

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка неинвазивного глюкометра на основе измерения биоимпеданса

УДК 616-07:612.122.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Колотова Екатерина Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер каф. ПФ	Тургунова Н.Д.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Вагнер А.Р.	к.ф. – м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

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

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

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения бакалаврской работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.05.17	Составление и утверждение технического задания	2
08.05.17	Подбор и изучение материалов по теме	2
15.05.17	Выбор направления исследования	2
29.05.17	Проектирование и разработка прибора	10
06.06.17	Проведение измерений	10
09.06.17	Анализ и описание результатов	7
12.06.17	Подготовка к защите ВКР	7

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер каф. ПФ	Тургунова Н.Д.			14.06.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Вагнер А.Р.	к.ф. - м.н.		14.06.2016

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

Институт Физико - Технический
Направление подготовки (специальность) Ядерная физика и технологии
Кафедра Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Колотовой Екатерине Алексеевне

Тема работы:

Разработка неинвазивного глюкометра на основе измерения биоимпеданса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№545/с от 31.01.2017

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><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></p>	<p>Разработка и исследование макета прибора для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови с помощью биоимпеданса</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор и сравнение существующих устройств 2. Разработать лабораторный макет глюкометра на основе биоимпеданса. 3. Разработать программное обеспечение для обработки сигналов с глюкометра. 4. Исследовать характеристики разработанного прибора, провести испытания. 5. Анализ полученных результатов..
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Меньшикова Е.В., доцент каф. МЕН</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Гоголева Т.С., ассистент каф. ПФ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>14.01.17</p>
--	-----------------

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Инженер каф. ПФ</p>	<p>Тургунова Н.Д.</p>			

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>0А3А</p>	<p>Колотова Екатерина Алексеевна</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Колотовой Екатерине Алексеевне

Институт	Физико-технический	Кафедра	Прикладной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Материальные затраты 2073 руб. Основная заработная плата исполнителей темы 54372,4 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 14680,6 руб. Накладные расходы 267,14 руб.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 за 1 кВт•ч Районный коэффициент города Томска - 1,3</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Размер страховых взносов - 30%. Пониженная ставка - 27,2%.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Потенциальные потребители результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT – анализ.</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Бюджет научно-технического исследования (нти).</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**Задание выдал консультант:**

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Колотова Екатерина Алексеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0А3А	ФИО Колотовой Екатерине Алексеевне
----------------	---------------------------------------

Институт Уровень образования	Физико-технический Бакалавр	Кафедра Направление/специальность	Прикладной физики 14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды
---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------------	---

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ и с паяльной станцией.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Колотова Екатерина Алексеевна		

Реферат

Бакалаврская работа содержит 82 страницы, 25 рисунков, 13 таблиц и 18 источников.

Ключевые слова: глюкометр, сахарный диабет, *in vivo*, импеданс, AD5933.

Объектом исследования является уровень глюкозы в крови.

Целью данной работы является разработка прибора для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови на основе измерения биоимпеданса.

В процессе работы была разработана и спроектирована модель устройства для неинвазивного измерения уровня сахара в крови, а также проведено моделирование и проверка собранного прибора на работоспособность и доказана его применимость в биоимпедансной спектрометрии. Были проведены измерения концентрации уровня глюкозы в водных растворах, а также в образцах гепариновой крови и у добровольцев

В результате исследования был разработан прибор для измерения сахара в крови. Исследования показали, что прибор позволяет измерять с точностью $\pm 5\%$.

Бакалаврская работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 с применением пакетов Microsoft Excel 2010 и Sprint-Layout, а также ПО «COMSOL Multiphysics 4.3a».

Содержание

Введение.....	15
1 Глюкометрия.....	17
1.1 Сахарный диабет	17
1.2 Норма сахара в крови	17
1.3 Эффект инсулина в захвате и метаболизме глюкозы.....	18
1.4 Методы измерения глюкозы в крови	20
1.4.1 Инвазивные методы.....	20
1.4.2 Неинвазивные методы.....	21
1.4.3 Глюкометры.....	24
2 Импеданс.....	25
2.1 Виды дисперсий диэлектрической проницаемости биологических тканей	27
2.2 Эквивалентные схемы биологических объектов	30
3 Разработка прибора для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови.....	32
3.1 Проверка прибора на работоспособность	34
3.2 Проверка чувствительности прибора.....	35
3.2.1 Измерение образцов воды.....	36
3.2.2 Измерение образцов крови	37
3.3 Разработка электрода для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови.....	39
3.3.1 Моделирование	39
3.4 Экспериментальная часть	41
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... ..	45
4.1 Анализ конкурентных технических решений.....	46
4.2 SWOT-анализ.....	48
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	50
4.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ.....	51
4.4 Разработка графика проведения научного исследования.....	54
4.4.1 Календарный план-график в виде диаграммы Ганта.....	55
4.5 Определение плановой себестоимости проведения НИОКР	57
4.6 Определение ресурсной эффективности исследования.....	64

5 Социальная ответственность	67
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	67
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и за паяльной установкой	69
5.2.1 Организационные мероприятия	69
5.2.2 Организация рабочего места.....	69
5.2.3 Условия безопасной работы	72
5.3 Электробезопасность	74
5.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	76
Список литературы	80

Введение

Проблемы с уровнем сахара со временем могут привести к целому букету заболеваний, таких как проблемы со зрением, состоянием кожи и волос, появлению язв, гангрены и даже раковых опухолей!

Глюкометрия - метод определения уровня глюкозы (концентрации) в органических жидкостях (кровь, ликвор и т. п.).

При применении стандартного глюкометра диабетик испытывает болезненные ощущения. Более того, при каждом новом измерении больной может заразить себя какой-то болезнью, либо инфекцией, попадающий в организм вместе с кровью (гепатит С, СПИД).

К тому же надобность ежедневного прокола пальца для повседневной жизни является крайне неудобным явлением. Но, несмотря на это, диабетик каждый день подвергает себя опасности развития гликемии и коматозного состояния.

Более того, при регулярном проколе пальца на нем появляются мозоли, из-за чего осложняется процесс кровообращения. Поэтому с каждым разом диабетик все сложнее делать самодиагностику.

Согласно установленным правилам, при сахарном диабете необходимо делать забор крови от 4 до 7 раз в день. Однако, постоянные неудобства заставляют больного сокращать количество процедур до 2 раз в день (в утренние и вечерние часы).

Неинвазивный способ, который помогает установить содержание глюкозы в крови – это максимально удобная, не опасная и не приносящая боли замена стандартного метода контролирования уровня глюкозы. Этот способ дает возможность легко и быстро производить постоянную проверку.

Новый метод производит замеры без необходимости получения капиллярной крови, т.е. без прокалывания пальца. Это почти полностью устраняет риск заразиться ВИЧ инфекцией и другими подобными

заболеваниями. Кроме того, применение глюкометра в поездке и других трудных условиях значительно упрощается.

В настоящее время имеется несколько неинвазивных приборов для контроля уровня глюкозы в крови, однако данные зарубежные устройства отличаются дороговизной и мало распространены в России.

Поэтому необходимо разработать прибор, который позволяет неинвазивно измерять уровень глюкозы в крови в реальном времени на основе импеданса с высокой эффективностью, чья себестоимость будет достаточно мала по сравнению с зарубежными аналогами.

Цель научной работы: Разработка и исследование макета прибора для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови с помощью биоимпеданса.

Задачи:

- Провести литературный обзор
- Разработать прибор для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови на основе биоимпеданса
- Разработать программное обеспечение для обработки данных
- Проверить прибор на работоспособность и чувствительность к концентрации глюкозы в образцах
- Провести моделирование распределения электрического поля в тканях
- Разработать электрод для проведения измерения глюкозы в крови
- Произвести измерение уровня глюкозы в крови у добровольцев

1 Глюкометрия

Кровь является одной из самых важных жидкостей в организме человека, так как влияет на все жизненно-важные процессы, которые протекают в органах.

Глюкоза является источником энергии для тканей и клеток организма. Для человека в норме показатель глюкозы в крови должен быть в диапазоне 3,3–5,5 ммоль/л. При значении более 5,5 ммоль/л речь идет о сахарном диабете, более низкие значение встречаются на фоне развития опухолевых заболеваний.

1.1 Сахарный диабет

Поджелудочная железа человека, а именно бета-клетки островков Лангерганса, продуцируют инсулин. Если эти особенные клетки разрушаются, то речь идет о заболевании сахарный диабет 1 типа.

Для этого органоспецифического недуга характерен абсолютный дефицит гормона инсулин.

В отдельных случаях у диабетиков будут отсутствовать маркеры аутоиммунного поражения (идиопатический диабет 1 типа).

Также существует инсулиннезависимый сахарный диабет (2 типа) - этот вид патологии развивается, когда ткани организма не могут адекватно усваивать сахар или делают это в неполном объеме. Подобная проблема имеет еще другое название – внепанкреатическая недостаточность [1].

1.2 Норма сахара в крови

Таблица 1 - Нормы глюкозы по возрасту

Возраст	Уровень сахара в крови, ммоль/л
До месяца	2,8-4,4
До 14 лет	3,2-5,5
14-60 лет	3,2-5,5
60-90 лет	4,6-6,4
90+ лет	4,2-6,7

Натошак у человека с хорошим здоровьем уровень сахара в крови должен быть равен от 3,2 до 5,5 ммоль/л. После еды допускается, что бы уровень глюкозы в крови поднимался до 7,8 ммоль/ч. Однако вся эта норма содержания сахара касается только для крови, взятого из пальца. Если для анализа использовать кровь, взятую из вены натошак, то сахар будет более высоким. В этом случае допустимый уровень сахара в крови – 6,1 ммоль/л это так же норма [2].

Сахар в крови у мужчин, женщин и детей отличается только возрасту.

Однако у людей, болеющих сахарным диабетом (1 или 2 типа), в крови сданной натошак, наблюдается превышение нормы сахара. Однако количество глюкозы не позволяет установить какой тип заболевания у больного. Для того чтобы поддерживать нормальный уровень глюкозы в организме пациенту необходимо выполнять все назначения врача, а именно — принимать лекарства, заниматься спортом, соблюдать диету. При соблюдении всех назначений норма глюкозы в крови может быть приближена к значениям, характерным для здорового человека [3].

1.3 Эффект инсулина в захвате и метаболизме глюкозы

В пищевых продуктах содержатся различные типы углеводов. Некоторые из них, состоящие из одного шестичленного гетероциклического углеводного кольца, такие как глюкоза, без изменений всасываются в кишечнике. Другие, состоящие из двух или более соединенных между собой пятичленных или шестичленных гетероциклов, такие как крахмал (полисахарид) и сахароза (дисахарид), расщепляются под действием различных ферментов в желудочно-кишечном тракте до простых сахаров, в том числе глюкозы, и, в итоге, также всасываются в кровь. В печени также происходит процесс превращения простых молекул, таких как фруктоза, в глюкозу. Таким образом, глюкоза является основным углеводом всего организма в целом и крови в частности.

Также глюкоза является главным и универсальным источником энергии для всего организма и играет ключевую роль в процессе метаболизма (обмене веществ организма человека), так как некоторые ткани и органы, например, головной мозг, способны в качестве источника энергии использовать только глюкозу.

На рис. 1 показана схема действия инсулина при захвате глюкозы в клетку. Связывание рецептора с инсулином (1) запускает активацию большого количества белков (2). Например: перенос Glut-4-переносчика на плазматическую мембрану и поступление глюкозы внутрь клетки (3), синтез гликогена (4), гликолиз (5), синтез жирных кислот (6):

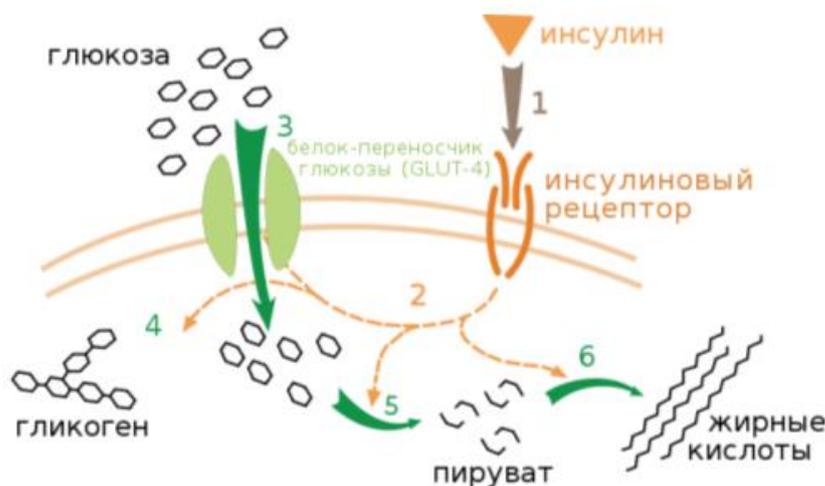


Рисунок 1 - Эффект инсулина в захвате и метаболизме глюкозы

В регуляции углеводного обмена в организме основную роль играет инсулин, который является гормоном поджелудочной железы. Инсулин является белком, который синтезируется в β -клетках островков Лангерганса (это скопление в ткани поджелудочной железы эндокринных клеток) и призван побуждать клетку перерабатывать глюкозу. В основном все ткани в организме (например, мышцы, печень, жировая ткань) только в его присутствии способны перерабатывать глюкозу. Такие ткани и органы называются инсулинозависимыми. Другие ткани и органы, например мозг, которые не нуждаются в инсулине для переработки глюкозы, называются инсулиннезависимыми.

Непереработанная глюкоза, в виде полисахарида гликогена, запасается в мышцах и печени, а в дальнейшем может быть снова превращена в глюкозу. Однако, для того, чтобы превратить глюкозу в гликоген, также необходим инсулин.

Нормой для концентрации глюкозы в крови является узкий диапазон значений: с утра после сна от 70 до 110 мг/дл (миллиграмм на децилитр) (3,3-5,5 ммоль/л) и от 120 до 140 мг/дл после еды. Это происходит за счет того, что чем выше уровень глюкозы в крови, тем большее количество инсулина вырабатывается поджелудочной железой.

При заболевании сахарный диабет 1-го (недостаточности инсулина) и 2-го (нарушение взаимодействия инсулина с клетками организма) типа происходит накопление глюкозы в крови в больших количествах (гипергликемия), и лишение остальных клеток организма (за исключением инсулиннезависимых органов) главного источника энергии [1].

1.4 Методы измерения глюкозы в крови

1.4.1 Инвазивные методы

На сегодняшний день большинство представителей инвазивных глюкометров относятся к двум типам: электрохимические и фотометрические. В фотометрических глюкометрах используется измерение интенсивности светового потока, который проходит через полоску с нанесенным специальным реагентом. Данные глюкометры требуют крайне бережного ухода за световым датчиком. Чаще всего, для определения уровня глюкозы на тест полоску необходимо нанести каплю крови.

Электрохимические основаны на измерении электрического тока после реакции глюкозы с реагентами тест полоски. Такие устройства являются более современными аппаратами. Тест полоска имеет капилляр, который сам забирает необходимую кровь при проколе пальца.

1.4.2 Неинвазивные методы

При использовании неинвазивного метода исключается забор крови, внесение в организм бактерий и болезнетворных вирусов, освобождают пациента от болевых ощущений. Анализы *in vivo* базируются на данных, полученных, как правило, косвенным путем. Для создания приборов *in vivo* используются физико-химические и физические методы.

Рассмотри физические методы, которые могут применяться для неинвазивного анализа:

- Наиболее часто применяют инфракрасную (ИК) спектроскопию в ближнем диапазоне 750-2500 (нм). Данный метод основан на анализе оптического поглощения ИК-излучения, длины волн которого находятся в области поглощения глюкозы крови (пики 840, 940 и 1045 нм можно рассмотреть на рис. 2). Для этого необходимо, чтобы ИК-излучение прошло через ткани и попало на фотоприемник, где будет зарегистрирован соответствующий спектр.

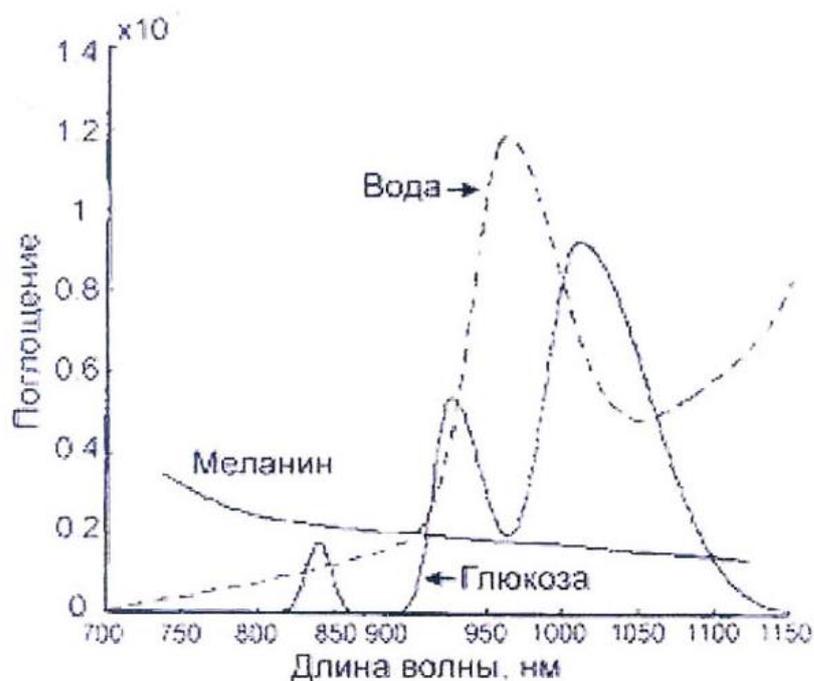


Рисунок 2 - Оптический спектр поглощения глюкозы в крови человека

Наиболее удобное месторасположение источника ИК является мочка уха (используется крепление типа клипсы) или палец.

Однако данная методика обладает своими недостатками:

1. Метод не позволяет достичь необходимой точности измерения за счет особенностей кожного покрова и состава межклеточной жидкости, а также наличия сильного пика поглощения воды в области 960 нм.
2. При использовании длин волн в диапазоне 2500-10000 нм возникают проблемы, например, излучение проникает в ткани на меньшую глубину.

- Поляризационная спектроскопия - происходит изменение плоскости поляризации в зависимости от концентрации глюкозы в крови. Является одним из первых методов, предложенных для *in vivo* глюкометров. Для проведения измерений используются глаз и видимый свет. Недостатком метода является наличие, помимо глюкозы, других веществ, также влияющих на изменение поляризации света, влияние роговицы глаза и температуры.

- Ультразвуковая технология: ультразвук довольно легко способен проникать через кожный покров в кровеносные сосуды. В данном методе могут использоваться лазеры от УФ до ИК диапазона. В данном случае наблюдается фотоакустический эффект, т.е. звуковые колебания возбуждаются модуляцией лазерного излучения в жидкости и затем воспринимаются микрофоном.

Недостаток метода: тяжело учитывать влияния внешней среды.

- Исследование зависимости тепловых характеристик крови от уровня глюкозы. Обычно анализируются такие параметры, как теплоемкость и теплопроводность. Однако основной проблемой в данном методе является в том что тяжело учитывать влияние внешней среды.

- Тепловая спектроскопия. Данный метод основан на ИК излучении глюкозы при нагревании кожи и выявлении зависимости излучения от ее концентрации в крови. Недостатком является необходимо постоянного охлаждения кожи в области анализа примерно до одиннадцати градусов, а также то, что температура организма может изменяться независимо от содержания глюкозы [4].

- Импедансная спектроскопия. Новый метод измерения глюкозы который основан на измерение импеданса тканей при прохождении через нее тока. Из-за схематического решения во время измерения исключаются все паразитные емкости, возникающие при контакте электрода с кожей [5].

Биоимпедансная спектроскопия - это измерение импеданса биологических тканей, которое может отражать важные физиологические характеристики и события. Так как биологическая ткань представляет собой агрегацию клеток в проводящей жидкости, то её сопротивление переменному электрическому току зависит от параметров и состояния этих компонентов. Величина электрического импеданса включает в себя две составляющие: реактивное (ёмкостное) и активное (омическое) сопротивление. Первая из них отражает межклеточное пространство, вторая – структуры, ограниченные биологической мембраной, т.е. клетки. Диапазон частот, диапазон частот, при котором проводится биоимпедансная спектрометрия, варьируется от 1кГц до 1,3 МГц. На частотах (менее 50 кГц) электрический ток проходит в основном через межклеточную жидкость. При увеличении частоты тока полное электрическое сопротивление тканей снижается. Это объясняется ёмкостными свойствами клеточных мембран. При частоте тока 100 кГц и выше токи через внутриклеточное пространство и межклеточную жидкость становятся сравнимыми по величине [6].

- Физико-химический метод, связанный с определением уровня концентрации глюкозы в межклеточной жидкости. В этом случае применяются различные варианты технической реализации: можно, воздействуя на область анализа слабым электрическим током, извлечь межклеточную жидкость сквозь кожу; можно создать микропоры с помощью лазера, в которых затем собирается межклеточная жидкость. Для определения глюкозы в собранной межклеточной жидкости применяют специальный сенсор, который относится к расходным материалам, что увеличивает стоимость проведения анализа. Помимо этого, имеется еще одна проблема: уровень глюкозы в межклеточной жидкости не отражает сиюмоментного значения концентрации глюкозы крови,

а демонстрирует запаздывание на 10-30 минут. Имеются и другие сложности, связанные с состоянием кожи пациента, а также необходимостью заменять область анализа и т.д.

1.4.3 Глюкометры

Глюкометр в жизни больного диабетом занимает одну из ведущих ролей, поскольку человек просто обязан постоянно контролировать свой уровень сахара в крови. Хороший глюкометр - залог правильности измерения сахара в крови!

Приборы отличаются друг от друга не только ценой, но и техническими характеристиками (объем памяти, возможность подключения к компьютеру), комплектацией, размером и другими параметрами.

К любому из этих устройств выдвигаются определенные требования. Прежде всего, важна точность показаний глюкометра, ведь это необходимо для:

- правильного определения уровня глюкозы в крови при плохом самочувствии;
- того, чтобы позволить себе съесть какую-либо пищу или ограничить количество потребления определенного продукта питания;
- того, чтобы определиться, какой глюкометр является самым лучшим и подходящим для повседневного пользования.

1.4.3.1 Погрешность глюкометров.

Медицинские исследования показывают, что 20%-ая погрешность в измерениях аппарата является допустимой в домашних условиях и не окажет негативного влияния на процесс терапии сахарного диабета.

Если же погрешность будет составлять более 20% от результатов анализов, проведенных в лабораторных условиях, прибор или тест-полоски (в зависимости от того, что вышло из строя или устарело) необходимо срочно менять [7].

2 Импеданс

Импеданс — это величина, определяющая соотношение между напряжением и силой переменного тока.

Электрическое сопротивление является противодействием текущему потоку, который зависит от размеров и удельного сопротивления (ρ) объекта:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (1)$$

Где R – сопротивление, Ом

ρ – удельное сопротивление, Ом*м

L – длина объекта, м

A – площадь поперечного сечения, м²

Элементы, которые являются чисто резистивными, не накапливают энергию и поэтому имеют постоянное сопротивление, не зависящее от частоты применяемого сигнала. Однако в индукторах и конденсаторах существует противодействие электрическому току, называемому реактивным сопротивлением, интенсивность которого изменяется с частотой сигнала, показанной в уравнениях (2) и (3):

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2)$$

Где X_C – емкостное сопротивление, Ом

f – частота, Гц (Герц)

C – емкость, Ф (Фарад)

$$X_L = 2\pi f L \quad (3)$$

Где X_L – индуктивное сопротивление, Ом

f – частота, Гц (Герц)

L – индуктивность, Гн (Генри)

Комплексный результат резистивных и реактивных векторов называется импедансом (Z), где резистивная составляющая (R) расположена на вещественной оси и ее реактивных компонентах (X_C или X_L) на мнимой оси [8]. Модуль ($|Z|$) и фаза (θ) импеданса на рис. 3 могут быть рассчитаны через уравнения (4) и (5):

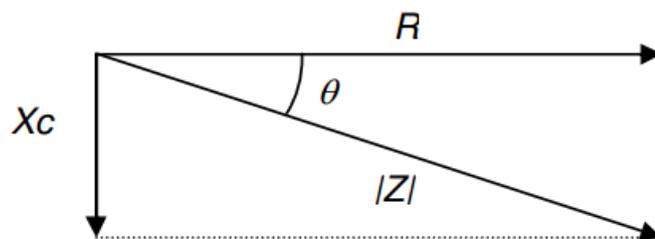


Рисунок 3 – Пример импеданса в его прямоугольном и полярном режимах.

$$|Z|^2 = R^2 + Xc^2, \quad (4)$$

$$\tan \theta = \frac{Xc}{R} \quad (5)$$

Где $|Z|$ - модуль импеданса, Ом

R – сопротивление, Ом

Xc – емкостное сопротивление, Ом

θ – фазовый угол, ° (Градус)

Закон Ома определяет импеданс в результате деления между измеренным напряжением и приложенным током, как видно из уравнения (6):

$$V = ZI \quad (6)$$

Где V – напряжение, В

Z – импеданс, Ом

I – электрический ток, А

Импеданс живых тканей зависит от степени повреждения ткани и отображает широкий круг электромагнитных процессов, в том числе и индуктивных, в биологических объектах, а также служит показателем уровня обмена (жизнеспособности) ткани:

- в трансплантологии (служит для оценки жизнеспособности тканевых трансплантатов)
- в хирургии (служит для определения зоны некроза ткани)
- в плетизмографии (реоплетизмографии)

Ткани состоят из многих одинаковых клеток, покрытых электролитической жидкостью. Каждая клетка может быть определена как множество структур, ответственных за метаболизм, размножение и

обслуживание, восстановление мембраны. Эта мембрана, толщина которой около 7 нм, состоит из липидов с изолирующими характеристиками и белками, ответственных за перенос воды, ионов и других химических веществ, которые пересекают ее структуру с помощью осмоса. Электрическое соединение от клеточной мембраны эквивалентно конденсатору, который составляет в основном около 20 нФ/см². Во всех органах резистивная и емкостная компоненты выше индуктивной составляющей и поэтому не учитываются.

Клетки обладают высоким емкостным сопротивлением для токов низкой частоты (до 5 кГц). В тех случаях, когда применяются более высокие частоты, этот параметр уменьшается, и в 1 МГц ток пересекает всю цитоплазму. Ткани также имеют сходный набор с клетками. В высоких частотах ток может пересекать клеточную мембрану, протекая как через внеклеточные, так и внутриклеточные жидкости. Поэтому в более низких частотах ткани с большей клеточной плотностью будут иметь более высокий импеданс, чем ткани с большим количеством внеклеточной жидкости.

Сопоставимость допустимости биологической ткани в зависимости от частоты сигнала пересечения называется дисперсией.

2.1 Виды дисперсий диэлектрической проницаемости биологических тканей

Диэлектрическая проницаемость (ДЭП) биологических тканей показывает во сколько раз взаимодействие между зарядами в неограниченной однородной среде (ϵ^1) меньше, чем в вакууме (ϵ_0):

$$\epsilon = \frac{\epsilon^1}{\epsilon_0} \quad (7)$$

Дисперсией ДЭП называется ее зависимость от частоты переменного тока. С увеличением частоты тока ДЭП биологических объектов снижается.

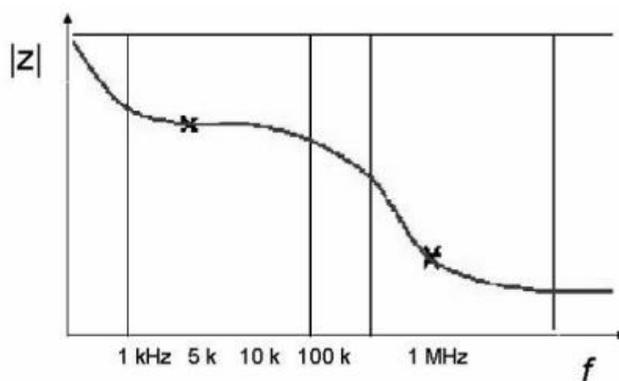


Рисунок 4 – Зависимость модуля импеданса биологической ткани от частоты.

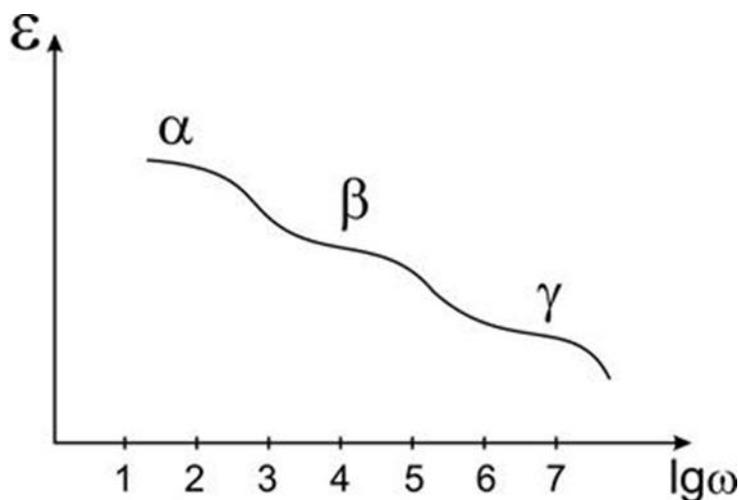


Рисунок 5 - Дисперсия диэлектрической проницаемости биологических объектов. По оси абсцисс логарифм круговой частоты переменного тока; по оси ординат – диэлектрическая проницаемости биологических объектов

При воздействии на ткани организма переменного электрического тока или переменного электрического поля наблюдаются три области дисперсии:

- Область α - дисперсии. Наблюдается для диапазона частот до 1кГц.

В низкочастотном диапазоне обусловлена диффузионным процессом свободных ионов во внеклеточной жидкости, т.к. сопротивление мембран клеток высоко.

Импеданс падает в высокочастотной части спектра за счет уменьшения емкостного сопротивления мембран клеток $X_c = \frac{1}{\omega C}$. Возникающий ток смещения протекает через мембрану. Также происходит сильная поляризация

электродов, и поверхностная поляризация клеток, а также их органоидов и макромолекул, начинает проявляться.

- Область β - дисперсии. Наблюдается для диапазона частот от 1 кГц до 30 МГц.

Данный вид дисперсии в большей степени зависит от вида объекта. За счет увеличения частоты переполаризации мембран клеток (относительно нулевого уровня потенциала на мембране) сильно снижается емкостное сопротивление ткани.

Импеданс ткани определяется затратами энергии на поляризацию и переполаризацию клеточных структур, таких как мембраны, белковые молекулы, молекулы воды, атомов и т.д.. Снижение данных затрат приводит к снижению импеданса биоткани.

В высокочастотной области β -дисперсии значимый вклад приобретает структурная поляризация и переполаризация крупных молекул (в том числе белковых). Структурная поляризация состоит в том, что внутри молекулы, под действием электрического поля, смещаются ионы и ионные группы, входящие в состав молекул, что влияет на функциональные свойства белков.

- Область γ дисперсии. Занимает область частот выше 10 ГГц.

В этой области ДЭП вызвана, главным образом, соотношением свободных молекул воды в тканях. Емкостное сопротивление мембран, за счет высокой частоты колебаний электрического тока, мало и они (мембраны) не представляют большого препятствия для переменного тока. Поэтому сопротивление биоткани мало.

Уменьшение ДЭП в низкочастотной части спектра области γ - дисперсии обусловлено постепенным процессом ослабления ориентационной переполаризации дипольных молекул воды. В этой области структурная поляризация крупных молекул вносит значимый вклад в импеданс ткани. С увеличением частоты энергия электрического тока все меньше теряется на переориентацию молекул воды и структурную переполаризацию крупных молекул, поэтому импеданс ткани уменьшается.

В высокочастотной части спектра γ - дисперсии молекулы воды под действием переменной напряженности E почти не переполаризуются. Уровень электрического сопротивления определяется электронной переполаризацией атомов, т. е. возникновением переменных атомных диполей.

2.2 Эквивалентные схемы биологических объектов

Для моделирования электрических свойств биологических тканей используются резисторы, которые обладают активным сопротивлением, и конденсаторы — носители емкостного сопротивления. В качестве модели используют эквивалентные электрические схемы (рис. 6).

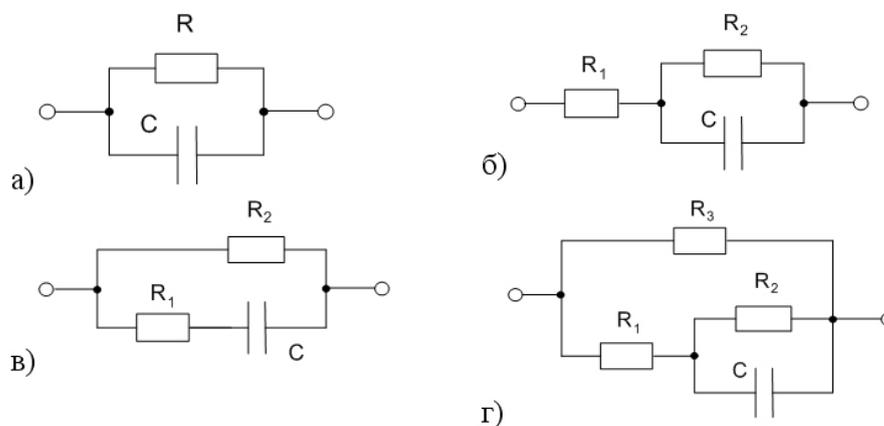


Рисунок 6 - Электрические эквивалентные схемы биологического объекта:
 а) в низкочастотном диапазоне частот; б) при изучении поверхностных слоев кожи и подкожной клетчатки; в) мышечных тканей в сочетании с другими компонентами, такими, как жир, кровь и т.д.; г) более глубоких слоев тела и внутренних органов

Для схемы в) из рисунка 3 действительны следующие соотношения:

Соотношение между общим полным сопротивлением на высоких частотах (Z_{1MHz}) и сопротивлениями R_2 и R_1 показано в уравнении (8):

$$\frac{1}{Z_{1MHz}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (8)$$

Где Z_{1MHz} - импеданс в высоких частотах, (Ом);

R_1 - внеклеточное сопротивление, (Ом);

R_2 - внутриклеточное сопротивление, (Ом).

Характеристическая частота - это значение, где импеданс представляет максимальное значение емкостного сопротивления, показанное для схемы выше в уравнении (9):

$$f_c = \frac{1}{2\pi C(R_1 + R_2)} \quad (9)$$

Где f_c - характеристическая частота, Гц (Гц);

R_1 - внеклеточное сопротивление, (Ом);

R_2 - внутриклеточное сопротивление, (Ом);

C - типичная емкость для каждой ткани, F (Farad).

В большинстве тканей характерная частота находится между 10 кГц и 200 кГц, тогда как для крови это значение составляет около 2 и 3 МГц [9].

3 Разработка прибора для неинвазивного измерения уровня

глюкозы в крови

Был разработан макет прибора для измерения комплексного импеданса [10]. Размер прибора составляет приблизительно 40 на 30 мм. На данном этапе сигнал передается и обрабатывается с помощью параллельного порта и последовательного порта. Однако в дальнейшем сигнал будет передаваться через Bluetooth. Структурная схема и внешний вид печатной и собранной платы прибора приведены на рис. 7 и рис. 8.

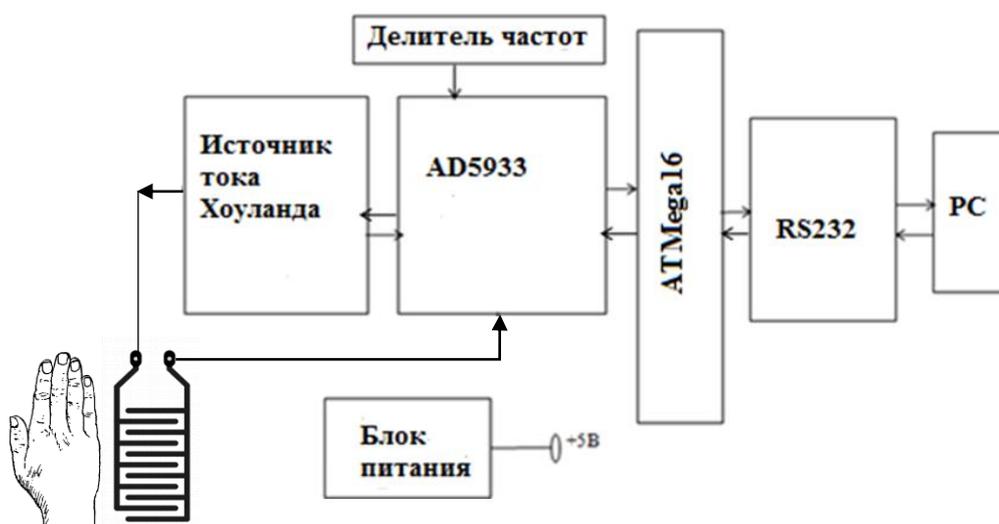


Рисунок 7 - Функциональная схема прибора с применением импеданса для определения сахара в крови

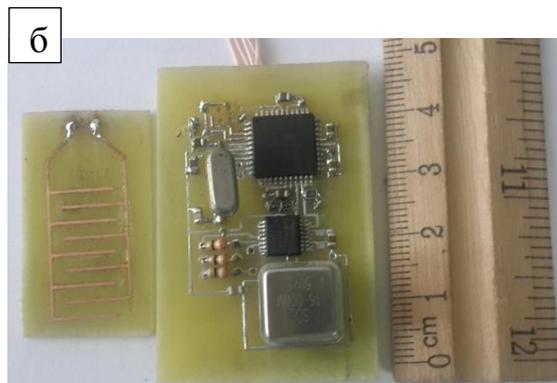
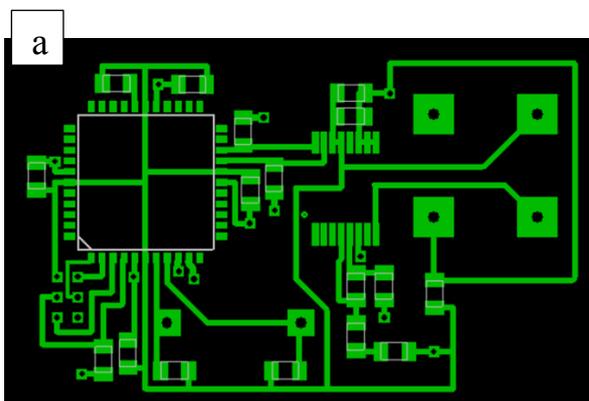


Рисунок 8 – Внешний вид (а) печатной и (б) собранной платы прибора

Источник тока генерирует выходной ток пропорциональный входному напряжению, так что ток нагрузки остается постоянным при различных величинах сопротивления.

В качестве микроконтроллера была выбрана микросхема ATmega-16 (Atmel Corporation) [11]. Одним из основных компонентом схемы является 12-разрядный анализатор импеданса микросхема AD5933 [12]. Измеренный сигнал оцифровывается с помощью интегрированного АЦП и затем подвергается дискретному преобразованию Фурье (ДПФ) в интегрированном модуле цифровой обработки сигнала. Далее алгоритм ДПФ возвращает для каждой частоты выходного сигнала отсчеты вещественной (R) и мнимой (I). На основе этих данных в разработанном программном обеспечении в среде C++ Builder по формулам (12) и (13) происходит расчёт импеданса и фазы в диапазоне частоты 5кГц до 100кГц. Диапазон частоты ограничивается свойствами микросхемы AD5933. Интерфейс программы представлен на рисунке 9:



Рисунок 9 – Интерфейс программы, для отображения измеренной концентрации глюкозы

3.1 Проверка прибора на работоспособность

Для проверки работоспособности прибора была собрана схема, моделирующая сопротивление клетки (2R1C), эквивалентная мышечной ткани в сочетании с другими компонентами, такими как жир, кровь и т.д., которая представлена на рис. 9.

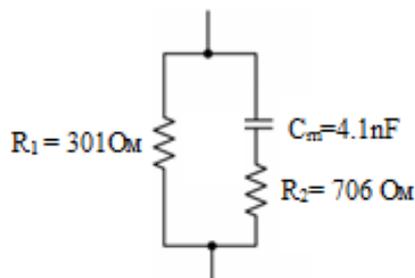


Рисунок 10 - Схема, моделирующая сопротивление тканей

Сначала был произведен теоретический расчет частоты f_c и фазы θ для схемы, моделирующей сопротивление клетки. Для расчёта вещественной и мнимой части биоимпеданса использовались формулы (10) и (11):

$$\text{Im} = \frac{(R_1 + R_2) \cdot \frac{R_2}{C_1 \cdot e \cdot w} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{C_1 \cdot e \cdot w}}{(R_1 + R_2)^2 + \left(\frac{1}{C_1 \cdot e \cdot w}\right)^2}, \quad (10)$$

$$\text{Re} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot (R_1 + R_2) + \frac{R_2}{C_1 \cdot e \cdot w^2}}{(R_1 + R_2)^2 + \left(\frac{1}{C_1 \cdot e \cdot w}\right)^2} \quad (11)$$

Где Im – мнимая часть комплексного числа;

Re – действительная часть комплексного числа.

Полное сопротивление и фаза рассчитывались по формулам (12) и (13):

$$|Z| = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}, \quad (12)$$

$$\angle \varphi = \arctan\left(\frac{\text{Im}}{\text{Re}}\right) \quad (13)$$

Результаты расчета фазы и импеданса клетки представлены на рис. 11:

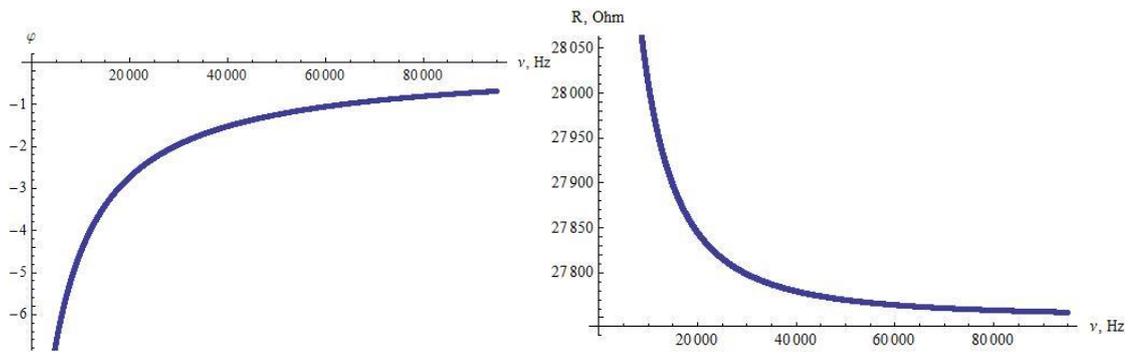


Рисунок 11 - Зависимость сопротивления и фазы от частоты

Далее было произведено измерение схемы 2R1C с помощью разработанного прибора, результаты измерения представлены на рис. 12.

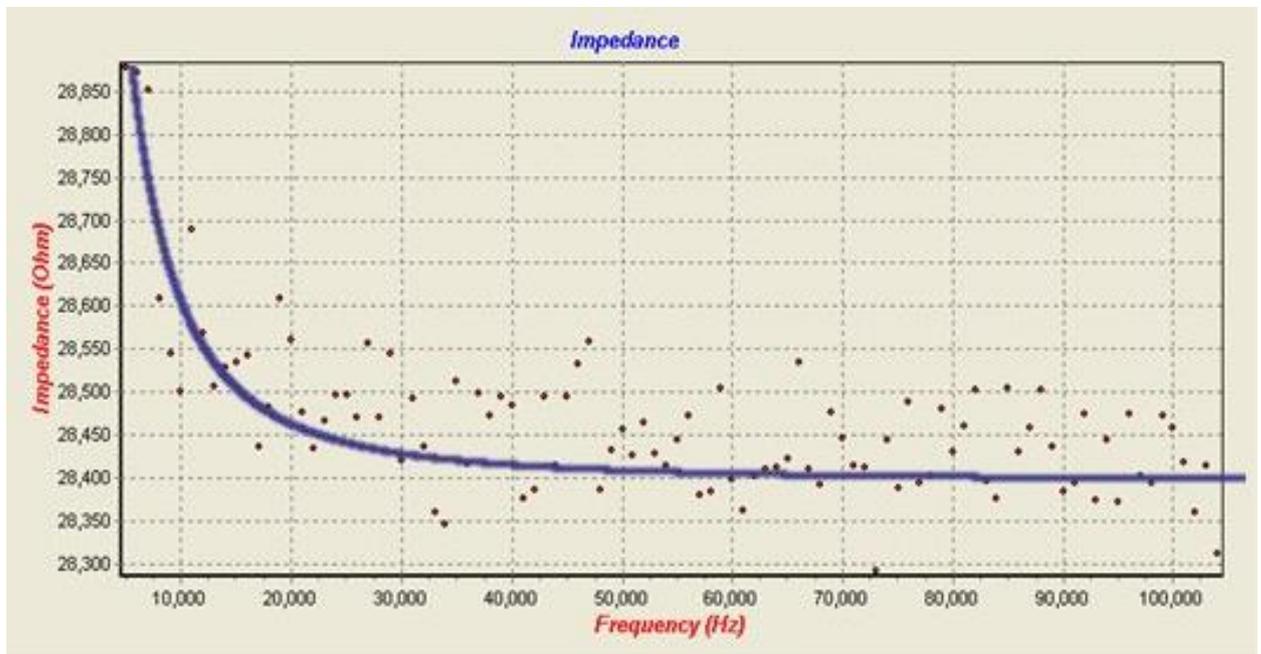


Рисунок 12 - Зависимость импеданса от частоты

Как видно из рисунков полученные результаты совпадают с расчетными данными. Отсюда следует, что прибор позволяет измерять сопротивление ткани в диапазоне частот 5 кГц - 100 кГц.

3.2 Проверка чувствительности прибора

Для проверки чувствительности собранного прибора было проведено измерение дистиллированной воды и образцов крови с гепарином с различной концентрацией глюкозы.

3.2.1 Измерение образцов воды

Для измерения водных растворов были использованы образцы дистиллированной воды с различными концентрациями глюкозы общим объемом 50 мл.

Для полученных образцов воды были измерены значения импеданса на различных частотах. Зависимость импеданса на частоте 50 кГц от концентрации глюкозы в образце дистиллированной воды представлена на рис. 13:

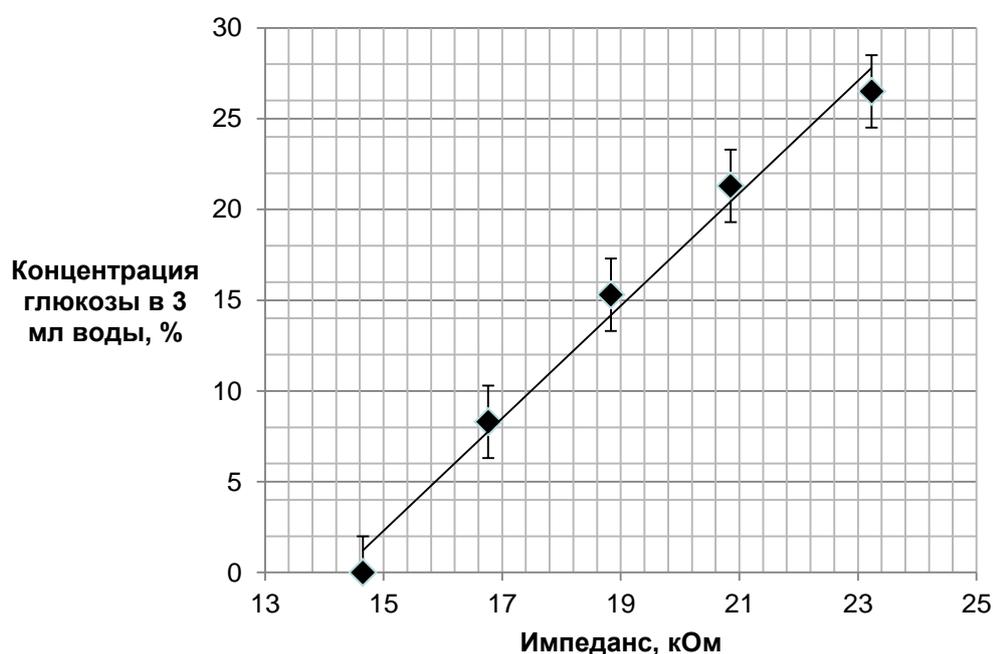


Рисунок 13 - Зависимость сопротивления от частоты для различных концентраций глюкозы в образцах дистиллированной воды

Из графика видно, что макет прибора для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови регистрирует изменения концентрации глюкозы в водных растворах, а также, что полученные значения лежат в пределах погрешности измерений.

3.2.2 Измерение образцов крови

3.2.2.1 Пробоподготовка образцов крови

Для измерения образцов крови использовались образцы гепариновой венозной крови, собранные за несколько часов до измерений у здоровой девушки 23 лет. Образцы распределялись по шприцам объемом 2,5 мл крови и к ним примешивались водные растворы с различной концентрацией глюкозы объемом 0,5 мл. Прямого добавления глюкозы в кровь избегали, так как этот порошок растворяется медленнее в плазме, чем в водной форме. Полученные образцы крови выдерживали в течении 30 минут при постоянном процессе взбалтывания, для лучшего смешения жидкостей.

Из-за небольшого объема добавленной воды можно предположить, что характеристики крови не были существенно изменены, что привело лишь к вариациям в концентрации интересующего анализата.



Рисунок 14 - Образцы венозной крови с вмешанным водным раствором глюкозы различной концентрации.

3.2.2.1 Измерение импеданса образцов крови

Для полученных 3 мл образцов проводились измерения импеданса на собранном приборе в диапазоне частот от 5 кГц до 100 кГц. Полученная зависимость представлена на рис.16.

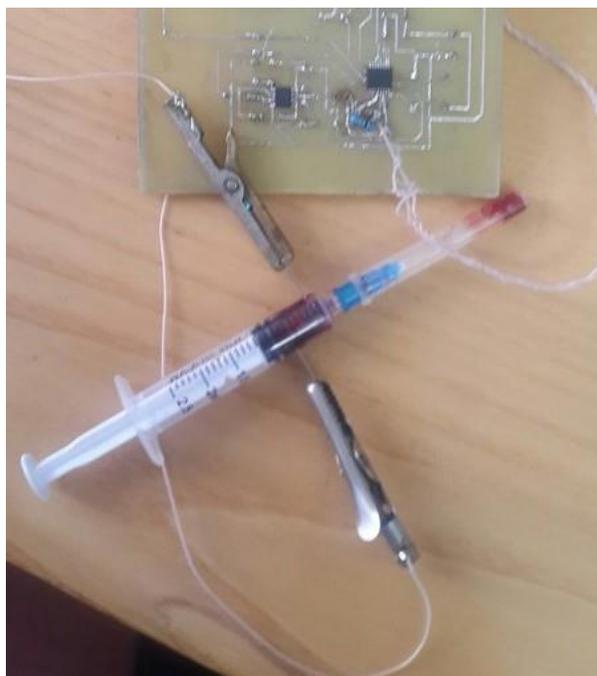


Рисунок 15 - Схема проведения измерения полученных образцов.

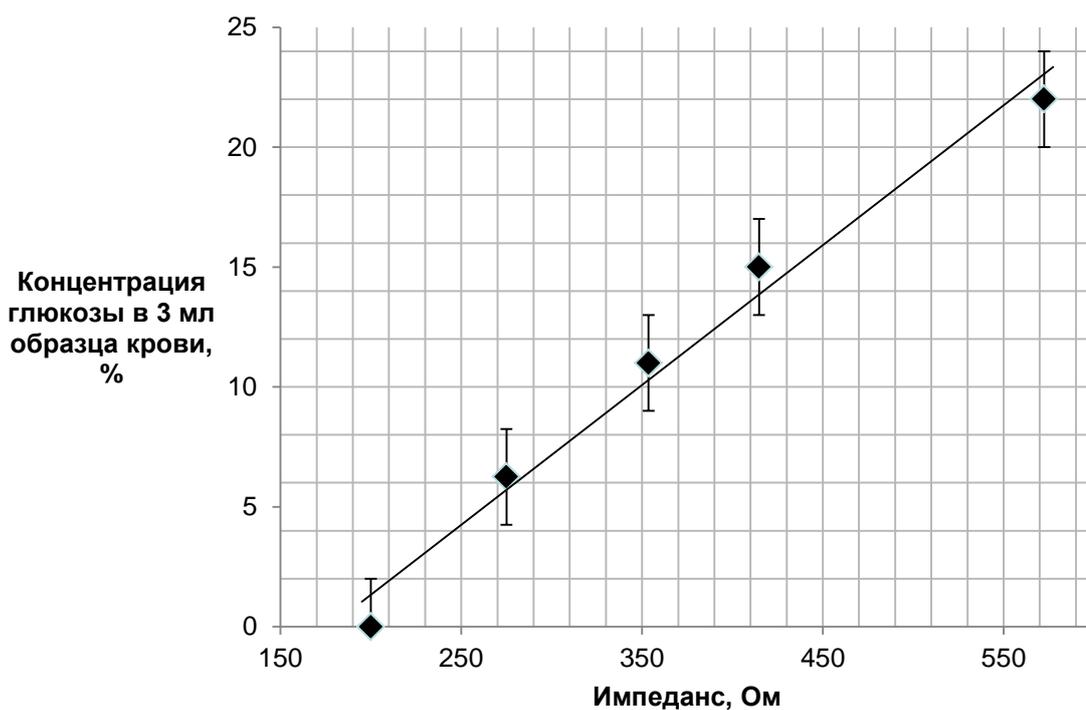


Рисунок 16 - Зависимость сопротивления от частоты для различных концентраций глюкозы в образцах крови

Из графика видно, что макет прибора для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови регистрирует изменения концентрации глюкозы в

образцах венозной крови с гепарином, а также, что полученные значения лежат в пределах погрешности измерений.

3.3 Разработка электрода для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови

Согласно [13] наиболее оптимальным для измерения импеданса руки человека является межпальцевый электрод, основанный на измерении изменений проводимости и диэлектрической проницаемости.

Были спроектированы и изготовлены четыре датчика. Топология датчиков представлена на рис. 17.

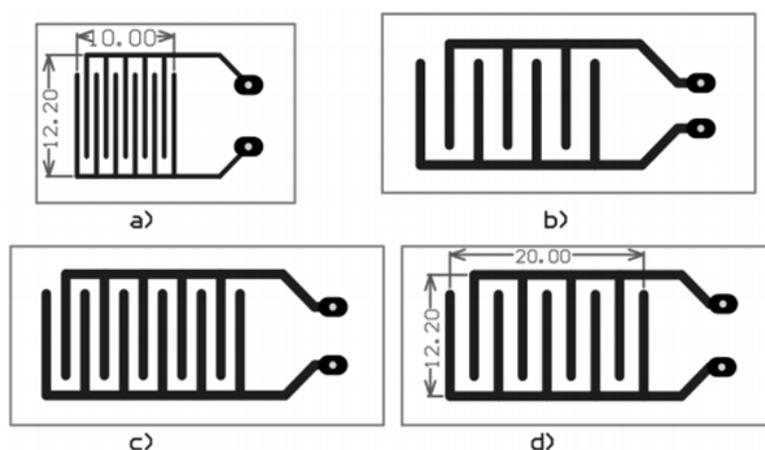


Рисунок 17 - Моделирование и проверка электрода

3.3.1 Моделирование

Моделирование межпальцевых электродов и окружающей среды были произведены с использованием программного обеспечения «COMSOL Multiphysics 4.3a». Наиболее важными компонентами модели являются кожа и кровь. Размеры этих компонентов устанавливаются следующим образом: толщина оболочки - 1,5 мм, диаметр сосуда - 3,2 мм, также были определены электрические параметры тканей, крови и кожи (их проводимость и диэлектрическая проницаемость):

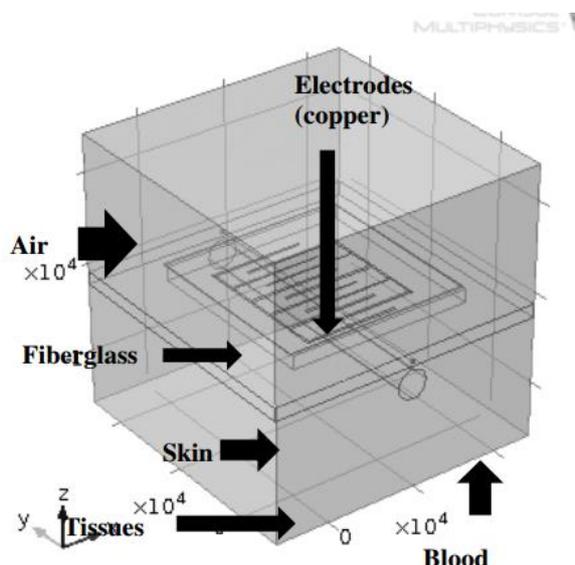


Рисунок 18 - Модель внешней части кисти

Моделированные электроды были сконструированы таким образом, что их длина не превышала 20 мм, а ширина - 15 мм. Такой размер электродов позволяет размещать их на поверхности кожи, избегая образования воздушного зазора, что может привести к искажению результатов измерений.

На первом этапе моделирования рассчитывалось распределение электрического поля в тканях человека и его зависимость от частоты. Как можно видеть на рис. 19 электрическое поле проникает глубоко в ткани и достигает сосудов.

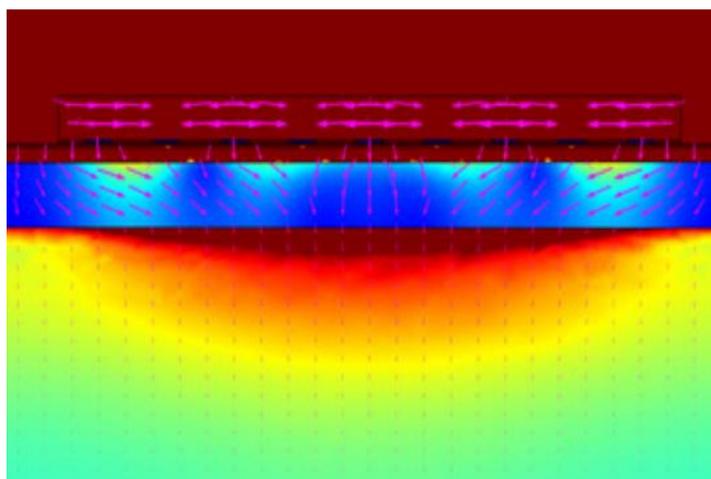


Рисунок 19 - Распределение электрического поля

Исходя из моделирования, наиболее оптимальным для использования, исходя из характеристик аналогового устройства в [12] является электрод d на рис. 17.

3.4 Экспериментальная часть

Было произведено измерение уровня сахара в крови на голодный желудок, спустя час после приема пищи и спустя 2 часа после приема пищи. Измерения производились для двух испытуемых на собранной модели устройства и на лабораторном оборудовании «Кармей» (реактив фирмы Нитан) в диагностической клинической лаборатории НИИ Онкологии Томского НИМЦ. Датчик располагался на внешней стороне руки над самым толстым сосудом, называемым «придаточная головная вена» (рис.20). Эта часть руки достаточно плоская, чтобы избежать образования воздушного зазора, который может повредить результаты измерений.

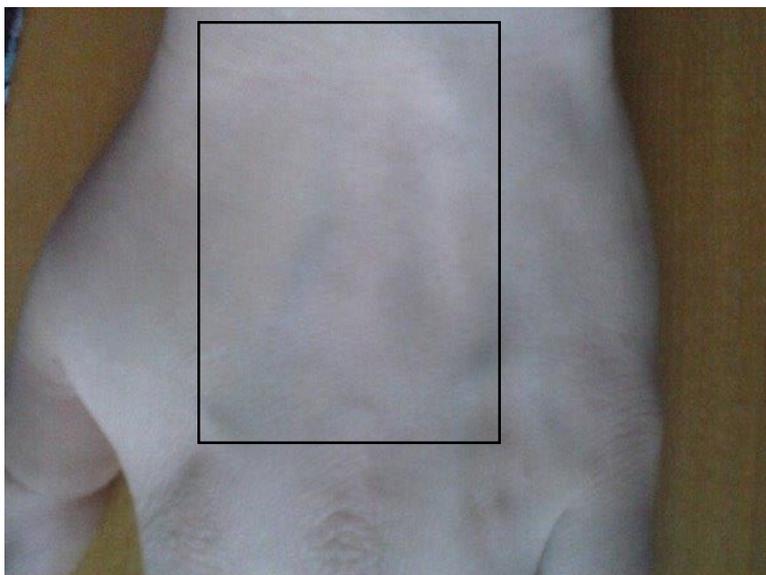


Рисунок 20 - Положение размещения датчика

Полученные на модели устройства данные соотносились с измеренными в тот же момент времени, и при остальных идентичных условиях, значениями уровня глюкозы в крови, полученные лабораторным путем.

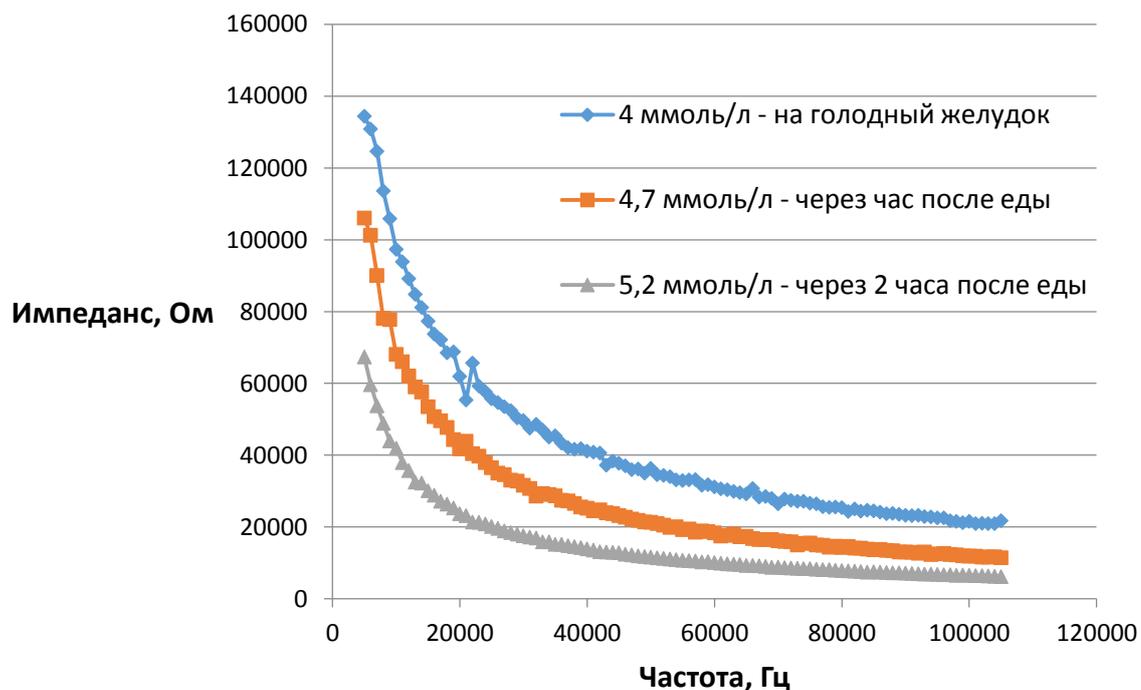


Рисунок 21 – Зависимость биоимпеданса от частоты для диапазона от 5 кГц до 100 кГц для испытуемого №1.

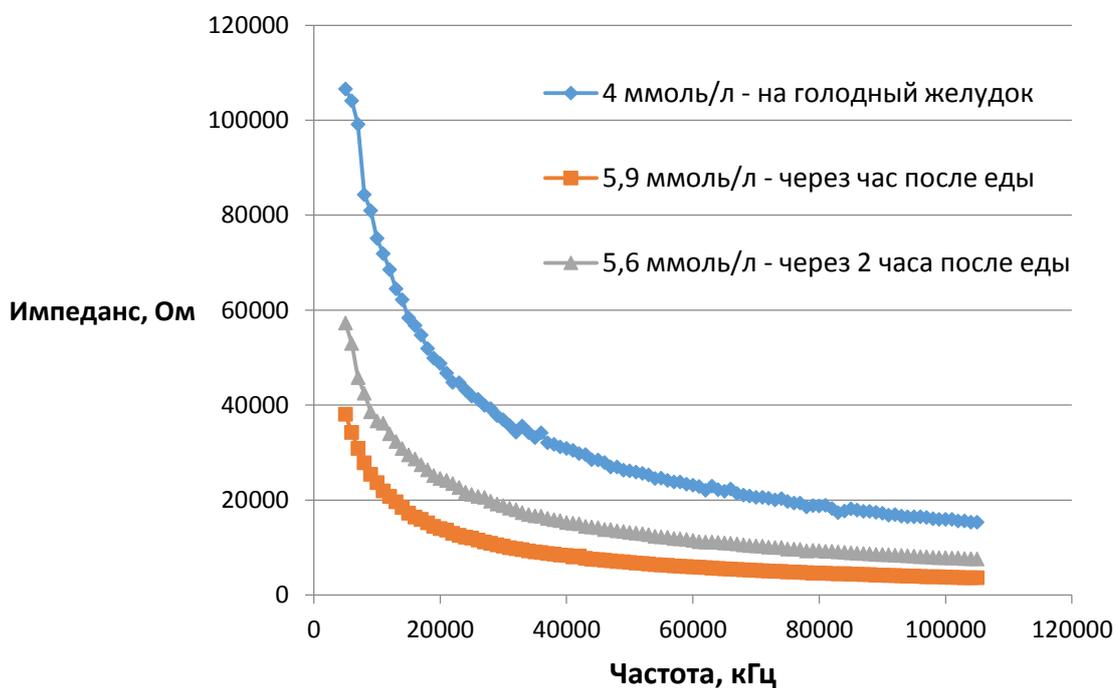


Рисунок 22 – Зависимость биоимпеданса от частоты для диапазона от 5 кГц до 100 кГц для испытуемого №2.

Полученные кривые были добавлены в программное обеспечение, которое далее производило расчет глюкозы.

Далее было произведено измерение концентрации глюкозы у добровольцев на разработанном макете и на глюкометре в отличных от первых испытаний условиях. Измерение на глюкометре показали значение для пациента №1 – 4,9 ммол/л, а для пациента №2 - 5,5 ммол/л. Измерение на разработанном макете представлено на рис 23 и 24.

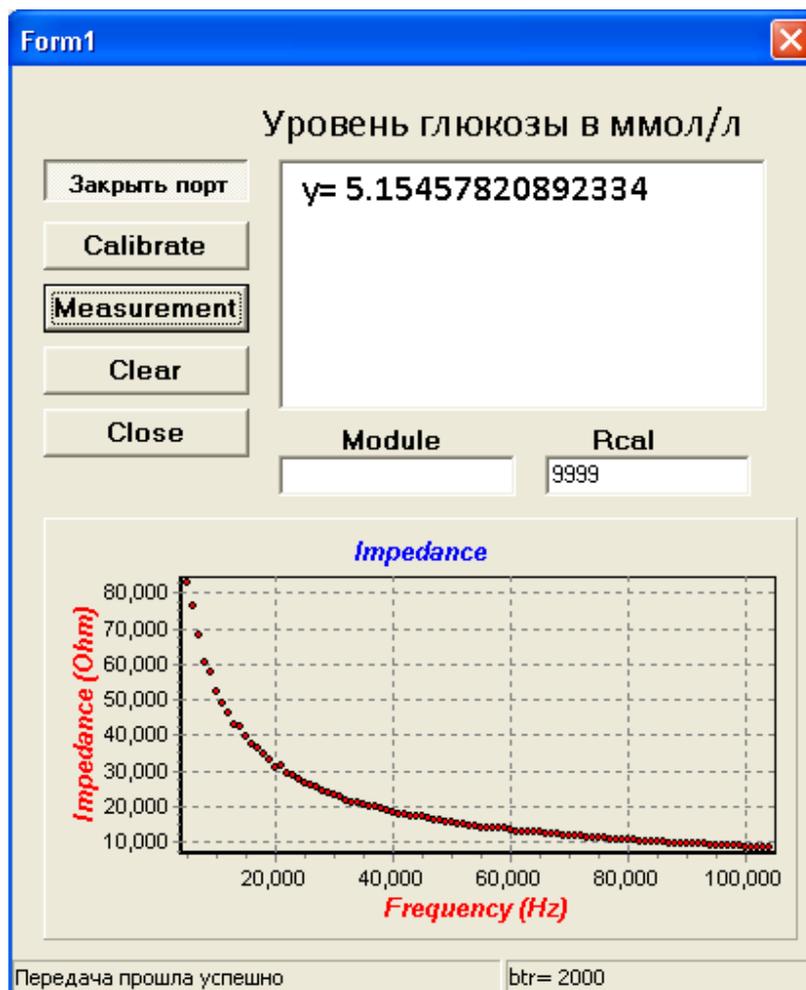


Рисунок 23 – Калибровочная кривая для испытуемого №1.

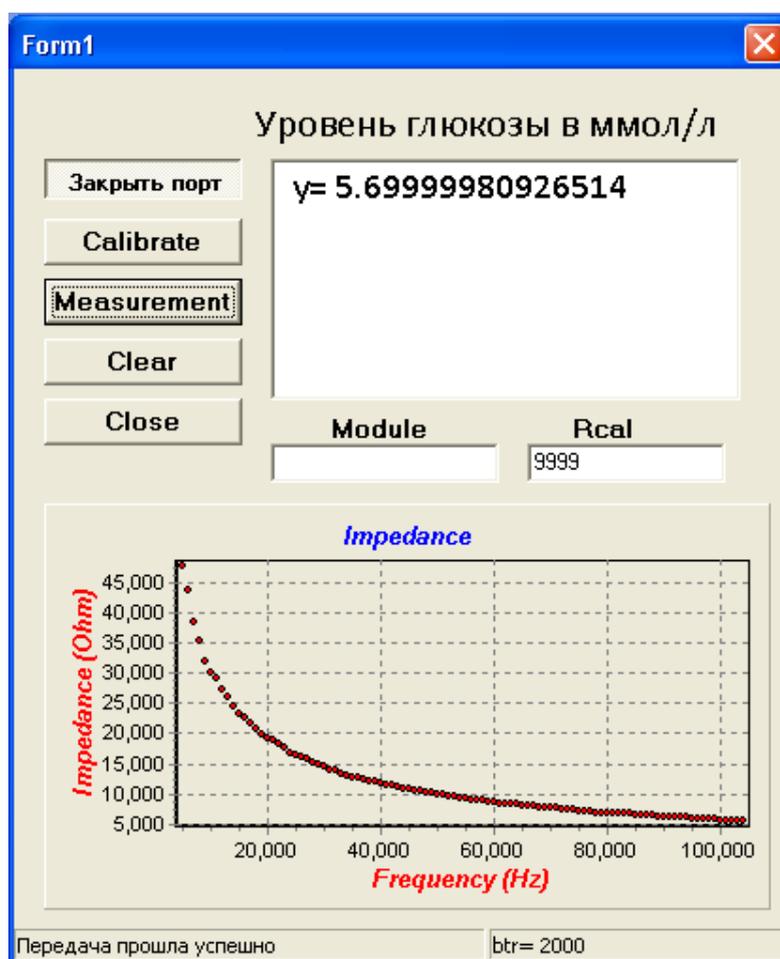


Рисунок 24 – Калибровочная кривая для испытуемого №2.

Измерения на глюкометре показали для пациента №1 - 5,15 ммол/л, а для пациента №2 - 5,69 ммол/л. Исходя из полученных значений, можно сделать вывод, что прибор позволяет измерять с точностью $\pm 5\%$.

Недостатком измерений на данный момент является необходимость в построении индивидуальных калибровочных кривых для каждого из пациентов путем забора крови и проведения стационарных медицинских анализов.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [16].

Потенциальными потребителями являются: различные медицинские учреждения и лаборатории, а также физические лица, которым требуется систематический контроль уровня сахара в крови (диабетики).

4.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 2.

Сравнительная характеристика проводится с неинвазивными глюкометрами Омелон А-1 (К1) и Симфония tCGM (К2)

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8

Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Помехоустойчивость	0,04	2	4	3	0,08	0,16	0,12
3. Надежность	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
4. Безопасность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
5. Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
7. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	4	5	3	0,16	0,2	0,12
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	4	3	1	0,16	0,12	0,04
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	5	4	2	0,3	0,24	0,12
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	1	5	3	0,04	0,2	0,12
3. Цена	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
5. Послепродажное обслуживание	0,02	4	4	3	0,08	0,08	0,06
6. Финансирование научной разработки	0,05	1	4	2	0,05	0,2	0,1
7. Срок выхода на рынок	0,01	1	4	3	0,01	0,04	0,03
8. Наличие сертификации разработки	0,01	1	5	3	0,01	0,05	0,03
Итого	1				3,41	3,29	2,6

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (14)$$

Где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;
- в чем конкурентное преимущество разработки.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров,

4.2 SWOT-анализ

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

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	<p>С1. Простота снятия измерений</p> <p>С2. Простота обработки результатов.</p> <p>С3. На данный момент на рынке не существует неинвазивных приборов для</p>	<p>Сл1. Необходима большая статистика измерений, для повышения точности прибора</p> <p>Сл2. Трудоемкость в разработке и проектировании модели устройства неинвазивного глюкометра на</p>

	<p>измерения уровня глюкозы в крови на основе биоимпеданса.</p> <p>С4. Предполагаемая рыночная цена разрабатываемых за рубежом прототипов для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови, основанные на других методах измерения, слишком высока.</p>	основе биоимпеданса.
<p>Возможности</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В2. Сотрудничество с рядом новых организаций.</p> <p>В3. Разработка прибора для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови на основе биоимпеданса.</p> <p>В4. Публикации в высокорейтинговых журналах способствуют поднятию статуса ВУЗа.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»</p> <p>1. Простота получения и обработки результатов даст нам возможность увеличить спрос на наш продукт.</p> <p>2. Надежность и безопасность метода даст возможность установить сотрудничество с рядом новых организаций.</p> <p>3. Исследование актуально и не имеет аналогов.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»</p> <p>1. Приоритет конкурентных организаций из-за длительного срока реализации.</p> <p>2. Малая статистика измерений приводит к большой погрешности измерений</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Конкуренция.</p> <p>У2. Отсутствие финансирования со стороны, как университета, так и государства.</p> <p>Сл2. Возможность выхода на рынок более дешевых неинвазивных устройств для измерения уровня глюкозы в крови другими методами, ныне не освещенные для общественности.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»</p> <p>1. Работа актуальна и не имеет аналогов.</p> <p>2. Осуществление неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови дает возможность выхода на рынок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»</p> <p>1. Простота и точность измерений дают преимущество перед конкурентами на рынке.</p> <p>2. Заключение договоров о финансировании со сторонними организациями, путем демонстрации возможностей модели устройства.</p>

На основе результатов проведенного анализа можно сделать вывод о трудностях и проблемах, с которыми так или иначе может столкнуться наш исследовательский проект. В связи с сильными сторонами исследуемого

проекта, мы имеем возможность устанавливать сотрудничество с новыми организациями, за счет актуальности, надежности и безопасности данного продукта и увеличить спрос на наш продукт.

Однако мы сталкиваемся также со слабыми сторонами, которые, так или иначе, имеются, необходимость большой статистики измерений, наличие конкуренции. Поэтому у данного исследования имеются такие угрозы, как сложность ее проектирования и разработки и стагнация исследований из-за отсутствия финансирования. Для перекрытия подобных слабых сторон необходимо осуществить набор большей статистики измерений для уменьшения погрешности измерений и привлечение сторонних инвесторов. Это позволит увеличить конкурентоспособность готового устройства.

Исходя из полученных положительных и отрицательных сторон, мы считаем необходимым вынести данную технологию на рынок России.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки разбиваются на этапы в соответствии с ГОСТ 15.101-98, (для НИР) ГОСТ Р 15.201-2000 (для ОКР). В зависимости от характера и сложности НИОКР ГОСТ допускает разделение этапов на отдельные виды работ.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться от 2 до 15 человек. В рамках выполнения бакалаврской работы рабочая группа, обычно, состоит из дипломника и научного руководителя от ВУЗа. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении бакалаврской работы приведен в таблице 4:

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель
	3	Выбор направления исследования	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ литературных источников	Руководитель
	6	Практический расчет	Инженер
	7	Корректировка расчетов	Инженер
	8	Отчет перед руководителем	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Инженер
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Руководитель Инженер
	11	Выбор и расчет конструкции	Инженер
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	13	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Руководитель Инженер
	14	Лабораторные испытания макета	Руководитель Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	15	Составление и оформление расчетов	Руководитель Инженер
	16	Определение целесообразности проведения НИР (ОКР)	Инженер
	17	Составление пояснительной записки	Руководитель
	18	Подготовка к защите темы	Инженер

4.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожi} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} \quad (15)$$

Где $t_{ожi}$, чел – дн – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы;

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

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

$$t_{ож1} = \frac{3t_{min.1} + 2t_{max.1}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4,$$

$$t_{ож2} = \frac{3t_{min.2} + 2t_{max.2}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 2,2,$$

$$t_{ож3} = \frac{3t_{min.3} + 2t_{max.3}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8,$$

$$t_{ож4} = \frac{3t_{min.4} + 2t_{max.4}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 6}{5} = 4,8,$$

$$t_{ож5} = \frac{3t_{min.5} + 2t_{max.5}}{5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8,$$

$$t_{ож6} = \frac{3t_{min.6} + 2t_{max.6}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,2,$$

$$t_{ож7} = \frac{3t_{min.7} + 2t_{max.7}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8,$$

$$t_{ож8} = \frac{3t_{min.8} + 2t_{max.8}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8,$$

$$t_{ож9} = \frac{3t_{min.9} + 2t_{max.9}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 11}{5} = 8,6,$$

$$t_{ож10} = \frac{3t_{min.10} + 2t_{max.10}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 19}{5} = 9,4,$$

$$t_{ож11} = \frac{3t_{min.11} + 2t_{max.11}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2,$$

$$t_{ож12} = \frac{3t_{min.12} + 2t_{max.12}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 6}{5} = 3,6.$$

$$t_{ож13} = \frac{3t_{min.13} + 2t_{max.13}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 14}{5} = 8,$$

$$t_{\text{ож14}} = \frac{3t_{\text{min.i}} + 2t_{\text{max.i}}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 9}{5} = 5,4,$$

$$t_{\text{ож15}} = \frac{3t_{\text{min.i}} + 2t_{\text{max.i}}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 7}{5} = 4,$$

$$t_{\text{ож16}} = \frac{3t_{\text{min.i}} + 2t_{\text{max.i}}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8,$$

$$t_{\text{ож17}} = \frac{3t_{\text{min.i}} + 2t_{\text{max.i}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,4,$$

$$t_{\text{ож18}} = \frac{3t_{\text{min.i}} + 2t_{\text{max.i}}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2,$$

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

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (16)$$

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

$t_{\text{ож}i}$, чел – дн – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы;

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

Таблица 5 – Продолжительность работы в рабочих днях

№	$t_{\text{ож}i}$, чел-дн	$Ч_i$, чел.	Должность исполнителя	T_{pi} , дней
1	3,4	1	Руководитель	3
2	2,2	1	Руководитель	2
3	3,8	1	Руководитель	4
4	4,8	1	Инженер	5
5	6,8	1	Руководитель	7
6	2,2	1	Инженер	2
7	3,8	1	Инженер	4
8	3,8	1	Инженер	4
9	8,6	2	Руководитель	5
			Инженер	5
10	9,4	2	Руководитель	5
			Инженер	5

11	3,2	1	Инженер	3
12	3,6	1	Инженер	4
13	8	2	Руководитель	4
			Инженер	4
14	5,4	2	Руководитель	3
			Инженер	3
15	4	2	Руководитель	2
			Инженер	2
16	2,8	1	Инженер	3
17	1,4	1	Руководитель	1
18	3,2	1	Инженер	3

4.4 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \text{ кал. дн.} \quad (17)$$

Где T_{ki} , кал. дн. – продолжительность выполнения i -й работы;

T_{pi} , раб. дн. – продолжительность выполнения i -й работы;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} \approx 1,22 \quad (18)$$

Где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

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

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

В 2017 году 121 выходных и праздничных дней. Расчетная величина продолжительности работ T_{ki} была округлена до целых чисел. Расчетные данные сведены в таблице 6, на основании которой был построен календарный план-график.

Расчет для первой работы:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 3 \cdot 1,22 = 3,66 \approx 4$$

Таблица 6 – Временные показатели проведения НИО

i	$t_{\min.i}$	$t_{\max.i}$	$t_{\text{ож.}i}$	\mathcal{C}_i	Должность исполнителя	T_{pi}	T_k
1	4	6	3,4	1	Руководитель	3	4
2	1	3	2,2	1	Руководитель	2	2
3	3	5	3,8	1	Руководитель	4	5
4	4	6	4,8	1	Инженер	5	6
5	6	8	6,8	1	Руководитель	7	9
6	2	4	2,2	1	Инженер	2	2
7	3	5	3,8	1	Инженер	4	5
8	3	5	3,8	1	Инженер	4	5
9	7	11	8,6	2	Руководитель	5	8
					Инженер	5	5
10	3	19	9,4	2	Руководитель	5	6
					Инженер	5	6
11	2	5	3,2	1	Инженер	3	4
12	2	6	3,6	1	Инженер	4	5
13	4	14	8	2	Руководитель	4	5
					Инженер	4	5
14	3	9	5,4	2	Руководитель	3	4
					Инженер	3	4
15	2	7	4	2	Руководитель	2	2
					Инженер	2	2
16	2	4	2,8	1	Инженер	3	4
17	1	3	1,4	1	Руководитель	1	1
18	2	5	3,2	1	Инженер	3	4

4.4.1 Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения данной дипломной работы представлен ниже.

Таблица 7 - Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

№	Вид работ	Исполнители	T _к	Продолжительность выполнения работ																		
				март			апрель			май			июнь									
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3							
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■																		
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель	2		■	■																
3	Выбор направления исследования	Руководитель	5		■	■	■															
4	Календарное планирование работ по теме	Инженер	6			□	□															
5	Анализ литературных источников	Руководитель	9				■	■	■													
6	Практический расчет	Инженер	2					□	□													
7	Корректировка расчетов	Инженер	5						□	□	□											
8	Отчет перед руководителем	Инженер	5							□	□	□										
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	8								■	■										
		Инженер	6									□	□									
10	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Руководитель	4									■	■									
		Инженер	5										□	□								
11	Выбор и расчет конструкции	Инженер	5										□	□								
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Инженер	4											□	□							
13	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Руководитель	2												■	■						
		Инженер	4													□	□					
14	Лабораторные испытания макета	Руководитель	1																		■	
		Инженер	1																			□
15	Составление и оформление расчетов	Руководитель	4																			■
		Инженер	2																			

4.5.1. Расчет материальных затрат НИИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} \quad (19)$$

Где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 8:

Таблица 8 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_m), руб.
Микроконтроллер Atmega16	шт	1	140	140
AD5933	шт	1	1093	1093
SMD резисторы и конденсаторы	шт	40	5	200
Кварцевый генератор	шт	1	190	190
Шприцы 5 мл	шт	20	9	180
Пробирки с гепарином	шт	5	14	70

Провод подключения	шт	1	200	200
Итого				2073

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИОКР, включает в себя основную заработную плату работников (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \text{руб.} \quad (20)$$

Где $Z_{осн}$, руб – основная заработная плата;

$Z_{доп}$, руб – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \text{ руб.} \quad (21)$$

Где $Z_{\text{осн}}$, руб – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$, раб.дн. – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником;

$Z_{\text{дн}}$, руб – среднедневная заработная плата работника.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \text{ руб.} \quad (22)$$

Где $Z_{\text{м}}$, руб – месячный должностной оклад работника с учётом регионального коэффициента (для Томска – 1,3);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года. При отпуске в 24 рабочих дней $M = 11,2$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

$F_{\text{д}}$, раб.дн. – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала за вычетом отпуска и больничных. $F_{\text{д}} = 251$ дн.

Основная заработная плата руководителя за период проведения работ равна:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{24000 \cdot 10,4}{251} = 994,4 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} = 994,4 \cdot 46 = 45572,4 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{зп.пр}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 45572,4 + 0 = 45572,4 \text{ руб.} \quad (23)$$

Заработная плата дипломника состоит из стипендии. Дипломник, выполнивший данную работу, получает стипендию в размере $Z_{\text{осн.ст}} = 2200$ руб. в месяц.

$$C_{\text{зп.ст}} = Z_{\text{осн.ст}} \cdot T_{\text{раб}} = 2200 \cdot 4 = 8800 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{зп.пр}} = Z_{\text{осн.рук.}} + Z_{\text{осн.ст}} = 45572,4 + 8800 = 54372,4 \text{ руб.}$$

4.5.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды входят обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (24)$$

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

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 27 %.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}} = 0,27 \quad (25)$$

Где $k_{\text{пф}}$ – коэф. отчисления в пенсионный фонд;

$k_{\text{с}}$ – коэф. отчисления страховых взносов;

$k_{\text{пн}}$ – коэф. отчисления в подоходный налог.

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

$$Z_{\text{внеб}} = 0,27 \cdot (54372,4) = 14680,6 \text{ руб.}$$

4.5.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл}} = Ц_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} \quad (26)$$

Где $Ц_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб./кВтч);

P , кВт – мощность оборудования (ноутбук);

$F_{об}$, ч – время использования оборудования.

При выполнении работы использовался ноутбук со средней мощностью 90 Вт (0,09 кВт).

Стоимость потраченной энергии на ноутбук:

$$C_{элн} = 5,8 \cdot 0,09 \cdot 498 \{83 \text{ рабочих дня} \cdot 6\} = 256 \text{ руб.}$$

Стоимость потраченной энергии на паяльное устройство со средней мощностью 40 Вт (0,04 кВт):

$$C_{элп} = 5,8 \cdot 0,04 \cdot 48 \{8 \text{ рабочих дней} \cdot 6\} = 11,14 \text{ руб.}$$

$$C_{эл} = C_{элн} + C_{элп} = 256 + 11,14 = 267,14 \text{ руб.}$$

4.5.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Суммарные затраты на проведение НИОКР сведены в таблицу 9:

Таблица 9 – Расчет плановой себестоимости

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИОКР	2073	Пункт 6.5.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	54372,4	Пункт 6.5.2
3. Отчисления во внебюджетные фонды	14680,6	Пункт 6.5.3
4. Накладные расходы	267,14	Пункт 6.5.4
5. Бюджет затрат НИОКР	71393,14	Сумма ст. 1- 4

В ходе выполнения экономической части ВКР были проведены расчеты плановой себестоимости проведения НИОКР и время, необходимое на проведение данной работы. Плановая себестоимость работы составляет 71393,14 руб., основная составляющая которой – заработная плата работников.

4.6 Определение ресурсной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 10). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (27)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{71393,14}{71393,14} = 1$$

Для аналога соответственно:

$$I_{финр}^{a1} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{84765,7}{71393,14} = 1,19$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (28)$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 10:

Таблица 10 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 (Текущий проект)	Исп.2
1. Безопасность	0,2	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	2
3. Помехоустойчивость	0,15	1	3
4. Энергоэффективность	0,1	3	2
5. Надежность	0,15	4	4
6. Потребность в ресурсах памяти	0,25	4	5
ИТОГО	1	3,65	3,4

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 = 3,65,$$

$$I_{p-исп2} = 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 = 3,4.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{исп.i}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} = \frac{3,65}{1} = 3,65 \quad (29)$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} = \frac{3,4}{1,19} = 2,86 \quad (30)$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} = \frac{3,65}{2,86} = 1,28 \quad (31)$$

Таблица 11 – Сравнительная эффективность разработки

п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	1	1,19
2	Интегральный показатель эффективности	3,65	2,86
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,28

Сравнивая значения интегральных показателей эффективности, можно отметить, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является исполнение 1.

5 Социальная ответственность

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

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [17].

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

Опасным производственным фактором, согласно [17], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

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

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В таблице 12 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы:

Таблица 12 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Разработка и создание экспериментальной модели устройства		Электрический ток	<ul style="list-style-type: none"> ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
Обработка результатов измерений на ПК	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)		<ul style="list-style-type: none"> СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»

На инженера, работа которого связана с разработкой и созданием платы, а также с работой на компьютере, воздействуют следующие факторы:

1. Физические. При работе за паяльным устройством и компьютером на организм работника воздействуют такие факторы производственной среды как температура и влажность воздуха, вентиляция, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой частоты и освещенность, ионизирующее излучение. При несоответствии данных условий нормированным (регламентированным) значениям производственную среду рассматривают как вредные условия труда. Например, недостаточное освещение рабочего места отрицательно влияет на зрение работника, при увеличении допустимого уровня шума без защитных средств страдает слуховой аппарат человека, повышенная влажность, так же, как и недостаток влаги в воздухе, приводит к росту вероятности простудных заболеваний.

2. Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы. При любой напряженной работе могут возникать такие вредные производственные факторы, как физические перегрузки (статические,

динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки). Последствия физического и психического истощения организма могут повлиять, как на работоспособность человека, так и на состояние здоровья в целом.

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и за паяльной установкой

5.2.1 Организационные мероприятия

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

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

Лица, работающие на ПЭВМ, не должны иметь медицинских противопоказаний. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

5.2.2 Организация рабочего места

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 25:

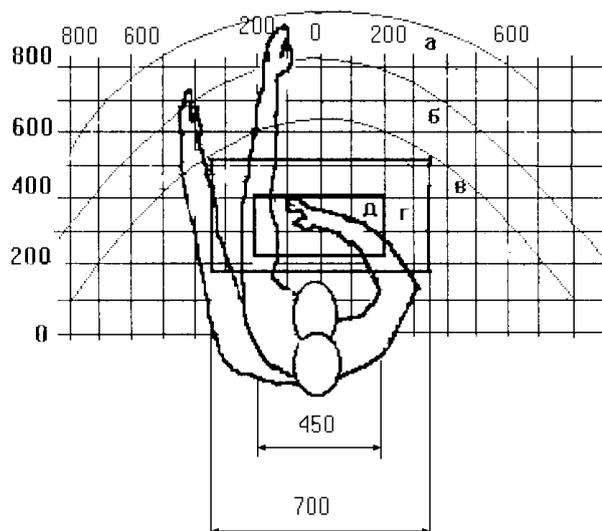


Рисунок 25 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости
 а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

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

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680 - 800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по

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

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

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

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [18] и приведены в таблице 13:

Таблица 13 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

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

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

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%,

скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – от 20 до 25°C, зимой – от 13 до 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции является то, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

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

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [18] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение

хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [18] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

5.3 Электробезопасность

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

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

При разработке и создании экспериментальной модели устройства инженер работает с паяльной установкой.

Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей электрических приборов);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под

напряжением;

- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека, являются:

Электрические травмы — местное повреждение тканей организма в результате действием электрического тока или электрической дуги. К электрическим травмам можно отнести такие повреждения как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения.

Электрические знаки - проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета. Как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно.

Металлизация кожи - возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги. Кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок.

Электроофтальмия – возникает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами.

Механические повреждения проявляются под действием тока, произвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Электрический удар сопровождается возбуждением живых тканей организма током, который через него проходит. В этот момент возникают произвольные судорожные сокращения мышц.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок выполняются в следующей последовательности:

- Отключить напряжение с токоведущих частей, на которых или

вблизи которых будет проводиться работа.

- Принять меры по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы.
- Вывесить плакаты, указывающие место работы.
- Заземлить корпуса всех установок через нулевой провод.
- Покрыть металлические поверхности инструментов надежной изоляцией.

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [18], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

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

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

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

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных

правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

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

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- Сообщить руководству (дежурному).
- Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС.
- Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

В ходе проделанной выпускной квалификационной работы был разработан неинвазивный глюкометр на основе биоимпедансной спектроскопии, а также программное обеспечение для обработки данных.

Для проверки работоспособности прибора была собрана модель клетки. Результаты измерения показали соответствие между теоретическими и измеренными значениями, что свидетельствует о достаточной точности прибора.

Была проведена проверка прибора на чувствительность к изменению концентрации глюкозы в дистиллированной воде и гепариновой крови. Результаты измерения показали, что с увеличением концентрации глюкозы значение импеданса растет.

Для проведения измерений импеданса руки человека был разработан и смоделирован межпальцевый электродный датчик и доказана его применимость в условиях, необходимых для работы модели устройства неинвазивного глюкометра на основе биоимпеданса.

Были измерены импедансы двух добровольцев и полученные экспериментально данные были соотнесены с данными, полученными в диагностической клинической лаборатории НИИ Онкологии Томского НИМЦ в тот же момент времени и при соответствующих условиях. Результаты эксперимента показали, что прибор позволяет измерять с точностью $\pm 5\%$.

Однако у прибора есть недостаток, такой как необходимость построения индивидуальных калибровочных кривых для каждого отдельно взятого пациента путем проведения измерения в лаборатории или с помощью другого инвазивного глюкометра.

Разработанный прибор может найти широкое применение в повседневной жизни пациентов, страдающих сахарным диабетом, чтобы постоянно контролировать уровень глюкозы в крови и исключить риск осложнений. Также прибор может быть использован в медицинских

учреждениях в качестве замены лабораторных анализаторов крови при проведении операций, когда требуются частые и быстрые измерения уровня глюкозы в крови.

Список литературы

1. Diabethelp.org. сахарный диабет: этиология, патогенез, критерии диагноза [Электронный ресурс]: портал. – Режим доступа: <http://diabethelp.org/bolezn/etiologiya-patogenez-saxarnogo-diabeta.html>, свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 19.02.2017)
2. Diabethelp.org. Норма сахара в крови по возрасту [Электронный ресурс]: портал. – Режим доступа: <http://diabethelp.org/meryaem/norma-saxara-v-krovi-po-vozrastu-tablica.html>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 19.02.2017)
3. Krasgmu.net - Красноярский медицинский портал. Норма сахара в крови у женщин и мужчин, кровь на сахар из вены / пальца, после еды [Электронный ресурс]: портал. - Режим доступа: http://krasgmu.net/publ/diagnostika_i_analizu/norma_sakhara_v_krovi_u_zhenshhin_krov_na_sakhar_iz_veny_posle_edy_zhenshhin_60_let/36-1-0-397, свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 26.02.2017)
4. Мой диабет. Обзор способов измерения уровня сахара в крови [Электронный ресурс]: портал. - Режим доступа: <https://moidiabet.ru/articles/obzor-sposobov-izmereniya-urovnja-sahara-v-krovi>, свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 4.03.2017)
5. A.Tara, A.Maran, G.Pacini. "Non-invasive glucose monitoring: Assessment of technologies and devices according to quantitative criteria"// "Diabetes Research and Clinical Practice". - 2007. - pp. 16-40.
6. Chaoshi R. et al. Development of electrical bioimpedance technology in the future //Engineering in Medicine and Biology Society, 1998. Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE. – IEEE, 1998. – Т. 2. – С. 1052-1054.
7. Dialekar.ru - все про лечение диабета. Сравнение глюкометров по точности [Электронный ресурс] : портал. - Режим доступа: <http://dialekar.ru/252->

[sравnenie-glyukometrov-po-tochnosti-rekomenduyu-modeli-dlya-raznyh-tipov-lyudey.html](#), свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 21.02.2017)

8. Алейник, А.Н. Физические методы в исследовании биологических объектов / А.Н. Алейник, В.И. Беспалов - Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. - 178 с.

9. do Amaral C. E. F. Multiparameter Methods for Non-invasive Measurement of Blood Glucose //Technischen Universität München. – 2008.

10. Корневский Н. А., Попечителей Е. П., Филист С. А. Проектирование электронной медицинской аппаратуры для диагностики и лечебных воздействий: Монография. — Курская городская типография. - 1999.

11. Atmega16 data sheet, Analog Devices [Электронный ресурс] : портал. - Режим доступа: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/78532/ATMEL/ATMEGA16.html>, свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 13.03.2017)

12. AD5934 data sheet, Analog Devices[Электронный ресурс] : портал. - Режим доступа: Available: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5934.pdf, свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 13.03.2017)

13. Pockevicius V. et al. Blood glucose level estimation using interdigital electrodes //Elektronika ir Elektrotechnika. – 2013. – Т. 19. – №. 6. – С. 71-74.

14. Pradhan R., Mitra A., Das S. Impedimetric characterization of human blood using three-electrode based ECIS devices //Journal of Electrical Bioimpedance. – 2012. – Т. 3. – №. 1. – С. 12-19.

15. Caduff A. et al. Non-invasive glucose monitoring in patients with diabetes: a novel system based on impedance spectroscopy //Biosensors and Bioelectronics. – 2006. – Т. 22. – №. 5. – С. 598-604.

16. Видяев И. Г., Серикова Г. Н., Гаврикова Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие //И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Креницына. – 2014.

17. Grandars.ru – Основы Безопасности Жизнедеятельности [Электронный ресурс]: портал. - Режим доступа: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/opasnye-proizvodstvennye-factory.html>, свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 24.04.2017)

18. Гапонюк Н. А. Гигиеническая классификация условий труда и оценка факторов среды на продолжительность жизни человека и риск его гибели. – МГИУ, 2007.