить конкурентоспособность, уменьшить влияние внешних угроз на проект.

4.2 Планирование научно-технического исследования

4.2.1 Структура научно-технического исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Таблица 5 – Перечень работ и распределение исполнителей

№ работы	Наименование работы	Исполнители работы
1	Выбор научного руководителя бакалаврской работы	Кияницына А. А.
2	Составление и утверждение темы	Губарев Ф. А., Солдатов А. А., Кияницына А. А.
3	Составление календарного плана-графика работы	Губарев Ф. А., Солдатов А. А.,
4	Подбор и изучение литературы по теме	Кияницына А. А.
5	Разработка электрической схемы	Кияницына А. А.
6	Подбор и покупка необходимых электрических компонентов	Кияницына А. А.
7	Создание экспериментальной установки для проведения опытов, создание фантома головы	Кияницына А. А.
8	Выполнение опытов, анализ результатов	Кияницына А. А.
9	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Губарев Ф. А., Кияницына А. А., Солдатов А. А.,
10	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Кияницына А. А.
11	Подведение итогов, оформление работы	Кияницына А. А.

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (27)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{ч_i}, \quad (28)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.- дн.

$ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научно-технического исследования

Построим наглядный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. График представлен на рисунке 43.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни и занесем данные в таблицу 6. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (29)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Согласно производственному календарю (для 6-дневной рабочей недели) в 2019 году 365 календарных дней, 299 рабочих дней, 66 выходных/праздничных дней.

Рассчитаем коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22, \quad (30)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Таблица 6 – Временные показатели проведения научного исследования

Наименование работы	Исполнители работы	Трудоемкость работ, чел-дни			Длительность работ, дни	
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	T_p	T_k
Выбор научного руководителя бакалаврской работы	Кияницына А. А.	2	3	2,4	2	2
Составление и утверждение темы бакалаврской работы	Кияницына А. А.	2	3	2,4	1	1
	Губарев Ф. А.	2	3	2,4	1	1
	Солдатов А. А.	2	3	2,4	1	1
Составление календарного плана-графика выполнения бакалаврской работы	Губарев Ф. А.	4	5	4,4	4	5
	Солдатов А. А.	4	5	4,4	4	5
Подбор и изучение литературы по теме бакалаврской работы	Кияницына А. А.	20	30	24	24	29
Разработка электрической схемы	Кияницына А. А.	5	7	5,8	6	7
Подбор и покупка необходимых электрических компонентов	Кияницына А. А.	3	5	3,8	4	5
Создание экспериментальной установки для проведения опытов, создание фантома головы	Кияницына А. А.	20	30	24	24	29
Выполнение опытов, анализ результатов	Кияницына А. А.	10	15	12	12	15
Согласование выполненной работы с научным руководителем	Кияницына А. А.	2	3	2,4	1	1
	Губарев Ф. А.	2	3	2,4	1	1
	Солдатов А. А.	2	3	2,4	1	1
Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Кияницына А. А.	15	20	17	17	21
Подведение итогов, оформление работы	Кияницына А. А.	10	15	12	12	15

На диаграмме Ганта работа инженера обозначена оранжевым цветом, работа руководителя и консультанта – синим цветом, зеленым – общая работа.

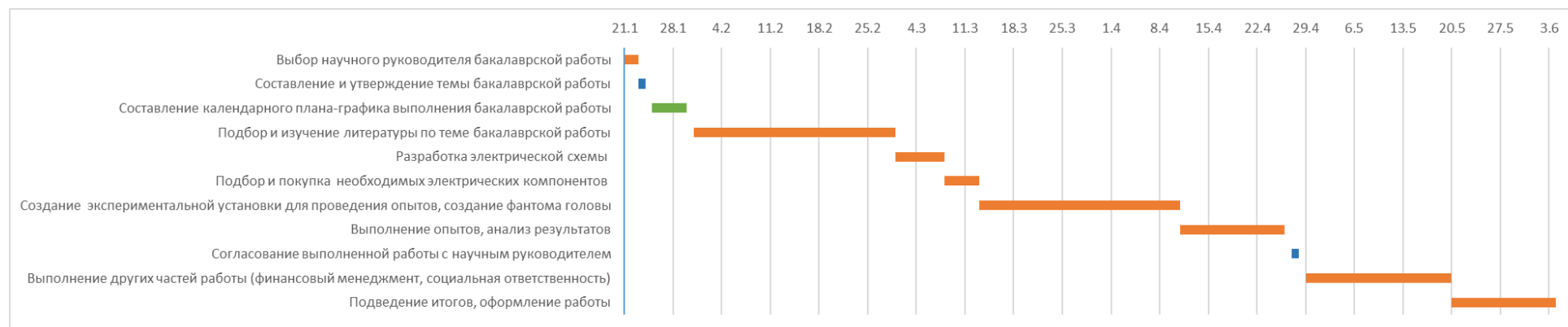


Рисунок 43 – Диаграмма Ганта

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ обеспечиваем полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используем следующие группировки по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- амортизационные отчисления;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- накладные расходы;

4.3.1 Материальные затраты

В таблицы 7 представлены стоимость материалов, используемых при разработке проекта. Затраты на канцелярские принадлежности составило 300 рублей.

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование материала	Единицы измерения	Количество	Цена за 1 ед., руб.	Затраты, руб.
Лазерные диоды	Шт.	2	360	720
Стабилизатор напряжения LM317	Шт.	1	75	75
Стабилизатор напряжения L7805	Шт.	1	24	24
Полевой транзистор	Шт.	2	40	80
Отладочная плата для микроконтроллера STM8	Шт.	1	600	600
Резисторы	Шт.	10	3	30
Конденсаторы	Шт.	12	15	180
Фотодиод	Шт.	2	270	540
Оптоволокно	Шт.	2	630	1260
Линзы	Шт.	4	16	64
Операционный усилитель LM 358	Шт.	1	15	15
Припой	Шт.	1	99	99
Флюс	Шт.	1	130	130
Итого				3 817

4.3.2 Амортизационные отчисления

Расчет амортизации ПК: первоначальная стоимость 40000 рублей; срок полезного использования для машин офисных код 330.28.23.23 составляет 2-3 года, берем 3 года; планируем использовать ПК для написания ВКР в течение 4 месяцев.

Норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{3} \times 100\% = 33,33\% \quad (31)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 40000 \times 0,33 = 13\,200 \text{ рублей} \quad (32)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{13\,200}{12} = 1\,100 \text{ рублей} \quad (33)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 1100 \times 4 = 4400 \text{ рублей} \quad (34)$$

4.3.3 Заработная плата исполнителей

Оклад научного руководителя составляет 33 664 руб., оклад инженера 21760 руб.

В данном пункте рассчитываем основную заработную плату работников участвующих в выполнении работ по данной теме.

Затраты на заработную плату:

$$Зп = Зосн + Здоп, \quad (35)$$

где Зосн – основная заработная плата, руб.

Здоп – дополнительная заработная плата, руб.

Заработная плата основная:

$$Зосн = Здн \times Тр \times (1 + Кпр + Кд) \times Кр, \quad (36)$$

где Здн – среднедневная заработная плата, руб.

Кпр – премиальный коэффициент (0,3);

Кд – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

Кр – районный коэффициент (для Томска 1,3);

Тр – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни

Среднедневная заработная плата:

$$З_{дн} = \frac{З_{м \times М}}{F_{д}} \quad (37)$$

где Зм – оклад работника за месяц, руб.

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня М = 11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней М = 10,4 месяца, 6-дневная неделя;

Fд – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. дн.

Таблица 8 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	56
Действительный годовой фонд рабочего времени	243

Рассчитаем среднедневную заработную плату для студента и научного руководителя, данные внесем в таблицу 9:

$$З_{дн \text{ ст.}} = \frac{З_{м} \times М}{F_{д}} = \frac{21760 \times 10,4}{243} = 931,29 \text{ руб.}$$

$$З_{дн \text{ ст.}} = \frac{З_{м} \times М}{F_{д}} = \frac{33664 \times 10,4}{243} = 1\,440,76 \text{ руб.}$$

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Здн, руб.	Кпр	Кд	Кр	Тр	Зосн
Инженер	931,29	0,05	0,05	1,3	103	137 169,7
Руководитель	1 440,76	0,05	0,05	1,3	6	12 361,7
Консультант	1 440,76	0,05	0,05	1,3	6	12 361,7
Итого						161 893,1

Рассчитаем дополнительную заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы, данные внесем в таблицу 10.

Расчет дополнительной заработной платы исполнителей:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \times З_{\text{осн}} \quad (38)$$

Расчет отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления):

$$З_{\text{внеб}} = 0,3 \times (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (39)$$

Рассчитаем накладные расходы:

$$З_{\text{накл}} = 0,16 \times (З_{\text{мат}} + З_{\text{амор}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}}) \quad (40)$$

Таблица 10 – Расчет дополнительной заработной платы, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы

Исполнитель	Здоп, руб.	Звнеб, руб.	Знакл, руб.
Инженер	16 460,4	46 089,03	39 381, 34
Руководитель	1483,4	4 153,53	
Консультант	1483,4	4 153,53	
Итого	19 427, 2	54 396,09	39 381, 34

4.3.4 Формирование бюджета затрат

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку. Затраты указаны в таблице 11.

Таблица 11 – Бюджет затрат

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	3 817	1,34
Затраты на амортизацию	6 600	2,31
Затраты на основную заработную плату	161 893,1	56,70
Затраты на дополнительную заработную плату	19 427, 2	6,80
Страховые взносы	54 396,09	19,05
Накладные расходы	39 381, 34	13,80
Общий бюджет	285 514, 73	100

В данном разделе был выполнен анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения научно-исследовательской работы – неинвазивного метода исследования головного мозга. Потенциальными потребителями портативного прибора для диагностики заболеваний и повреждений мозга являются медицинские учреждения в сельских местностях, скорая помощь,

травматология. Данный метод диагностики является конкурентноспособным благодаря своим преимуществам: безопасности, отсутствию противопоказаний и стоимости. Были проанализированы слабые и сильные стороны работы, способы устранения их и использования для продвижения исследовательской работы. Был проведен прогноз внешних угроз и возможностей, учитывая которые можно повысить конкурентоспособность данного проекта. В данном разделе было произведено распределение обязанностей по научно-исследовательской работе и рассчитано время, необходимое для выполнения работы. Общая продолжительность работ составила 139 дней. Также был сформирован бюджет затрат НТИ, который составил 285 514, 73 руб., на зарплату приходится больший процент затрат, равный 63,5%

По произведенному анализу видим, что неинвазивный оптический метод – диффузионная оптическая томография является эффективным методом диагностики головного мозга и способна занять свое место на рынке. Данный метод при правильном продвижении и учете внешних и внутренних факторов, может составить сильную конкуренцию имеющимся методам диагностики.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Д51	Кияницына Анастасия Алексеевна

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Подразделение	Отделение электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	12.03.04. Биотехнические системы и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования	Объектом исследования является оптическая система на основе двух лазерных диодов и двух фотоприемников для диагностики головного мозга (16В корпус, 101 аудитория).
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при разработке экспериментальной установки и проведении опытов и разработать мероприятия по снижению воздействий вредных и опасных факторов: – электромагнитное излучение; – неудовлетворительное освещение рабочей зоны; – опасность поражения электрическим током; – неудовлетворительный микроклимат; – опасность получения ожога от паяльника; – негативное воздействие лазерного излучения.
3. Экологическая безопасность	– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); – решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации оптической системы; – анализ наиболее вероятной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий; – пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21. 01. 2019
--	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д51	Кияницына Анастасия Алексеевна		

5 Социальная ответственность

Социальная ответственность – ответственное отношение разработчика научной технологии к требованиям гражданского долга, социальных задач, норм и ценностей, понимание и предотвращение негативных последствий осуществляемой деятельности для испытуемых и для общества, а также для окружающей среды.

Тема выпускной квалификационной работы направлена на разработку неинвазивного метода исследования головного мозга на обнаружении оптических неоднородностей с использованием двух лазерных диодов инфракрасного излучения и двух фотоприемников. В данной главе будут рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на разработчика в аудитории, в которой проводилась сборка экспериментальной установки и опыты на фантоме головы, также будет рассмотрено безопасность в чрезвычайных ситуациях и экологическая безопасность.

Рассматриваемое рабочее место разработчика находится в 101 аудитории 16в корпуса. Работа проводится с использованием компьютера, также использовался паяльник, для работы с которым рабочее место было соответственно оснащено.

В процессе разработки исследователь подвергается воздействию различных факторов среды, которые влияют на его здоровье. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называются условиями труда.

Условия труда характеризуются вредными и опасными факторами. Данные факторы негативно повлиять на здоровье и привести к несчастному случаю. Улучшить условие труда можно, обеспечив безопасность труда, сохранение здоровья и жизни работающего.

5. 1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5. 1. 1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно статье 219 «Право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда» трудового кодекса РФ каждый работник имеет право на [28]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- своевременную и в полном объеме выплату заработной платы в соответствии со своей квалификацией, сложностью труда, количеством и качеством выполненной работы;
- право на получение отдыха. К отдыху приравниваются выходные дни и отпуск. Отпуск предоставляется один раз в год. Он обязательно оплачивается;
- право на получения обязательного социального, пенсионного страхования. Работодатель в обязательном порядке обязан уплачивать за работника взносы на социальное и пенсионное страхование;

В соответствии с требованиями Федерального закона Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» в ТПУ проводилась оценка условий труда в структурные подразделения университета, в соответствии с которой условия труда в ТПУ можно считать удовлетворительными [29].

5. 1. 2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место – место, где работник должен находиться и где он выполняет работы в режиме и условиях, предусмотренных нормативно-технической документацией.

Находясь на своем рабочем месте, т.е. в производственной среде, человек может подвергаться действию целого ряда опасных и (или) вредных производственных факторов, от действия которых он должен быть максимально защищен. В соответствии с ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам» [30] рабочее оборудование, инструмент, приспособления должно полностью отвечать требованиям безопасности, окружающая производственная среда соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям и, кроме того, рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы человек при выполнении работы затрачивал минимальное количество энергии.

Помещение для работы создается согласно стандартам требованиям из ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [31].

Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Выполнение трудовых операций «часто» и «очень часто» должно быть обеспечено в пределах

зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля (очень часто - две и более операций в 1 мин; часто - менее двух операций в 1 мин).

Согласно данному ГОСТу оптимальное положение работающего регулируется изменением высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства ног. Высота рабочей поверхности при выполнении тонкой работы (монтаж мелких деталей и др.) должна составлять 870 мм, высота сиденья 420 мм. Подставка для ног должна быть регулируемой по высоте, ширина не менее 300 мм, длина не менее 400 мм. Поверхность подставки рифленая.

Аварийные органы управления следует располагать в зоне досягаемости моторного поля, при этом необходимо предусмотреть специальные средства опознавания и предотвращения их непроизвольного и самопроизвольного включения.

Средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости.

5. 2 Производственная безопасность

Для создания экспериментальной установки и проведения опытов используются электрические компоненты, паяльник, стабильный источник питания, данные снимаются с помощью осциллографа, с помощью компьютера происходит обработка. Необходимо рассмотреть вредные и опасные факторы при создании установки и проведения опытов.

5. 2. 1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для определения вредных и опасных факторов используем ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [32]. Опасные и вредные факторы представлены в виде таблицы.

Таблица 12 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке оптической системы

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) работа над обзором литературы, разработкой структурной и принципиальной схем; 2) работа над созданием оптической системы (пайка); 3) проведение опытов по регистрации излучения;	1) электромагнитное излучение; 2) неудовлетворительный микроклимат; 3) вредные вещества в процессе пайки; 4) негативное воздействие лазерного излучения; 5) неудовлетворительное освещение рабочей зоны;	1) опасность поражения электрическим током; 2) опасность получения ожога от паяльника; 3) пожароопасность	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» СП 952-72 «Санитарные правила организации процессов пайки мелких изделий сплавами, содержащими свинец» СанПиН 5804-91. «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

5. 2. 2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

Использование персонального компьютера может привести к наличию таких вредных факторов, как электромагнитные и электростатические поля.

Указанные факторы нормируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [33].

ПЭВМ должна соответствовать требованиям санитарных правил и подлежать санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке.

Помещение для работы с ПЭВМ с жидкокристаллическим экраном должно соответствовать требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток; оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.; минимальная площадь 4,5 м на одно рабочее место пользователя (взрослого и учащегося высшего профессионального образования); для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка – 0,7-0,8; для стен – 0,5-0,6; для пола – 0,3-0,5.

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах пользователей представлены в таблице:

Таблица 13 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

В лаборатории 101 16В корпуса используются современные ПЭВМ с жидкокристаллическими мониторами. В лаборатории соблюдены все требуемые нормы [34].

Рассмотрим микроклимат рабочего места. Работа разработчика в лаборатории 101 16В корпуса относится к категории Ia. К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

Основные требования к микроклимату для работ категории Ia представлены в СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [35]. В таблице 14 представлены допустимые величины показателей микроклимата. Все необходимые требования СанПиН в лаборатории соблюдаются [34].

Рассмотрим вредные и опасные факторы в процессе пайки. В воздух при монтаже электронной аппаратуры (пайке) выделяются вредные вещества. Помещение, где проводится монтаж электронной аппаратуры, и организация самого процесса пайки должны соответствовать СП 952-72 [36], то есть удовлетворять требованиям к техническому процессу, устройству и оборудованию производственных помещений и рабочих мест, требованиям к вентиляции, требованиям к содержанию и уборке помещений:

- технологию процесса целесообразно строить таким образом, чтобы операции пайки были на участке максимально сосредоточены;
- эксплуатация или ввод в эксплуатацию участков пайки, не оборудованных вентиляцией, запрещается;
- паяльные работы должны выполняться рабочими в предусмотренной для этой цели спецодежде;
- мытье полов на участке следует производить после окончания каждой рабочей смены. Рабочие поверхности столов, ящики для хранения

инструментов и тара, которая используется на рабочих местах, должны в конце каждой смены очищаться и обмываться горячим мыльным раствором.

– помещения, в которых размещаются участки пайки, необходимо обеспечивать приточным воздухом, подаваемым равномерно в верхнюю зону в количестве, составляющем примерно 90% объема вытяжки.

Лаборатория 101 16В соответствует все вышеперечисленным требованиям. Рабочая зона для пайки оснащена вентиляционными вытяжками, помещение обеспечивается приточным воздухом. После рабочего дня в лаборатории осуществляется влажная уборка. Паяльные работы разработчики проводят в спецодежде [34].

Предельно допустимые уровни (ПДУ) лазерного излучения устанавливаются по СанПиН 5804-91. «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» [37] для двух условий облучения - однократного и хронического для трех диапазонов длин волн:

I $180 < \lambda \leq 380$ нм

II $380 < \lambda \leq 1400$ нм

III $1400 < \lambda \leq 10^5$ нм

Излучение длиной волны 650 нм попадает во второй диапазон.

В таблице представлены соотношения для определения $H_{пду}$ (энергетическая экспозиция), $E_{пду}$ (облученность), $W_{пду}$ (энергия), $P_{пду}$ (мощность) при однократном воздействии на кожу коллимированного или рассеянного лазерного излучения в спектральном диапазоне II ($380 < \lambda \leq 1400$ нм). Лазер, независимо от класса, должен иметь защитный корпус. Все требования СанПиН в ходе испытания системы в лаборатории соблюдались разработчиком [34].

Также важно уделить внимание правильному освещению рабочего места. Неудовлетворительное освещение приводит к напряжению зрения, ослаблению внимания и наступлению преждевременной утомленности. Ослепление, резь в

глазах и раздражение могут быть вызваны чрезмерно ярким освещением. Свет на рабочем месте может создать сильные тени или отблески, а также дезориентировать работающего. Основным документом по требованиям к освещенности является СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95» [38].

Согласно СНиПу 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» в аудитории 101 16в корпуса выполняются работы средней точности с эквивалентным размером объекта различения от 0,5 до 1 мм, контрастность объекта с фоном большая, светлый фон, разряд зрительной работы IV, подразряд г. В лаборатории имеется естественное и искусственное освещение. Естественное освещение одностороннее боковое. Общее освещение складывается из естественного источника света и газоразрядных ламп. В лаборатории осуществляется работа с ПК, проведение экспериментов и обработке результатов.

При работе с ПЭВМ рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана.

Освещение рабочей поверхности от систем общего освещения должна составлять не менее 200лк при газоразрядных лампах и 100 лк при лампах накаливания.

Аудитория 101 16в корпуса соответствует допустимым условиям труда [34].

Во время работы над оптической системой и проведения экспериментов по детектированию излучения, проходящего через мягкую ткань, в лаборатории 101 16В корпуса использовалось электрическое оборудование: ПЭВМ, источник питания, осциллограф, паяльник. Напряжение 220 В. При работе с

данными приборами возникает опасность поражения электрическим током.

Возможные причины несчастных случаев:

- случайное прикосновение работающего к токоведущим частям, находящимся под напряжением в результате повреждения изоляции;
- контакт работающего с металлическими конструктивными частями электрооборудования — корпусами, кожухами, находящимися под напряжением в результате повреждения изоляции;
- контакт работающего с токоведущими частями, находящимися под напряжением, вследствие ошибочного включения установки;
- шаговое напряжение.

Лабораторию 101 16В корпуса можно отнести к помещениям без повышенной опасности согласно разделу 1.1.13 правил устройства электроустановок (ПУЭ) [39], так как влажность воздуха в помещении не более 75 %, температура воздуха не выше 35 °С, отсутствует токопроводящая пыль, полы не являются токопроводящими.

В соответствии ПУЭ [39] рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением, занулением, УЗО, также на рабочих местах должны иметься знаки и плакаты безопасности. Поскольку непосредственно на ПЭВМ должно подаваться стабилизированное электропитание, подачу электроэнергии в компьютерные помещения следует осуществлять от отдельного независимого источника питания. Лаборатория 101 16В корпуса соответствует всем требованиям ПУЭ [34].

5.3 Экологическая безопасность

В данном разделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду.

Отрицательного воздействия на окружающую среду в процессе работы оптическая система не оказывает. Однако производство и утилизацию данного устройства стоит проводить в специальных условиях.

Процессы пайки или лужения оловянно-свинцовыми и оловянно-свинцово-кадмиевыми припоями могут сопровождаться выделением токсичных веществ: свинца и окиси кадмия, которые в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 [40] относятся к веществам 1-го класса опасности. Таким образом происходит загрязнение воздушной среды парами припоя и флюса и парами различных жидкостей, применяемых для флюса, смывки и растворения лаков, парами соляной кислоты, газами (окись углерода, углеводороды, продукты разложения изоляции) и т.д.

Также необходимо учитывать воздействие электронной аппаратуры на окружающую среду после утилизации. Так попадание свинца из аппаратуры в почву и подземные воды представляют значительную экологическую угрозу.

Для нейтрализации негативных экологических последствий необходимо соблюдать некоторые правила:

- утилизация узлов радиоэлектронной аппаратуры должна производиться на специализированных предприятиях;
- уменьшение концентрации свинца в рабочей зоне и выбросы в атмосферу при пайке свинцовыми припоями посредством установления специальных фильтров очистки;

5. 4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5. 4. 1 Анализ вероятных ЧС при разработке и эксплуатации объекта исследования

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 [41] чрезвычайная ситуация - обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного

природного явления, катастрофы, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей

В лаборатории 101 16В корпуса проводятся исследования с эксплуатацией электрооборудования, имеются твердые горючие материалы (столы, шкафы, ПК). Возможными причинами загорания являются неправильная эксплуатация электроустановок. По степени пожароопасности помещение относится к классу П-IIa [42].

Зоны класса П-IIa - зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества.

В соответствии с Федеральным законом №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» наиболее вероятным классом пожара в лаборатории 101 16В корпуса является пожар класса Е.

Пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением (Е).

5. 4. 2 Разработка мер по предупреждению и ликвидации ЧС

Пожарная безопасность в ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» обеспечивается в соответствии с требованиями Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Обеспечивает поддержание пожарной безопасности на объектах университета отдел пожарной безопасности.

Лаборатория 101 16В корпуса подлежит контролю отдела за выполнением правил пожарной безопасности на объектах университета.

На объекте обеспечено:

- проведение работ по очистке стен, потолков, пола, конструкций и оборудования помещений от пыли, стружек и горючих отходов;
- содержание эвакуационных путей и выходов в соответствии с проектными решениями, открывающимися свободно изнутри без ключа, по направлению эвакуации и требованиями по освещенности;
- наличие планов эвакуации людей при пожаре;
- исправное состояние систем обнаружения, оповещения людей о пожаре;
- по окончании рабочего времени обесточивание электроустановок и бытовых электроприборов в помещениях, за исключением дежурного освещения, систем противопожарной защиты
- наличие огнетушителей (ОП-3, ОП-1, ОУ-3 – 1шт.) по нормам согласно приложениям №1 и 2 Правил противопожарного режима (ППР);

В соответствии с инструкцией о мерах противопожарной безопасности при обнаружении пожара или признаков горения в помещении необходимо:

- сообщить по телефону 01 или 101 (назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);
- принять меры по эвакуации людей и тушению пожара.

В данном разделе были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, действующие на исследователя в лаборатории, где происходит разработка оптической системы и ее испытание, а также была рассмотрена безопасность в чрезвычайных ситуациях и экологическая безопасность. Условия труда в соответствии с [34] допустимы. Риск реализации опасных факторов и ЧС минимален. Приемлемый риск $\leq 10^{-6}$.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан макет оптоволоконной системы диффузной оптической томографии.

В ходе работы был проведен обзор существующих методов диагностики заболеваний и повреждений головного мозга, выявлены их достоинства и недостатки, и опираясь уже на эти выводы, был предложен, как альтернативный метод диагностики – ДОТ. Данный метод не только безопасен для пациентов и имеет меньшую стоимость по сравнению с традиционными методами, но также он дает возможность создания портативного прибора.

В ходе работы спроектированы оптические соединители для более точного ввода и приема излучения с поверхности исследуемого объекта. Также были проведены исследования с разными типами оптоволокон, в ходе которых выявлены проблемы потери излучения в них из-за неточности ввода излучения, неровности торца оптоволокон и рассеяния света на микроизгибах оптоволокон. При проведении опытов с использованием оптической неоднородностью (сгусток свернувшейся крови) было обнаружено, что амплитуда сигнала уменьшается по сравнению с сигналом, снятым с участка исследуемого объекта без оптической неоднородности.

При дальнейшей работе необходимо использовать более чувствительные фотоприемники и по возможности вводить излучения с помощью специализированных «заводских» соединителей, чтобы уменьшить потери.

Список используемой литературы

- 1 Gilberto B. The development and evaluation of head probes for optical imaging of the infant head: thesis ... Ph. D. / Gilberto Branco. – London, 2007. – 206 p.
- 2 Niemz M. H. Laser - Tissue Interactions: Fundamentals and Applications. – Berlin, 2003. – 305 p.
- 3 Тучин В. В. Исследование биотканей методами светорассеяния / В. В. Тучин // Успехи физических наук. – 1997. – №5. – С. 517 – 539.
- 4 Шутов И. В. Диффузионная оптическая томография сильно рассеивающих объектов на основе быстрого алгоритма проекционного восстановления внутренней структуры: дис. ... канд. физ.- мат. наук: 01. 04. 21 / Шутов Илья Владимирович. – М., 2002. – 148 с.
- 5 Weigl W. Application of optical methods in the monitoring of traumatic brain injury: A review / W. Weigl [et al.] // Journal of ccerebral blood alow and metabolism. – 2016. – Vol. 36. – P. 1825 – 1843.
- 6 Hillman E. M. Optical brain imaging in vivo: techniques and applications from animal to man / E. M. Hillman // Journal of biomedical optics. – 2007. – № 12. – P. 1 – 28.
- 7 Infrascanner [Электронный ресурс]. URL: <https://infrascanner.com/>. – Infrascanner 2000. – Дата обращения: 20. 02. 2019.
- 8 Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях / В. В. Тучин. – 2-ое издание. – М.: Физматлит, 2010. – 478 с.
- 9 Giacometti P. Diffuse optical tomography for brain imaging: continuous wave instrumentation and linear analysis methods / P. Giacometti, G. Solomon. – NY: Springer, 2012. – 277 p.
- 10 Nirx [Электронный ресурс]. URL: <https://nirx.net/>. – NIRScout. – Дата обращения: 15. 03. 2019.

- 11 Пурас Ю. В. Методы нейровизуализации в диагностике черепно-мозговой травмы. Часть 1. Компьютерная и магнитно-резонансная томография / Ю. В. Пурас, Е. В. Григорьева // Нейрохирургия. – 2014. – № 2. – с. 7 – 16.
- 12 Коновалова А. Н. Магнитно – резонансная томография в нейрохирургии / А. Н. Коновалова, В. Н. Корниенко, И. Н. Пронин. – М.: Видар, 1997. – 472 с.
- 13 Гужов В. И. Методы исследования структуры и функционального состояния головного мозга / В. И. Гужов, А. А. Винокуров // Автоматика и программа инженерия. – 2014. – №3. – с. 80 – 88.
- 14 Тучин В. В. Оптическая биомедицинская диагностика / В. В. Тучин. – М.: Физматлит, 2006. – 560 с.
- 15 Mitsubishi Electric Semiconductor [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mitsubishichips.com>, свободный – Яз. англ. (дата обращения: 09/03/2019).
- 16 STMicroelectronics [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: <http://www.st.com>, свободный. – STM8S207xx STM8S208xx. – Яз. англ. (дата обращения 09/03/2019);
- 17 Кузнецкий завод конденсаторов [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/008/DOC004008496.pdf> (дата обращения 30/03/2019)
- 18 Постоянные углеродные резисторы [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/056/DOC000056035.pdf> (дата обращения 30/03/2019)
- 19 STMicroelectronics [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: <http://www.st.com>, свободный. – L78. – Яз. англ. (дата обращения 30/03/2019)
- 20 On Semiconductor [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: <https://www.onsemi.com/>, свободный. – LM317. – Яз. англ. (дата обращения 30/03/2019)

- 21 Подстроечный резистор [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/250/DOC000250615.pdf>, свободный (дата обращения 30/03/2019)
- 22 International Rectifier [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: www.irf.com, свободный. – IRLR2905. – Яз. англ. (дата обращения 1/04/2019);
- 23 International Rectifier [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: www.irf.com, свободный. – IR2103. – Яз. англ. (дата обращения 1/04/2019);
- 24 Кремниевый фотодиод ФД-256 [Электронный ресурс]. – URL: <https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=16555> (дата обращения: 1/04/2019).
- 25 ON Semiconductor [Электронный ресурс] / Datasheet – URL: <https://www.onsemi.com/>, свободный. – LM358. – Яз. англ. (дата обращения 1/04/2019).
- 26 E14-440 внешний модуль АЦП/ЦАП на шину USB [Электронный ресурс] – URL: <http://www.lcard.ru/products/external/e-440> (дата обращения: 7/03/2019).
- 27 Тимченко К. А. Разработка фантома головы для решения задачи черепно – мозговых травм оптическими методами / К. А. Тимченко, А. П. Новосельцева, А. А. Аристов // Современные техника и технологии. – 2015. – с. 299-301.
- 28 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);
- 29 Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»
- 30 ГОСТ 12.2.061-81. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам
- 31 ГОСТа 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
- 32 ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

- 33 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
- 34 Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ
- 35 СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
- 36 СП 952-72. Санитарные правила организации процессов пайки мелких изделий сплавами, содержащими свинец
- 37 СанПиН 5804-91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров
- 38 СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
- 39 Правил устройства электроустановок (ПУЭ)
- 40 ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2)
- 41 ГОСТ Р 22.0.02-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий (с Изменением N 1)
- 42 Федеральным законом №123. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности