

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

---

Институт	Неразрушающего контроля
Направление подготовки	Приборостроение
Кафедра	ФМПК

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Разработка и исследование наносенсоров для съема поверхностных биопотенциалов человека

УДК 681.586:577.352:616-07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Зубрилова Мария Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Авдеева Д.К.	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав.кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	<b>Способность</b> совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;	Требования ФГОС (ОК-1) Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	<b>Способность</b> адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ПК-19) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	<b>Способность</b> использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-12,13,16-18,12,22) Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	<b>Способность</b> к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОПК-2, ПК-10,19) Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	<b>Умение</b> использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении..	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5-7), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	<b>Умение</b> профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-5,6,8,20), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	<b>Способность</b> проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5,10,13,22), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<b>Умение</b> разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики,	Требования ФГОС (ОК-1,ПК-7,14,15) ПК-2,26,27,28)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.	Критерий 5 АИОР (п.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р9	<b>Умение</b> организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-2,6,14,20) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	<b>Способность</b> проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОПК-2, ПК-1,2,6,13) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р11	<b>Способность</b> формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ; составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам исследовательской деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,3, ПК-3,4,9,11) Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки – Приборостроение  
Кафедра ФМПК

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Суржиков А.П.  
(Дата) (Подпись)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Зубриловой Марии Викторовне

Тема работы:

Разработка и исследование наносенсоров для съема поверхностных биопотенциалов человека	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Ведется разработка способа создания наносенсоров для съема биопотенциалов человека с улучшенными характеристиками по сравнению с существующими электродами. С этой целью разработано несколько партий наносенсоров по различным методикам. Необходимы исследования метрологических характеристик соответствующих ГОСТ 25995-83. Также необходима разработка усовершенствованного корпуса для наносенсоров.
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор существующих электродов для съема биопотенциалов человека 2. Разработка прижимного корпуса для наносенсора 3. Исследование метрологических характеристик наносенсоров
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Конструкция наносенсора, Функциональная схема
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Иностранный язык	Вебер Юлия Юрьевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Электроды	
Разработка конструкции и изготовление экспериментальных образцов наносенсоров	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Авдеева Д.К.	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Зубрилова Мария Викторовна		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ5А	Зубриловой Марии Викторовне

<b>Институт</b>	Неразрушающего контроля	<b>Кафедра</b>	ФМПК
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Работа с информацией, представленной в научных публикациях, аналитических материалах, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НИИ выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Предпроектный анализ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации. Составлена диаграмма Исикавы. Проведения SWOT-анализа.
2. Планирование научно-исследовательских работ	Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИИ, трудозатраты и функции исполнителей проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Календарный план проекта
3. Диаграмма причины-следствия Исикавы
4. SWOT - матрица
5. Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Гантта)

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ5А	Зубрилова Мария Викторовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ5А	Зубриловой Марии Викторовне

<b>Институт</b>	Неразрушающего контроля	<b>Кафедра</b>	ФМПК
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Разрабатываемым устройством является наносенсор для съема биопотенциалов человека
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации наносенсоров 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации наносенсоров 1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	При разработке и эксплуатации наносенсоров могут возникнуть следующие вредные факторы: повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенный уровень статического электричества, недостаточная освещенность. Возможно возникновения опасного фактора как поражение электрическим током.
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия на литосферу и решение проблемы
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможен пожар
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Рациональная планировка рабочей зоны

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ5А	Зубрилова Мария Викторовна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 33 рис., 16 табл., 28 источников, 1 прил. Ключевые слова: биопотенциал, регистрация биопотенциалов, потенциал действия, обратимые электроды, наносенсоры, стенд для испытаний электродов.

Объектом исследования являются наносенсоры для съема биопотенциалов человека и их метрологические характеристики.

Цель работы – разработка и исследование наносенсоров для съема поверхностных биопотенциалов человека.

В результате выполнения работы была разработана конструкция прижимного наносенсора, фиксируемого на поясе. Такое решение необходимо для быстрого наложения измерительной системы на грудную клетку, при проведении исследований в клинических условиях, где ежедневно проходит значительный поток пациентов. Также были проведены исследования наносенсоров, вследствие чего выявлена оптимальная технология их изготовления. Исследования показали, что метрологические характеристики наносенсоров превосходят характеристики существующих электродов.

Степень внедрения: наносенсоры используются в электрофизиологических исследованиях, таких как электрокардиография и электроэнцефалография. Благодаря наносенсорам регистрация потенциалов человека производится с максимальной точностью.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

### **Нормативные ссылки**

1. ГОСТ 24878-81. Электроды для съема биоэлектрических потенциалов: Термины и определения
2. ГОСТ 25995-83. Электроды для съема биоэлектрических потенциалов: Общие технические требования и методы испытаний. – Государственный Комитет СССР по стандартам, 1984.
3. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
4. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1).
5. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).

Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

7. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
9. ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.
10. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

### **Определения**

Биопотенциал – это разность электрических потенциалов, которая существует между разными органами, участками тканей и клетками.

Электрод – специальное устройство, необходимое для регистрации биопотенциалов.

## **Сокращения**

ЭЯ – электродная ячейка;

МДС – модуль сбора данных

## Оглавление

Разработка конструкции и изготовление экспериментальных образцов наносенсоров.....	5
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	9
Введение.....	13
1 Литературный обзор .....	16
1.1 Биопотенциалы и их возникновение.....	16
1.2 Электроды .....	18
1.2.1 Металлические электроды .....	27
1.2.2 Обратимые электроды .....	28
1.2.3 Емкостные электроды.....	29
1.2.4 Резистивно-емкостные электроды.....	30
1.2.5 Двухфазные электроды.....	30
2 Разработка конструкции экспериментальных образцов наносенсоров.....	38
2.1 Наносенсоры .....	38
2.2 Описание конструкции наносенсора.....	40
3 Исследования наносенсоров с различным количеством наночастиц в порах керамической диафрагмы.....	45
3.1 Подготовка к исследованиям .....	45
3.2 Методика и проведение исследований .....	48
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
4.1 Предпроектный анализ .....	64
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	64
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	64
4.1.3 Технология QuaD .....	65
4.1.4 Диаграмма Исикава.....	66
4.1. SWOT – анализ .....	67
4.1.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	69
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	70
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	70
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	71

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	72
5 Социальная ответственность .....	75
5.1. Производственная безопасность.....	75
5.1.2 Недостаточная освещенность .....	77
5.1.3 Превышение уровня электромагнитных излучений.....	78
5.1.4 Поражение электрическим током.....	79
5.2 Экологическая безопасность.....	80
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	80
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	81
Заключение .....	83
Список публикаций студента.....	84
Список использованных источников .....	85
Приложение А .....	88

## **Введение**

В настоящее время в медицине широко применяются электрофизиологические методы исследования и диагностики состояния как человеческого организма в целом, так и отдельных органов. Для этих методов необходимо измерение электрических характеристик биообъекта: биотоков, биопотенциалов, либо проводимостей органов, тканей, жидкостей в организме.

Для того чтобы измерить вышеперечисленные характеристики используются биоэлектрические электроды – устройства для съема биопотенциалов человека. На сегодняшний день создано множество электродов, отличающихся друг от друга конструкцией, техническими характеристиками, а также физическими принципами работы.

Регистрируемые биоэлектрические сигналы при диагностике человеческого организма занимают частотный диапазон от 0 Гц до 20 кГц и от единиц нановольт до десятков милливольт по амплитуде. Параметры электродов, такие как: полное электродное сопротивление, электродный потенциал, напряжение шума, напряжение поляризации, геометрические размеры влияют на качество и точность регистрируемой информации.

В связи с этим к электродам предъявляются довольно жесткие требования по минимализации потерь полезной информации, которые необходимо учитывать во время их разработки.

В последние годы медицинская измерительная аппаратура активно развивается: появляются новые методы обработки регистрируемой информации, улучшается качество записи, фильтрация полученных сигналов. Электроды в этой сфере развиваются не так активно, не смотря на технологический скачок в материаловедении, электронике. В связи с этим существует необходимость создания первичных измерительных преобразователей с усовершенствованными метрологическими и техническими характеристиками.

Одним из решений данной проблемы стала разработка электродного устройства лабораторий № 63 ИНК ТПУ, оно получило название «наносенсор»

благодаря высокой разрешающей способности как по уровню сигнала (нановольтовый), так и по частотному диапазону, которое описывается в данной работе.

**Цель диссертационной работы** – разработка и исследование наносенсоров для съема поверхностных биопотенциалов человека.

### **Методы исследований**

Теоретические и экспериментальные, основанные на теории измерительных сигналов, прикладной и вычислительной математике, прикладных программах для персонального компьютера, принципах построения современных аппаратно-программных средств.

### **Научная новизна работы**

Впервые разработаны наносенсоры для съёма биопотенциалов, максимальное мгновенное значение собственных шумов которых не превышает  $\pm 200$  нВ в полосе частот от 0 до 10000 Гц.

Наносенсоры благодаря конструктивно-технологическим параметрам обеспечивают в отличие от известных электродов многоканальный съём биопотенциалов сердца с наноразмерных участков поверхности тела человека, аккумулируют сигнал и ослабляют действие помех и шумов

### **Практическая ценность работы**

1. Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планами работ института неразрушающего контроля ФГАОУ ВО НИ ТПУ, по проекту РФФИ № 12-08-00996 «Исследование искажений тонкой структуры (низкоамплитудных высокочастотных колебаний) биопотенциалов сердца и мозга, вносимых фильтрующими схемами медицинского диагностического оборудования; поиск путей устранения помех с сохранением тонкой структуры уровнем менее 1 мкВ в полосе частот 0 – 150 Гц», 2012-2013 гг., и по проекту ФЦП «Разработка экспериментального образца аппаратно-программного комплекса для неинвазивной регистрации микропотенциалов сердца в широкой полосе частот без фильтрации и усреднения в реальном времени с целью

раннего выявления признаков внезапной сердечной смерти», Соглашение № 14.578.21.0032 от 05.06.2014, 2014-2016 гг.

2. Исследования метрологических характеристик экспериментальных образцов наносенсоров проводились на стенде для испытаний наносенсоров «Стенд для испытаний наносенсоров», заводской номер 001, Аттестат № 71/15 от 30.06.2015 г., выданный ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области».

3. Разработана конструкция прижимного наносенсора, фиксируемого на поясе. Такое решение необходимо для быстрого наложения измерительной системы на грудную клетку, при проведении исследований в клинических условиях, где ежедневно проходит значительный поток пациентов.

#### **Личный вклад автора**

Основные научные теоретические и экспериментальные исследования выполнены автором самостоятельно либо при его непосредственном участии.

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Биопотенциалы и их возникновение

В основе биоэлектрических процессов лежит активность возбуждаемых клеток, реагирующих на биопотенциалы. Биопотенциал - это разность электрических потенциалов, которая существует между разными органами, участками тканей и клетками. Каждая клетка в организме окружена плазматической мембраной, которая в свою очередь отделяет содержимое клетки от внешней среды. Помимо защитной функции, клеточная мембрана способствует передаче биопотенциалов и их генерации. Данное явление лежит в основе многих процессов протекающих в организме, например: работа нервной системы, возбудимость клеток, регуляция мышечного сокращения и прочее.

Электрический потенциал появляется в совокупности потенциал-образующих ионов, эти химические частицы и несут электрический заряд. Калий ( $K^+$ ), натрий ( $Na^+$ ) являются важнейшими из них.

Различают потенциал покоя и потенциал действия. Разность потенциалов между цитоплазмой клетки и ее наружной поверхностью примерно 0,06-0,09 В – эта разность называется потенциалом покоя. Данный потенциал обеспечивается калием, так как в отличие от других ионов для него проницаемость мембраны гораздо выше. Калий благодаря диффузии проходит через мембрану свободно. Он идет от максимальной к минимальной концентрации, по градиенту. В клетке примерно в сорок раз его концентрация больше, поэтому он выходит наружу. В связи с тем, что движение калия свободно, со временем по разные стороны мембраны должно установиться равновесие, но этого не происходит из-за того, что в клетках организма работает специальная система активного транспорта. Избыток ионов калия эта система из клетки выкачивает.

Для натрия проницаемость мембраны низка, поэтому он проникает в клетку в малых количествах. Концентрация его во внешней среде гораздо

больше, поэтому транспорт происходит против градиента концентрации, что влечет за собой затраты энергии.

Клетка, подвергаясь внешнему воздействию, переходит в состояние возбуждения и генерирует уже потенциал действия.

Реализуется этот процесс в мембране клетки с помощью системы ионных каналов, которая регулирует концентрацию ионов. Каналы – это определенные белки в мембране. Каждый тип каналов может пропустить только определенные ионы.

Натриевые каналы – это белок, состоящий из трех различных субъединиц, которые образуют трубку с внутренним просветом. Находиться этот канал может в трех состояниях: открытом, закрытом и инактивированном. В зависимости от состояния мембраны канал открывается и закрывается, что обеспечивается расположением положительных и отрицательных зарядов в белке; эти заряды притягиваются к противоположным на мембране.

Калиевые каналы до конца не закрываются, калий в состоянии покоя уходит по градиенту концентрации из цитоплазмы.

Во время формирования потенциала действия в клетке происходит перезарядка мембраны. Это обеспечивается тем, что под воздействием внешнего раздражения натриевые каналы открываются из-за деполяризации мембраны. Натрий начинает поступать в клетку и его ток превышает ток выходящего калия. Концентрация натрия внутри клетки резко повышается.

Затем, концентрации ионов должны стать исходными. Это обеспечивается рефрактерностью: канал, после срабатывания некоторое время не активен, следовательно, не может возбудиться под действием внешнего раздражителя. Для натрия проницаемость резко сокращается. Ток калия, напротив, увеличивается, так как активно начинают работать калиевые каналы.

Таким образом, восстанавливается изначальный потенциал покоя.

На рисунке 1.1 представлен потенциал действия.

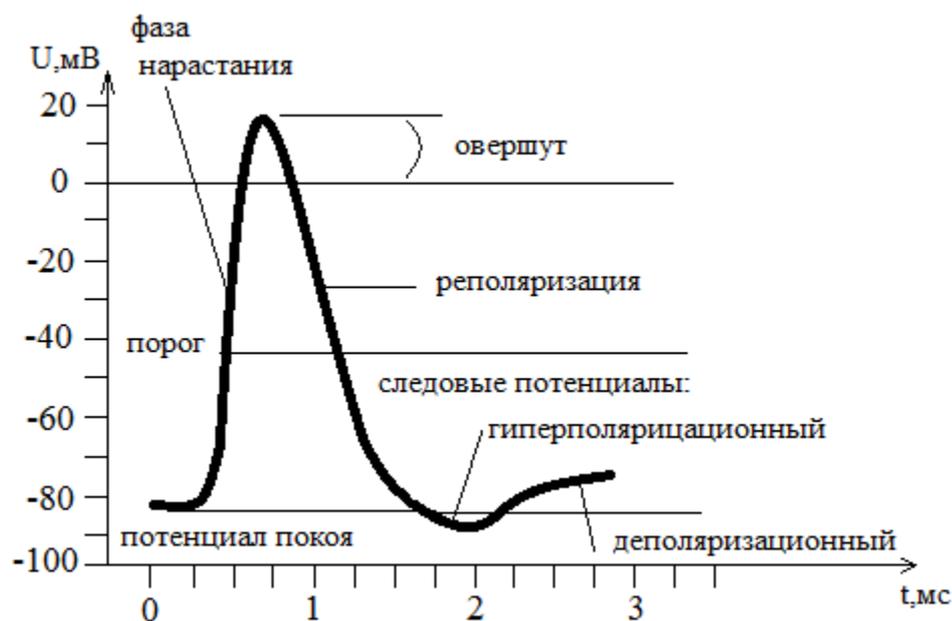


Рисунок 1.1 – временной ход потенциала действия

Фаза депполяризации обусловлена выходом натрия в клетку, овершут – перезарядка мембраны; фаза реполяризации, в течение которой восстанавливается исходный потенциал вследствие выхода калия из клеток; депполяризационные потенциалы – замедление реполяризации клеточной мембраны; гиперполяризационные потенциалы – увеличение разности потенциалов.

Продолжительность потенциалов действия для нервных клеток имеет величину 1-2 мс, для скелетных мышц – 3-5 мс, для мышц сердца – 50-600 мс. Амплитуда потенциала действия для нервных клеток составляет 110-100 мВ, а для скелетных и сердечных мышц – 110-120 мВ.

## 1.2 Электроды

Специальные устройства – электроды, необходимы для регистрации биопотенциалов.

Биоэлектрическим электродом называется устройство, которое используется при съеме биоэлектрических потенциалов и имеет токосъемную поверхность, а также выходные элементы. Токосъемная поверхность - это часть

поверхности электрода, которая контактирует с биообъектом напрямую или через контактное вещество и обеспечивает соединение объекта с нейтральной клеммой или съём биопотенциалов. Помимо этого, в электроде также выделяют опорную поверхность, которая представляет собой часть поверхности, выполняющую функцию опоры при креплении электрода на биообъекте. При помощи электродов происходит преобразование ионных потенциалов в электронные.

Биоэлектрические электроды классифицируются по различным признакам:

- кратность применения;
- длительность контакта с биообъектом в течение одного исследования;
- характер исследуемого источника биоэлектрического поля;
- место наложения или введения;
- способ удержания в контакте с поверхностью биообъекта и некоторые другие.

В зависимости от роли электродов в съёме биопотенциалов различают следующие виды:

- Потенциальный электрод представляет собой отводящий электрод, который контактирует с участком биообъекта, находящимся в электрическом поле органа, который исследуется.
- Нулевой электрод также является отводящим электродом, который контактирует с участком биообъекта, в котором потенциал электрического поля исследуемого органа, ткани или клетки стремится к нулю.
- Нейтральный электрод - это электрод, который не участвует в съёме биоэлектрических потенциалов. Он подключается к нейтральной клемме измерительной установки.

Электроды подразделяются на следующие основные типы в зависимости от источника биоэлектрического поля:

- Электрокардиографические – для исследования сердечной мышцы путем регистрации биопотенциалов сердца [3].
- Электроэнцефалографические электроды для исследования работы головного мозга, регистрируют электрические импульсы, исходящие от его отдельных зон и областей [4].
- Электротортикографические – размещаются на поверхности коры полушарий головного мозга, и используются при ее функциональном исследовании [5].
- Электромиографические электроды используются для диагностики, позволяющей оценить биоэлектрическую активность мышц [6].
- Электроокулографические электроды предназначены для исследования движений глаз, основанный на регистрации изменения электрического потенциала сетчатки и глазных мышц [7].
- Электроретинографические электроды регистрируют биопотенциалы, которые возникают в сетчатке при световом раздражении [8].
- Электрогастрографические – для исследования моторно-эвакуаторной функции желудочно-кишечного тракта при помощи одновременной регистрации биопотенциалов его различных отделов [9].
- Электрокохлеографические электроды регистрируют биопотенциалы, которые вызывает активность структур наружного, среднего и внутреннего уха [10].

Электроды так же подразделяются по степени разрушения человеческого организма на:

- инвазивные электроды
- неинвазивные электроды

Инвазивные электроды отличаются от неинвазивных тем, что они проникают в организм человека. Неинвазивные абсолютно безопасны для человека и не создают дискомфорта во время исследований.

По месту наложения или введения электроды разделяют на следующие виды:

- кожные электроды;
- роговичные электроды;
- надтканевые электроды;
- полостные электроды;
- внутритканевые электроды;
- игольчатые электроды [11].

Кожные электроды – электроды для наложения на поверхность кожи [12], например, электроды Ceracarta TOP TRACE NM 42 DFI для стандартного съема ЭКГ (рисунок 1.2).

Тип коннектора: "кнопка".

Покрытие коннектора: Ag/AgCl (серебро / хлорид серебра)

Основа: вспененный полиэтилен

Размер: 42x45 мм

Токопроводящая среда: твердый гидрогель

Электрод разработан специально для сложных условий, возникающих при стандартном исследовании пациента, прост в использовании [13]. Поляризация, а следственно появление помех при регистрации биопотенциалов, являются недостатками данного типа электрода.



Рисунок 1.2 – Одноразовый электрод для снятия ЭКГ

Роговичные электроды сконструированы в форме маленьких «крючков» – рисунок 1.3. Такого вида электрод не доставляет пациенту неприятных ощущений при обследовании, в отличие от электродов-линз [14]. Единственный минус – возможность повреждения роговицы при неправильном использовании электрода.

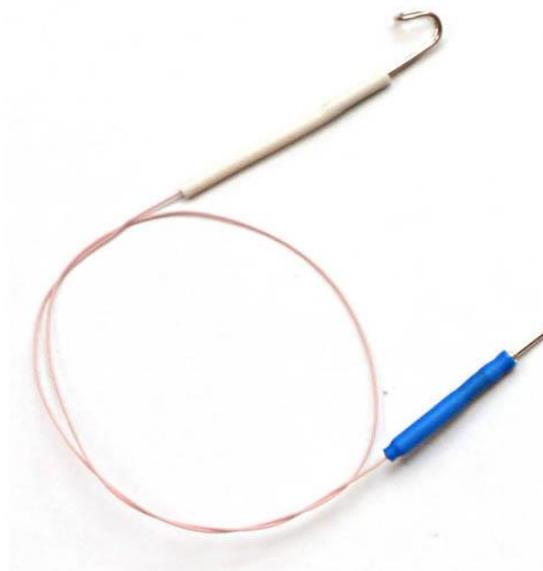


Рисунок 1.3 – Роговичный электрод «крючек»

К надклеточным относятся эпимизийные электроды, которые используются на эпимизиях и имеют хорошие показатели стабильности и

широко используются на людях; эти электроды в большинстве случаев нашли применение в нейропротезах для осуществления функциональной электрической стимуляции [15]. Эти электроды представляют собой платиноиридиевые диски, установленные на силиконовую подкладку в биполярной конфигурации.

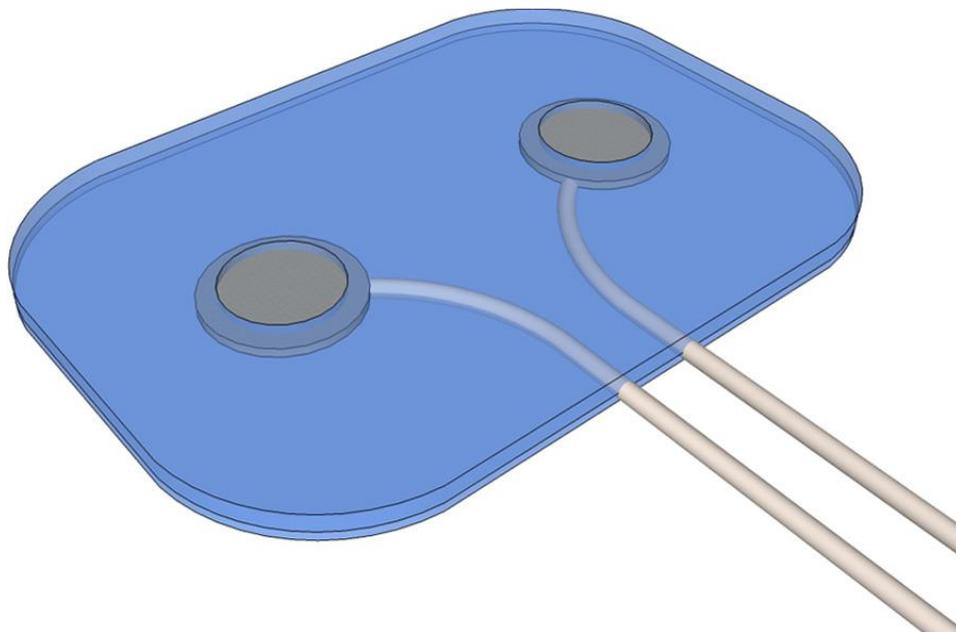


Рисунок 1.4 – Биполярный эпимизийный электрод

Недостаток эпимизийных электродов заключается в сложности выбора места наложения, чтобы найти лучшую двигательную точку, пока пациент находится под общим наркозом. Однако эпимизийные электроды успешно применяются в нейропротезах нижних конечностей. Срок службы этих электродов по расчетам составляет 4 года, так как они подвергаются большим механическим нагрузкам. Тем не менее, по заявленным данным, в нейропротезах верхних конечностей, эпимизийные электроды способны оставаться более чем на 16 лет [16].

Полостные электроды используются для введения в естественные полости организма, например, десневой электрод – рисунок 1.5, с помощью которого в полости рта проводятся все виды низкочастотных электротерапевтических процедур. В основе его производства лежит бумага.

Структура у электрода трехслойная: белый гидрофильный компонент, серый электропроводный материал и разноцветный наружный токоизолирующий слой.

Комфортность проведения процедуры обеспечивает хорошее прилегание к слизистой десны пациента в смоченном состоянии. Также, данный электрод обладает высокой электропроводностью. При необходимости, размер электрода может быть изменен при помощи ножниц. Для подключения электрода к аппарату используется 1-но контактный или 2-х контактный универсальный токоподводящий кабель. Зажим кабеля электротерапевтического аппарата фиксируется на электропроводном слое.

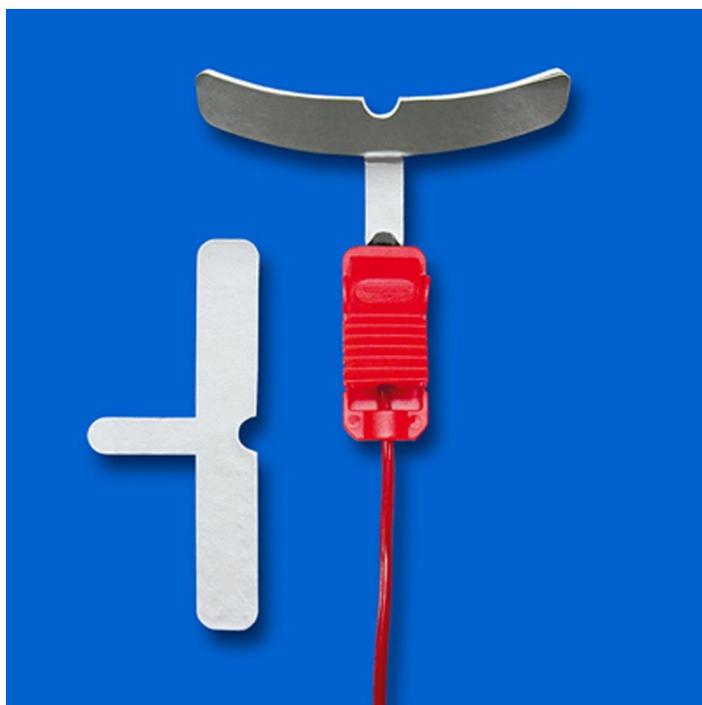


Рисунок 1.5 – Электрод для процедур на деснах и в полости рта

Десневой электрод прост и удобен в применении, единственным недостатком является отсутствие многоразовых аналогов, что в свое время компенсируется дешевизной электрода [17].

Распространённым типом внутритканевых являются внутримышечные электроды, например, скрученные в катушку проводники, которые могут быть помещены подкожно или быть полностью имплантированы. Спиральная форма позволяет электроду совершать движения, которые необходимы во время

мышечных сокращений, рисунок 1.6. Единичный скрученный в спираль проводник может быть использован для монополярной конфигурации с референтным отведением, расположенным за пределами мышцы, или в биполярной конфигурации с другим спиралевидным электродом, оба из них будут располагаться в мышце [18]. Тем не менее у данных электродов существуют проблемы в практическом применении, связанные с расположением проводов под кожей, такие как инфекции, разрывы тканей и марсупиализация.

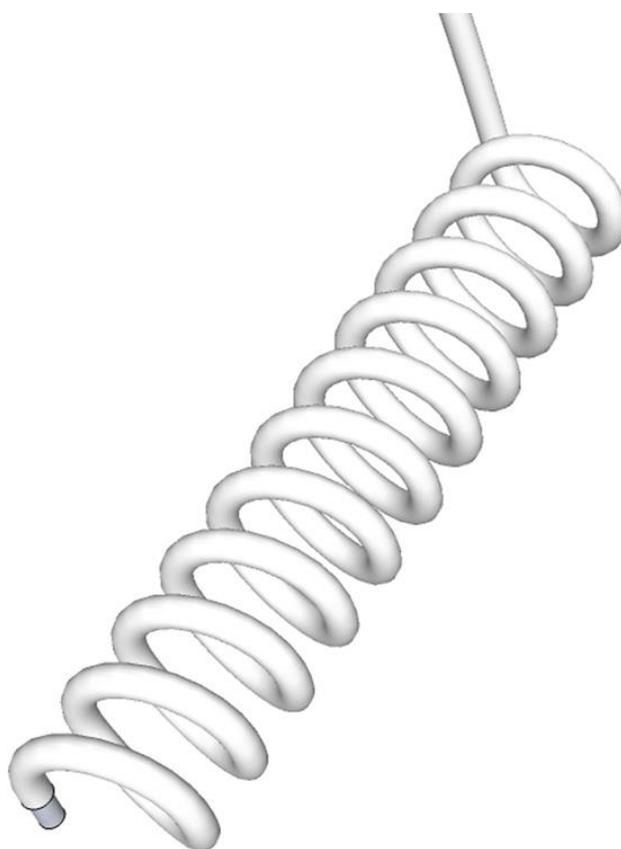


Рисунок 1.6 – Свернутый в катушку внутримышечный электрода, где оголенный конец - сенсорная часть

Примером игольчатых электродов являются микроэлектроды(рисунок 1.7).Токосъемная поверхность электродов такого типа способна снимать электрические потенциалы клетки и ее структур.

Тип электрода: Электрод игольчатый концентрический одноразовый

Длина электрода: 37 мм

Внешний диаметр: 0,46 мм

Площадь контактной площадки: 0,07мм<sup>2</sup>

Концентричность: 99,9%

Материал: нержавеющая сталь

Угол заточки: 15 град.

Наличие индикатора положения контактной площадки [19].



Рисунок 1.7 – ЭлектродS53156 игольчатый концентрический для электромиографии

Электроды данного типа являются высокоточными, но риск осложнений исследуемых заболеваний при их применении возрастает, так как эти электроды относятся к типу инвазивных.

Электроды классифицируются также по электрической проводимости, по способу создания контакта с кожей, по способу применения, способу крепления и т.д. Наиболее существенными из перечисленных признаков являются метод создания контакта с кожей и электрическая проводимость. В таблице 1.1 представлена классификация по двум вышеуказанным признакам [20].

Таблица 1.1 – Классификация электродов по проводимости

ЭЛЕКТРОДЫ					
Проводящие		Непроводящие (изоляционные)		Плохо проводящие	
металлические	обратимые	емкостные	с МДП структурой	резистивные	резистивно-емкостные
пастовые		беспастовые			
с нанесением пасты перед работой	наличие постоянного контакта с электролитом				

### 1.2.1 Металлические электроды

К проводящим электродам относятся все металлические и обратимые (неполяризующиеся) электроды. Металлические электроды представляют из себя диски, площадь которых варьируется от 1 до 7 см<sup>2</sup>. Они фиксируются на поверхности тела при помощи присосок, ремней, лейкопластыря или других липких материалов. Электроды могут применяться как с электродной пастой, так и без нее [21]. На данный момент очень широко распространена конструкция электрода, который содержит корпус из электроизоляционного материала. Такой материал отводит электропроводный элемент (графит, металл) и микропористую прокладку. Микропористая прокладка, в свою очередь, заполняется электролитом либо в процессе изготовления, либо перед нанесением электрода на кожу.

К недостатку указанных электродов можно отнести наличие непосредственного контакта отводящего электропроводного элемента (алюминий, серебро, графит) с электролитом. Это часто приводит к появлению нестабильных скачков потенциала на границе раздела электролит-металл.

Согласно [22], между металлом и электролитом отсутствует ток обмена ( $i_0=0$ ). Это приводит к тому, что металлические электроды при протекании тока подвергаются сильной поляризации. Для уменьшения влияния помех, вызванных контактными и поляризационными потенциалами, обычно применяют различные электропроводящие материалы, оптимальные составы

электролитов. Также для уменьшения влияния помех при изготовлении электродов создают постоянный контакт между электропроводящей пластиной и электролитом. Однако следует отметить, что данными средствами не удастся достичь эффективного понижения помех металлических электродов.

### **1.2.2 Обратимые электроды**

Что касается обратимых электродов, то они обладают достаточно стабильным собственным электродным потенциалом и практически свободны от поляризационных явлений. Обратимые электроды (каломельные, ртутно-сульфатные и хлор-серебряные) представляют собой полуэлементы, состоящие из металла, покрытого слоем его труднорастворимого соединения (соли, окислы, гидроокиси) и погруженного в раствор, содержащий тот же анион, что и труднорастворимое соединение электродного металла [23].

В медицине, из всех обратимых, наибольшее применение получили хлор-серебряные электроды, которые содержат в своей конструкции серебряную пластину. Эта пластина путем электролиза или прессованием Ag и AgCl покрыта слоем хлористого серебра [22] и помещена в раствор, содержащий ионы хлорида (часто NaCl или KCl). Постоянный контакт труднорастворимой соли с электролитом в электродах данного типа создается при изготовлении, либо непосредственно перед работой, т.е. формируется переход «электронная-ионная проводимость».

К основным недостаткам хлор-серебряных электродов многократного применения относится:

- длительный переходный процесс электродного потенциала, снижающий точность измерения биопотенциалов и быстроедействие, который вызван нанесением электродной пасты на чувствительный элемент или сменой пористой матрицы, заполненной электролитом при создании контакта труднорастворимой соли с электролитом перед работой;
- вследствие стирания непрочной соли хлорида серебра, которая наносится на пластинки разъема при замене матрицы с электролитом, а также

при промывании электрода они имеют ограниченный срок службы – около 20-25 применений.

Одноразовые хлор-серебряные электроды данных недостатков не имеют. Однако при изготовлении электрода для создания постоянного контакта между труднорастворимой солью хлорида серебра и электролитом необходимы специальные устройства защиты или сменные узлы, вследствие высыхания электролита, которое происходит за счет испарения воды.

При динамических измерениях, таких как спортивная или трудовая деятельность, либо при длительном непрерывном наблюдении за пациентом, серьезным препятствием для качественной регистрации сигналов являются недостатки, присущие проводящим электролитам.

Поэтому были разработаны емкостные непроводящие электроды, а также непроводящие электроды на основе МОП [24].

### **1.2.3 Емкостные электроды**

Емкостные электроды – электроды, позволяющие передать биопотенциал к усилителю посредством емкостной связи между электродом и кожей. Главным достоинством таких электродов является отсутствие контактных и поляризационных потенциалов, которые возникают при использовании металлических электродов. Емкостной электрод состоит из металлической пластинки, которая покрыта тонким слоем диэлектрика. Емкостные электроды, использующие в качестве диэлектрика двуокись кремния дают очень хорошие результаты. Это достигается за счет того, что монокристаллическая структура слоя обеспечивает высокую химическую устойчивость диэлектрической пленки. Емкость такого электрода составляет 0,015 мкФ, при активной площади 0,5 см<sup>2</sup>. Однако с уменьшением частоты, полное кожно-электродное сопротивление для электродов емкостного типа быстро возрастает. При регистрации биопотенциалов на частотах ниже 0,5 Гц это приводит к недопустимо высоким погрешностям.

### **1.2.4 Резистивно-емкостные электроды**

Известны резистивно-емкостные электроды и на основе МОП транзистора, которые обеспечивают передачу инфранизкочастотных сигналов. В отличие от чисто емкостных, в резистивно-емкостных электродах используется диэлектрик с некоторой проводимостью. В качестве такого диэлектрика может выступать пятиокись тантала  $Ta_2O_5$ . Топольска Б.З. в своей работе [25] доказала, что эти электроды в инфранизкочастотной области спектра работают как чисто резистивные. На частотах порядка нескольких герц и выше резистивно-емкостные электроды приближаются к емкостным. Ею были выбраны оптимальные параметры электрода и входного усилителя, при которых возможно передать биоэлектрические сигналы с наименьшими искажениями во всем частотном диапазоне практически до постоянного тока.

Конструктивные особенности, типы и размеры электродов, которые используются в различных видах электрофизиологических исследований, определяются стандартами. При этом не оговариваются стандартом материал и структура электродов. Стандартами также устанавливаются такие электрические параметры электродов как напряжение шумов, разность электрических потенциалов двух электродов в отведении, дрейф разности потенциалов, полное электрическое сопротивление, а также методы и средства испытаний электродов.

### **1.2.5 Двухфазные электроды**

Особенности электрохимических процессов при съеме биопотенциалов с учетом кинетики поляризации являются важнейшим признаком, по которому все биоэлектрические электроды делятся на двухфазные и трехфазные.

Двухфазные электроды еще называют электродами первого рода. Структура этих электродов представляет собой металл, который взаимодействует с электролитом. В общем случае структура контакта электрода с биообъектом представляется в следующем виде. Между электродом и тканью размещается тонкий слой электролита, который возникает естественно

(слизистые оболочки, выделения потовых желез) или вносится специально при наложении электрода (токопроводящие пасты, физиологический раствор). Ткани тела являются проводником второго рода. Таким образом, её импеданс содержит активную и реактивную составляющие. Емкость тканей создается при помощи мембран, которые образуют ткани клеток и многочисленных поверхностей, разделяющих отдельные органы и структуры тела. Для тока, протекающего в тканях, реактивная составляющая, по крайней мере на порядок меньше активной, поэтому ею можно пренебречь. Электрические свойства контакта электрод-биообъект определяются в основном поляризационными свойствами поверхностей раздела с разными типами проводимостей: переход ткани тела - электролит и переход электролит - электрод. К важнейшей особенности двухфазных электродов относится возникновение поляризационной разности потенциалов. Эта разность нелинейно зависит от плотности тока, который протекает через переходы. При типичных для большинства видов электрофизиологических исследований плотностях тока, а именно 10-15 мкА/см<sup>2</sup>, эта зависимость практически линейна.

Поверхности разделов характеризуются равновесной разностью потенциалов  $e_0$ , которая возникает на переходе в отсутствие тока и определяется природой контактирующих сред. Значение  $e_0$  может изменяться в пределах 0,1-50 мВ в зависимости от материала электрода, температуры, свойств электролита и способа обработки ткани. Поляризация электродов крайне нежелательна, потому что способна сильно исказить форму регистрируемого сигнала. Величина  $e_0$  при регистрации биопотенциалов должна оставаться постоянной, поэтому для ее стабилизации обычно применяются специальные меры.

Несмотря на все вышперечисленные обстоятельства, наиболее распространенным типом электродов считаются поляризующиеся металлические электроды. Это является следствием того, что они обладают рядом неоспоримых достоинств, таких как технологичность изготовления, простота применения, надежность, большой срок службы, легкость и

надежность стерилизации. Форма поверхностных электродов определяется их целевой функцией, размеры - размерами исследуемого органа или его проекции на поверхность тела. Так, кожные электроды для регистрации ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ выполняют в виде круглых, овальных, прямоугольных пластин разных размеров. За отведение электрического сигнала отвечают разъемные или неразъемные соединения и гибкий многожильный провод.

Выбор оптимальной жесткости поверхностных электродов, особенно при большой их площади, зависит от многих факторов. В случае необходимости выполнения надежного контакта применяют жесткие пластинчатые электроды с отводящим проводом. Однако, в силу сложности рельефа кожного покрова контакт с биообъектом при таком подходе осуществляется не по всей площади электрода и приводит к возникновению таких помех как артефакты движения. Уменьшает артефакты движения применение гибких электродов, которые выполнены из прочной и тонкой металлизированной полимерной пленки, металлической фольги или сетки. Благодаря наличию эластичной основы - кольца из полимерного материала – возможно использование таких электродов при сложном рельефе поверхности. Выпускаются они как в многоразовом, так и в одноразовом исполнении. Одноразовые электроды хранятся в герметичных упаковках и снабжены пористой прокладкой из поролона, пропитанного электролитом.

Различные приемы для обеспечения надежного контакта между электродом и биообъектом:

- фиксация электродов с помощью присосок, ремней, поясов, жилетов, корсетов, шлемов;
- использование подпружиненных электродов;
- использование зубчатых электродов, которые уменьшают вероятность соскальзывания;
- использование электродного контактного вещества.

Необходимо, чтобы электродное контактное вещество отвечало принципам адекватности и хорошей идентификации сигналов. Оно должно обладать такими следующими характеристиками: безвредность, хорошее смачивание кожи, низкое электрическое сопротивление, отсутствие сдвигов электрических потенциалов, стабильность свойств при хранении в складских условиях и при нанесении на кожу. При электрофизиологических исследованиях широко применяется электродное контактное вещество марки ПЭ-1-80, обладающее следующим составом: хлористый аммоний - 14 %, вода - 54 %, карбооксиметилцеллюлоза - 4 %, глицерин - 28 %, поверхностное активное вещество ОП-10 - 0,1 %.

Одним из наиболее существенных факторов, определяющих наличие сигналов помех и частотных искажений биоэлектрических сигналов, вне зависимости от типа электрода, является стабильность контакта электрода с биообъектом. Осуществляется надежное электрическое соединение биообъекта с электродом с помощью конструкции «плавающего» электрода. Для создания такого контакта электрод закрепляется на коже с помощью клеящих поверхностей, контактное вещество при этом вводится через верхнее отверстие в полость электрода. Электрический контакт между электродом и кожей осуществляется через жидкость, благодаря чему к появлению артефактов движения не могут привести случайные смещения электрода относительно кожи.

### **1.2.6 Трехфазные электроды**

Еще одним типом электродов являются трехфазные электроды, или электроды второго рода. В литературе такие электроды называют неполяризуемыми и понимают под этим сохранение равенства потенциала электрода его равновесному значению при включении электрода в замкнутую цепь измерительной системы.

По своей структуре трехфазный электрод представляет собой металл, покрытый его труднорастворимой солью и погруженный в электролит, содержащий, одноименный с анионом соли, анион.

Наибольшее распространение в практике измерений получили электроды из хлористого серебра. Корпус такого электрода выполнен из боросиликатного стекла. Электрод из серебра, покрытый хлористым серебром размещается внутри корпуса. Далее корпус электрода заполняется электролитом. В качестве электролита при этом используют насыщенный раствор хлористого калия. Гальванический контакт электрода с внешней средой обеспечивает тонкая асбестовая нить, которая впаяна в рабочий конец корпуса. В режиме измерения уровень электролита в корпусе электрода не должен превышать уровень внешней жидкой среды. Это обеспечивает постоянство концентрации и активности раствора. Скорость истечения раствора через асбестовую нить (или аналогичные по назначению устройства) мала и не превышает 5 мл/ч. Существуют также трехфазные электроды, где гальванический контакт с биообъектом осуществляется через микрокапилляр или через пористую керамическую вставку.

Повышенное внутреннее сопротивление электрода увеличивает шумовой сигнал, а также снижает пороговую чувствительность измерений. Это достигается за счет наличия трехфазной системы и сложного электрического сопряжения с биообъектом. Эти недостатки, а также сложность их конструкции делают целесообразным применение трехфазных электродов лишь в сравнительно редких случаях, например, при изучении квазипостоянных или весьма медленно меняющихся биопотенциалов. Ошибка измерения, которая определяется дрейфом потенциала электрода, обычно достаточно мала. Благодаря этому повышается достоверность измерений. Гарантированная стабильность электродных потенциалов у электродов второго рода позволяет их использовать как электроды сравнения для определения поляризационного потенциала или стабильности потенциала любого другого электрода.

Слабополяризуемые электроды. Данный тип электродов обладает всеми основными чертами трехфазных электродов. Твердая фаза электрода имеет структуру металл - труднорастворимая соль металла. При этом в конструкции электрода отсутствует электролит. Поэтому при контакте с биообъектом электрод вступает во взаимодействие либо с естественным электролитом, либо контактным веществом, которое наносится на кожу непосредственно перед измерениями. Электролит при этом не является стабильным по составу раствором, а, следовательно, стабильность собственного потенциала у таких электродов уступает стабильности электродов второго рода.

Наибольшее распространение получили слабополяризуемые хлорсеребряные электроды, которые получают из чистого серебра, подвергая его электролитическому хлорированию.

Величина разности потенциалов двух электродов в отведении и с использованием электродной пасты не превышает 10 мВ, скорость изменения разности потенциалов для двух электродов при этом не больше 2 мкВ/с.

Следует отметить, что электроды изготовленные с применением технологий порошковой металлургии обладают хорошими механическими свойствами. Они изготавливаются по следующей технологии: в определенной пропорции смешиваются порошки хлористого и обычного серебра, которые затем прессуются в таблетки. Далее полученные таблетки в течении нескольких часов спекают при температуре 400 °С. Корпус для таких таблеток сделан из пластмассы и обладает гибким электрическим выводом

Хлор-серебряные электроды на базе пористой керамики имеют более высокие метрологические параметры, в соответствии с техническими условиями на электроды [26], по сравнению с ГОСТ 25995-83. Параметры таких электродов как: слабополяризуемых хлор-серебряных приклеиваемых с пористой керамической прокладкой одноразового применения и фиксирующим элементом одноразового применения для электрокардиографии и электрогастрографии для взрослых и детей (ЭСЭК-1п и ЭСУ-2); слабополяризуемых приклеиваемых с одноразовой прокладкой

ЭСЭГ–1п и ЭСЭГ–2 для электроэнцефалографии и ЭСМГ–1 и ЭСМГ–2 для электромиографии; слабополяризующиеся приклеивающиеся с с пористой керамической одноразовой прокладкой и фиксирующим элементом из липкого ламината для окулоэлектрокохлеографии ЭСОКГ–1, предназначенных для мониторинга и съема электрокардиограммы, электрокохлеограммы, электрогастрограммы, электроокулограммы, электроэнцефалограммы, электромиограммы, в том числе для детей приведены в таблице 1.2.

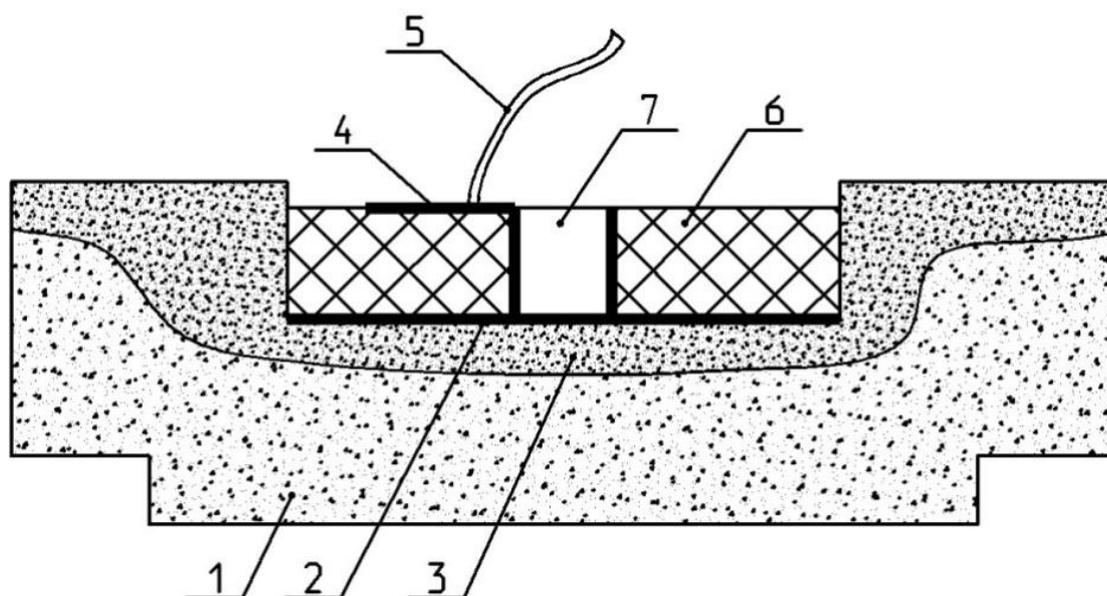
Таблица 1.2 – Параметры некоторых электродов

Наименование параметра	Значение параметра для			
	ЭСЭк–1п, ЭСУ–2	ЭСМГ–1, ЭСЭГ–2	ЭСОКГ–1	ЭСЭГ–1п, ЭСМГ–2
Полное сопротивление электрода Z, Ом, не более	5000			
Дрейф разности электродных потенциалов (дрейф напряжения), Uv, мкВ, не более	20,0			
Разность электродных потенциалов $\delta U$ , мВ, не менее	5			
Напряжение шума, Ut, мкВ, не более	20,0			

Согласно техническим условиям на электроды, мгновенные значения (размах) дрейфа напряжения и напряжения шума электродов, являющиеся суммой собственного дрейфа напряжения и напряжения шума электродов и шума измерительной аппаратуры, которые на несколько порядков превышают собственный дрейф напряжения и напряжение шума электродов.

Метод измерения размаха собственного дрейфа напряжения и напряжения шума электродов на данный момент отсутствует, как отсутствует и у устройство для реализации этого метода.

Ниже представлена конструкция слабополяризующегося электроды ЭТЭ-2 (рисунок 1.8), в котором учтены недостатки известных конструкций.



1 – керамическая диафрагма, 2 – слой серебра, 3 – хлорид серебра,  
4 – спай, 5 – отводящий элемент, 6 – диэлектрическая непористая прокладка, 7 –  
сквозной канал.

Рисунок 1.8 – Конструкция электрода ЭТЭ-2

Пластина из серебра, покрывается слоем хлористого серебра, располагается в керамическом корпусе. Пластина закрывается вставкой из пористой керамики, для того чтобы защитить соль серебра от внешних воздействий. После расплавления пасты на основе хлористого серебра происходит смачивание серебряных частиц, образуя множество хлор-серебряных микроэлектродов, находящихся в порах керамической диафрагмы. Поры в пористой керамике создают сложную систему сообщающихся между собой полостей.

Находясь в различных порах, частицы серебра не имеют электрической связи друг с другом. Электрическая проводимость между микроэлектродами возникает после пропитки твердым электролитом. Сумма потенциалов микроэлектродов определит общую ЭДС (электродный потенциал).

Изучив существующие электроды, установлено, что они имеют недостатки, которые сказываются на процессе регистрации биоэлектрических потенциалов человека, следовательно, существует необходимость создания электродов с усовершенствованными характеристиками.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выполнение проекта заключается в разработке и исследовании наносенсоров для съема биопотенциалов человека. Цель разработки – создание улучшенных, неполяризуемых, более точных электродов для электрофизиологических исследований человека.

### 4.1 Предпроектный анализ

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Наносенсоры разработаны для более точного съема биопотенциалов человека с поверхности тела. Данная разработка применяется во всех медицинских учреждениях, наносенсоры могут использоваться как для электрокардиографии, так и для электромиографии, электроэнцефалографии.

Основные потребители: медицинские учреждения.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Исследование конкурентоспособных решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения дает возможность осуществить оценку сравнительной эффективности научного исследования и установить тенденции для ее предстоящего увеличения.

В таблице 4.1 представлена оценочная карта для сравнения конкурентоспособных решений, Б<sub>к1</sub>– «Электрод F 9009SSC», Б<sub>к2</sub>– «Электрод CERACARTA 10029».

Таблица 4.1 Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3

2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
3. Помехоустойчивость	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4. Простота эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Надежность	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
6. Отсутствие шума	0,04	5	4	3	0,2	0,16	0,12
7. Безопасность	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	3	5	5	0,18	0,3	0,3
3. Цена	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
5. Послепродажное обслуживание	0,17	5	5	3	0,85	0,85	0,51
6. Финансирование научной разработки	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
7. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
8. Наличие сертификации разработки	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>				4,88	4,5	3,8

Основываясь на знаниях о конкурентах, можно сделать вывод: уязвимость продукции конкурентов обусловлена низкой помехоустойчивостью, а так же производительностью. Преимуществом также является то, что в разработанном наносенсоре значительно снижен получаемый уровень шума.

#### 4.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) - гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке. Каждый показатель оценивается экспертным путем по стобальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная.

Таблица 4.2 Технология QuaD

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Помехоустойчивость	0,05	90	100	0,9	0,045
2. Надежность	0,07	90	100	0,9	0,063

3. Безопасность	0,09	100	100	1	0,09
4. Функциональная мощность	0,03	80	100	0,8	0,02
5. Простота эксплуатации	0,05	90	100	0,9	0,05
6. Ремонтопригодность	0,05	70	100	0,7	0,04
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Конкурентоспособность продукта	0,15	100	100	1	0,15
8. Уровень проникновения на рынок	0,1	80	100	0,8	0,08
9. Цена	0,02	80	100	0,8	0,02
10. Финансовая эффективность научной разработки	0,01	90	100	0,9	0,01
11. Наличие сертификации разработки	0,01	90	100	0,9	0,01
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>83,5</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Так как значение показателя  $P_{cp} = 83,5$ , то данная разработка считается перспективной.

#### 4.1.4 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления рис. 4.1.

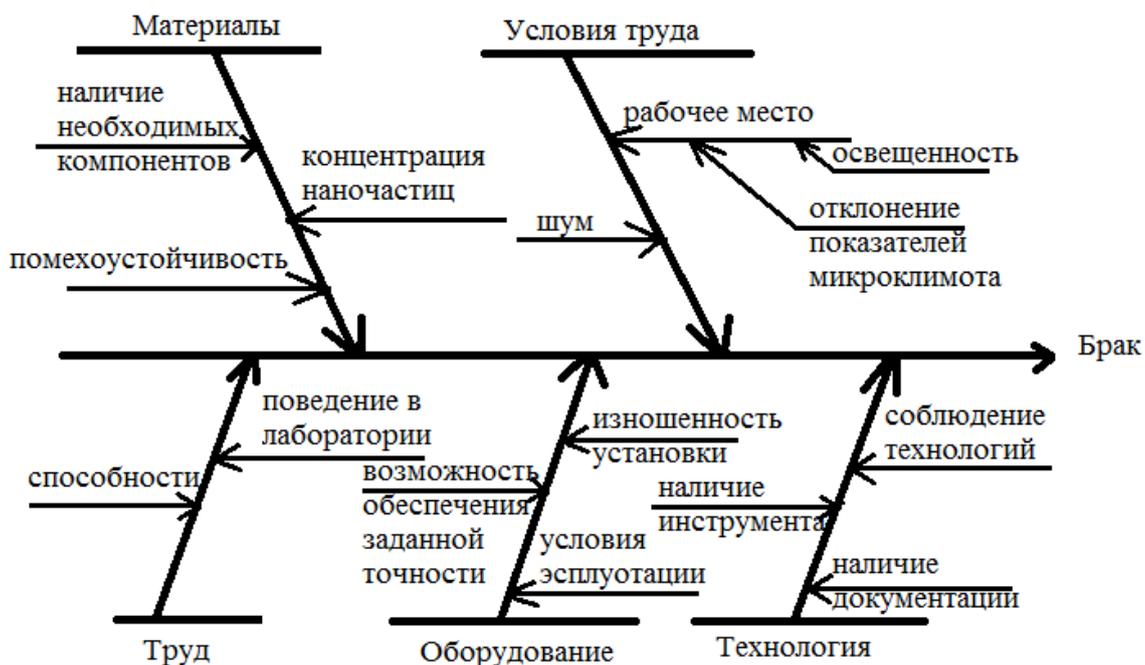


Рисунок 4.1 – Причинно-следственная диаграмма

Выводы:

Для исключения брака необходимо перед началом работы с оборудованием проверять его исправность, соблюдать технологии изготовления наносенсоров, так же условия труда должны быть обеспечены по ГОСТу. В случае обнаружения брака, разработчикам необходимо провести исследования образца с браком, выявить причины, повлекшие за собой брак, незамедлительно устранить их.

#### 4.1.5 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.

Таблица 4.3 SWOT - матрица

	<p>Сильные стороны НИП:</p> <p>С1.Экологичность технологии.</p> <p>С2.Квалифицированный персонал</p> <p>С3.Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний данного образца.</p> <p>С4.Повышенная точность выполнения команд относительно зарубежных разработок.</p> <p>С5.Высокая степень надёжности и безопасности.</p>	<p>Слабые стороны НИП:</p> <p>Сл1. Относительная дороговизна проекта.</p> <p>Сл2. Требуется специальных материалов.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Рост потенциальной востребованности ввиду широкого применения технологии.</p> <p>В3.Большая стоимость разработок конкурентов и сложность их использования.</p> <p>В4. Возможность выхода на внешний рынок.</p> <p>В5. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов.</p>	<p>Использование инфраструктуры университета приведет к доступу к элементной базе, а также значительно снизит затраты на производство и увеличит финансирование для проекта.</p>	<p>Снижение затрат на производство приведет к снижению себестоимости реализации проекта. Также решается вопрос с бюджетным финансированием.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Ограниченный экспорт ввиду высокой конкуренции за рубежом.</p>		

Проведя SWOT – анализ, можно сделать следующие выводы: заявленное изобретение имеет большой потенциал, широкий круг потребителей, а также возможность быстрого выхода на внешний рынок. Меры борьбы с угрозами ограниченного экспорта: усовершенствование технологий изготовления для исключения высокой конкуренции за рубежом.

#### 4.1.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 4.4 Оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	5
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	5	5
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5

11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>71</b>	<b>71</b>

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (2)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Получив значение  $B_{\text{сум}} = 71$ , можно сделать вывод, что разработка и разработчик считаются перспективными к коммерциализации.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. Список стадий и работ, разделение исполнителей по данным видам работ представлен в таблице 5.

Таблица 4.5 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1. Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2. Подбор и изучение материалов по теме	Магистрант
	3. Проведение патентных исследований	Магистрант
	4. Выбор направления исследования	Руководитель
	5. Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6. Создание методики проведения экспериментальных исследований	Магистрант
	7. Проведение экспериментальных исследований	Магистрант
	8. Обработка и анализ проведенных экспериментальных исследований	Магистрант
Обобщение и оценка результатов	9. Оценка эффективности полученных результатов	Магистрант
	10. Определение целесообразности проведения ОКР	Магистрант
Оформление отчета по НИР	11. Составление пояснительной записки (эксплуатационно- технической документации)	Магистрант

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Рабочие расходы в основном формируют главную долю стоимости исследования, поэтому значительным фактором считается установление трудоемкости работ любого из участников научного исследования.

Для определения прогнозируемого (среднего) значения трудоемкости применяется следующая формула:  $t_{ожі}$

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (3)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{maxi}$  и  $t_{mini}$  – максимально и минимально возможные трудоемкости выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

Для выполнения перечисленных в таблице 3 работ требуются специалисты: магистрант (М) и научный руководитель (Р).

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (4)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.2.3 Разработка графика проведения 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 удобного построения графика, продолжительность любой из стадий работ из рабочих дней переведем в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (5)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}} \quad (6)$$

где  $T_{кал} = 365$  – количество календарных дней в году;  $T_{вд} = 104$  – количество выходных дней в году;  $T_{пд} = 14$  – количество праздничных дней в году.  $k_{кал} = 1.48$

Временные показатели проведения научного исследования представлены в таблице 6.

Таблица 4.6 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Длительность работ в рабочих			Длительность работ в календ.		
	t <sub>min</sub> , чел-дни			t <sub>max</sub> , чел-дни			t <sub>ож</sub> , чел-дни			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3						
1. Составление и утверждение технического задания	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	2	2	2	3	3	3
2. Подбор и изучение материалов по теме	9	9	10	14	15	16	11	11,4	12,4	11	11	12	16	16	18
3. Проведение патентных исследований	8	8	8	10	10	10	8,8	8,8	8,8	9	9	9	13	13	13
4. Выбор направления исследования	2	2	2	4	4	4	2,8	2,8	2,8	3	3	3	4	4	4
5. Календарное планирование работ по теме	5	5	5	8	8	8	6,2	6,2	6,2	6	6	6	9	9	9
6. Создание методики проведения экспериментальных исследований	7	5	5	12	10	10	9	7	7	9	7	7	13	10	10
7. Проведение экспериментальных исследований	15	15	15	19	20	21	16,6	17	19,4	17	17	17	25	25	25
8. Обработка и анализ проведенных экспериментальных исследований	6	6	6	9	9	10	7,2	7,2	7,6	7	7	8	10	10	12
9. Оценка эффективности полученных результатов	5	6	5	10	7	7	7	6,4	5,8	7	6	6	10	9	9
10. Определение целесообразности проведения ОКР	5	5	6	8	8	9	6,2	6,2	7,2	6	6	7	9	9	10
11. Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	8	10	13	11	13	18	9,2	11,2	15	9	11	15	13	16	22

Таблица 4.7 – Календарный план график проведения НИР по теме

Вид работ	Исп	Т <sub>кп</sub> , кал. дн	Продолжительность выполнения работ												
			Февр.			Март			Апрель			Май			Июнь
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1. Составление и утверждение технического задания	Р	3	■												
2. Подбор и изучение материалов по теме	М	18		■	■	■									
3. Проведение патентных исследований	М	13			■	■	■								
4. Выбор направления иссл.	Р	4					■								
5. Календарное планирование работ по теме	Р	9						■							
6. Создание методики проведения эксперим. иссл.	М	10						■	■						
7. Проведение эксперим. иссл.	М	25							■	■	■				
8. Обработка и анализ проведенных эксперим. иссл.	М	12									■	■	■		
9. Оценка эффективности полученных результатов	М	9										■	■		
10. Определение целесообраз. проведения ОКР	М	10											■	■	■
11. Составление поясн. записки (эксплуатационно-техн. документации)	М	22												■	■

## Выводы

По результатам выполненного задания для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был выполнен следующий объем работ:

- Были определены потенциальные потребители результатов исследования
- Проведен анализ конкурентных технических решений
- Составлена диаграмма Исикавы
- Проведен SWOT-анализ
- Проведена оценка готовности проекта к коммерциализации
- Составлен план проекта, в соответствии с которым определяются объем работ и время, затрачиваемое на ее выполнение.

## Список публикаций студента

1.Зубрилова М.В. Исследование наносенсоров для съема поверхностных биопотенциалов человека/ Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения: Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2015», г. Москва, 1-5 декабря 2015 г.: в 5 частях. – М.: Изд-во МИРЭА, 2015 – часть 4 – [97-100 с.]

2.Зубрилова М.В. Наносенсоры и их применение в медицине / «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых: в 3 т. Томск, 3-8 октября 2016 г.— Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 3. — [87-89 с.].

3. Зубрилова М.В. Разработка наносенсоров для съема поверхностных биопотенциалов человека / Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции молодых ученых "Наука. Технологии. Инновации", Новосибирск, 5-9 декабря 2016 г. : в 3 т. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. — Т. 2. — [8-9с.].