

**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 нейрокомпьютерного интерфейса на наносенсорах
УДК 004.383.8.032.26:616.831-073.97-71

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Ворона Роман Сергеевич		

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)	Требования критериев заинтересованных сторон	ФГОС, и/или
<i>Профессиональные компетенции</i>			
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте биомедицинской и экологической техники	Требования ФГОС (ОПК1, ОПК2)1 ,Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей	Требования ФГОС (ОПК3, ОК4, ОК5), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений	Требования ФГОС (ОПК7, ОПК9, ПК6). Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений	Требования ФГОС (ОПК4, ОПК6, ПК7), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов	Требования ФГОС (ОПК5, ПК1, ПК2, ПК3). Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК8, ОПК10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
<i>Универсальные компетенции</i>			
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК3, ОК4). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делегированием ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач	Требования ФГОС (ОК6), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК1, ОК2), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P11	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности	Требования ФГОС (ОК9,ПК8), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI	
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК7, ОК8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов 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.

(Подпись)      (Дата)

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

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Ворона Роману Сергеевичу

Тема работы:

Разработка нейрокомпьютерного интерфейса на наносенсорах	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Нейрокомпьютерный интерфейс, с использованием в качестве электродов «наносенсоры», предназначен для обмена информацией между мозгом и электронным устройством (например, компьютером)
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор существующих нейрокомпьютерных интерфейсов. 2. Выбор принципа работы нейрокомпьютерного интерфейса и определение алгоритма его работы 3. Разработка экспериментальной модели нейрокомпьютерного интерфейса
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Структурная схема нейрокомпьютерного интерфейса.

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<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>	
Виды ИМК, история создания, различия по способу регистрации электрического сигнала	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ5А	Ворона Роман Сергеевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Ворона Роману Сергеевичу

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
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	НИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования

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

1. Формирование плана и графика разработки	-определение структуры работ; - определение трудоёмкости работ; -разработка линейной диаграммы Ганта
2. Формирование бюджета затрат на научное исследование:	- материальные затраты; -заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.

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

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Календарный план график.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Ворона Роман Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ5А	Ворона Роману Сергеевичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является аппарат нейрокомпьютерного интерфейса. Состоит из элементной базы микроэлектроники, электродов, а также микропроцессоров и микроконтроллеров.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: –	При разработке устройства существует потенциальная возможность вредного воздействия на организм человека электромагнитным полем. В ходе проведения анализа были выявлены опасные факторы такие как поражение электрическим током.
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	- анализ воздействия на литосферу и решение проблемы; - вредные выбросы в атмосферу отсутствуют; - вредное воздействие на гидросферу отсутствует; - вредное воздействие на литосферу отсутствует; Разработка решения по обеспечению экологической безопасности не требуется, так как объект исследования не оказывает пагубное влияние на экологию.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	- возможными ЧС при разработке проекта являются возникновение пожара или взрыва на рабочем месте; -наиболее типичной ЧС является пожар; - описаны меры по противостоянию распространению пожара с организационной и технической точки зрения.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Требования безопасности к персоналу, компоновка рабочего пространства.

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

### 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	Ворона Роман Сергеевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 113с, 21 рис, 10 таблиц, 39 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: нейрокомпьютерный интерфейс, электроэнцефалография, мозг, P300

Объектом исследования является нейрокомпьютерный интерфейс.

Цель работы – разработка прототипа нейрокомпьютерного интерфейса, экспериментальное подтверждение возможности использования наносенсоров для выявления классификаторов ИМК.

В процессе работы проводились:

- обзор российской и зарубежной литературы
- выбор принципа работы ИМК и определение алгоритма его работы
- разработка программного обеспечения
- постановка эксперимента
- проведение экспериментальных исследований

В результате исследования был разработан прототип интерфейса «мозг-компьютер». Проведен эксперимент, в результате которого были выявлены классификаторы для построения ИМК, а также составлены их шаблоны. В дальнейшем планируется использовать интерфейс в медицине для реабилитации больных с периферическим параличом.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ,                    ОБОЗНАЧЕНИЯ,                    СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

### **Нормативные ссылки:**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты

1.    ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2.    ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
3.    ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
4.    ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
5.    ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6.    ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
7.    ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
8.    СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
9.    СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
10.   СП 51.13330.2011. Защита от шума.
11.   СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
12.   ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.
13.   ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.



14. ГОСТ Р 50948-2001. Средства отображения информация индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности

### **Определения**

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Нейрокомпьютерный интерфейс: это система, созданная для обмена информацией между мозгом и электронным устройством (например, компьютером). В однонаправленных интерфейсах внешние устройства могут либо принимать сигналы от мозга, либо посылать ему сигналы (например, имитируя сетчатку глаза при восстановлении зрения электронным имплантатом). Двухнаправленные интерфейсы позволяют мозгу и внешним устройствам обмениваться информацией в обоих направлениях. В основе нейрокомпьютерного интерфейса, часто используется метод биологической обратной связи.

### **Сокращения**

НКИ – нейрокомпьютерный интерфейс

ИМК – интерфейс мозг-компьютер

BCI – brain computer interface

ЭЭГ – электроэнцефалография

ФЭС – функциональная электростимуляция

## Оглавление:

<u>Введение</u> .....	13
<u>1 Литературный обзор</u> .....	16
<u>1.1 Проблемы реабилитационной медицины</u> .....	16
<u>1.2 Мозговая активность и реабилитация людей</u> .....	17
<u>1.2.1 Описание строения головного мозга, его функциональных частей, электрической активности</u> .....	19
<u>1.3 Виды ИМК, история создания, различия по способу регистрации электрического сигнала</u> .....	26
<u>1.3.1 Инвазивные ИМК</u> .....	26
<u>1.3.1.1 Алгоритмы преобразования активности мозга в команду внешнему устройству</u> .....	31
<u>1.3.2 Неинвазивные ИМК</u> .....	33
<u>1.3.2.1 ИМК на основе зрительных вызванных потенциалов</u> .....	33
<u>1.3.2.2 ИМК на основе медленных корковых потенциалов</u> .....	34
<u>1.3.2.3 ИМК на основе потенциала P300</u> .....	35
<u>1.3.2.4 ИМК основанные на различных типах ментальной деятельности</u> .....	38
<u>1.3.4 Обучение навыку управления внешними объектами</u> .....	41
<u>2 Разработка нейрокомпьютерного интерфейса</u> .....	43
<u>2.1 Регистрация сигнала</u> .....	44
<u>2.1.1 Аппаратура для электроэнцефалографических исследований</u> .....	45
<u>2.1.1.1 Наносенсоры</u> .....	45
<u>2.1.1.2 Аппаратно-программный комплекс</u> .....	47
<u>2.2 Техническая реализация интерфейса на основе потенциала P300</u> .....	51

<u>3.Проведение предварительных исследований</u> .....	54
<u>3.1 Выбор места наложения электродов для снятия сигнала</u> .....	54
<u>3.2 Ход эксперимента</u> .....	55
<u>3.3 Обработка сигнала и фильтрация</u> .....	57
<u>4 Анализ полученных результатов. Разработка шаблонов классификатора</u> .....	59
<u>4.1 Анализ результатов</u> .....	59
<u>4.2 Анализ распределения микропотенциалов в зависимости от предъявляемого стимула</u> .....	65
<u>4.3 Шаблоны для классификации сигнала</u> .....	67
<u>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</u> .....	69
<u>5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</u> .....	69
<u>5.1.1 SWOT – анализ</u> .....	69
<u>5.2 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования</u> .....	71
<u>5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования</u> .....	71
<u>5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования</u> .....	72
<u>5.3 Расчет бюджета для научно-технического исследования</u> .....	74
<u>5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ</u> .....	74
<u>5.3.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы</u> .....	75
<u>5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)</u> .....	77
<u>5.3.4 Накладные расходы</u> .....	78
<u>5.3.5 Формирование общего бюджета затрат научно-исследовательского проекта</u> ..	78
<u>6 Социальная ответственность</u> .....	81

<u>6.1 Производственная безопасность</u> .....	82
<u>6.1.1 Повышенный уровень шума</u> .....	83
<u>6.1.2 Недостаточная освещенность на рабочем месте</u> .....	83
<u>6.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений</u> .....	84
<u>6.1.4 Поражение электрическим током</u> .....	86
<u>6.2 Экологическая безопасность</u> .....	87
<u>6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</u> .....	87
<u>6.3.1 Организационные меры</u> .....	88
<u>Заключение</u> .....	94
<u>Список публикаций студента</u> .....	95
<u>Список использованных источников</u> .....	96
<u>Приложение А</u> .....	100
<u>Приложение Б</u> .....	103

## **Введение**

В повседневной жизни, мы не задумываемся о том, насколько функционально наше тело, каждый день мы выполняем тысячи действий, кажущиеся нам естественными и простыми. Здоровый человек не придаёт значение тому, что он может самостоятельно передвигаться, работать руками, общаться с окружающими и вести социальный образ жизни, для нас это кажется обыденным и само собой разумеющимся. Как бы то ни было, никто из нас не застрахован от ситуации, будь то результатом травмы или заболевания, в которой двигательные функции организма станут недоступны, в том числе движения рта и языка. Человек, оказавшийся лицом к лицу с такой проблемой, переносит тяжелые эмоциональные и физические страдания. Больше всего он нуждается в общении, которое теперь ему недоступно.

Вот уже несколько десятилетий различные учёные со всего мира ищут возможности для помощи парализованным людям, улучшения качества их жизни. Открытия в области медицины, позволили создать новый тип устройств, позволяющих при помощи электрической активности мозга управлять различными внешними механизмами, или программными средствами, при этом, не используя мышечной активности. Данное устройство получило название нейрокомпьютерный интерфейс.

Появление и развитие нейрокомпьютерных интерфейсов стало новой надеждой для парализованных людей. Данная технология позволила им вернуть некоторые функции человеческого тела, и облегчить повседневную жизнь. В последние годы научный интерес к данной теме неуклонно растет. Все больше нуждающихся людей проявляют интерес к нейрокомпьютерным интерфейсам, вследствие чего практическое применение данной технологии стало очень перспективным.

Данная диссертационная работа направлена на разработку нейрокомпьютерного интерфейса, который облегчит жизнь парализованным людям, и позволит им вновь стать социально активными.

**Цель диссертационной работы** – разработка нейрокомпьютерного интерфейса ввода данных, с применением наносенсоров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обзор и анализ российской и зарубежной литературы
2. Выбор принципа работы ИМК и определение алгоритма его работы.
3. Выбор и обоснование структурной схемы ИМК.
4. Постановка эксперимента для подтверждения возможности выявления классификаторов, используемых интерфейсом мозг-компьютер.
5. Обработка полученных данных с выявлением классификаторов для построения ИМК.

**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:**

Разработан прототип нейрокомпьютерного интерфейса, использующего оборудование высокого разрешения (частота дискретизации 32000Гц, шаг квантования 40 нВ, диапазон входных напряжений при регистрации сигнала от 0,3мкВ до 10мВ) для снятия биопотенциала мозга. Данное оборудование позволяет выявлять классификаторы в сигнале мозга с высокой точностью, что положительно отражается на скорости работы нейрокомпьютерного интерфейса. Впервые проведено исследование распределения микропотенциалов мозга в ответ на предъявление различных зрительных стимулов, показано, что распределение микропотенциалов мозга может послужить классификатором в дальнейших разработках нейрокомпьютерного интерфейса.

### **Практическая ценность работы:**

Проведены предварительные медицинские исследования на добровольцах, подтверждающие возможность использования оборудования высокого разрешения для разработки интерфейсов ввода «мозг-компьютер».

На основе проведенных исследований выявлены оптимальные характеристики, определяющие ответ на зрительный импульс р300, формирующий классификатор интерфейса.

Исследована возможность использования микропотенциалов мозга для формирования интерфейса взаимодействия «мозг-компьютер», основанного на анализе количества микропотенциалов определенной длительности и амплитуды.

### **Личный вклад автора:**

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

## **1 Литературный обзор**

### **1.1 Проблемы реабилитационной медицины**

Человеческое общество на всех этапах своего развития не оставалось безразличным к тем, кто имел физические или психические нарушения. Эти лица всегда нуждались в особом внимании. Недееспособность таких людей ухудшает их социальное взаимодействие с обществом, что негативно сказывается на их психическом здоровье и качестве жизни. Обеспечение качества жизни инвалидов, является одной из основных задач здравоохранения.

История показывает, что проблема инвалидности прошла сложный эволюционный путь, начиная от физического уничтожения людей с какими-либо отклонениями, непризнания и изоляции их обществом, до необходимости интеграции лиц с физическими отклонениями в общество.

В наше время положение инвалидов существенно изменилось. Со стороны государства им стали предоставляться льготы, пенсии, различные выплаты, организуются реабилитационные мероприятия. Но, как за рубежом, так и в России к инвалидам относились и относятся по-разному. Согласно правовым нормам и стандартам, в России инвалидом признается лицо, которое имеет нарушение здоровья со стойким расстройством функций организма, обусловленное заболеваниями, последствиями травм или дефектами, приводящее к ограничению жизнедеятельности и вызывающее необходимость его социальной защиты [1]. Инвалиды, являясь слабой, социально уязвимой группой населения, нуждаются в социальной защите, обслуживании, обеспечении государства и внимании окружающих людей.

Наиболее тяжело приходится парализованным людям, по различным причинам, утратившим возможность самостоятельно передвигаться и разговаривать. Тяжелая болезнь развивается в результате поражения нейронов или нервных волокон. Состояние больного при этом зависит от характера и степени выраженности поражения. Формы поражений нервов многообразны – нарушение кровообращения и опухоли головного мозга, кровоизлияние в головной или спинной мозг. Паралич также бывает



следствием несчастных случаев, в результате которых происходит поражение нервных волокон рук, ног или спинного мозга. Паралич тела проявляется как полная потеря контроля над телом и невозможность осуществления двигательных функций. Человек теряет возможность самостоятельно передвигаться, не может говорить, теряет самостоятельность. Точное число парализованных людей в Российской Федерации не известно, однако, по данным различных источников, на 2017 год их число порядка двадцати тысяч человек [2], из которых более 40% людей моложе 50 лет. Средняя продолжительность жизни обездвиженных людей вне зависимости от их возраста 6-7 лет.

В настоящий момент диагностика заболеваний находится на высоком уровне, и в большинстве случаев удастся точно установить причину вызвавшую паралич. Однако, основная проблема в том что, современные методы лечения дорогостоящи, порой не доступны в РФ, и при этом шанс на возвращение двигательных функций не высок. В большинстве случаев пациент выписывается домой, где дальнейший уход за ним ложится на плечи родных и близких людей.

Человек пребывает в состоянии постоянной депрессии, чувствует себя неполноценным и крайне несчастным. Он физически не может рассказать о своих проблемах и переживаниях, как-либо сообщить о том, что его тревожит, либо попросить помощи, то есть человек становится заложником собственного тела.

## **1.2 Мозговая активность и реабилитация людей**

Помощь парализованным людям и повышение качества их жизни является задачей, над которой многие ученые со всего мира работают уже несколько десятилетий. В течении долгого времени ведутся работы над созданием систем для непосредственного взаимодействия мозга и каких-либо внешних устройств минуя естественного в таких случаях взаимодействия - мышечную активность.

В 1875 году, практикующий врач Ричард Катон представил в Британском Медицинском Журнале результаты изучения электрического явления, наблюдаемого при исследовании им полушарий мозга кроликов и обезьян. В 1924 году, немецкому ученому Гансу Бергеру впервые удалось зафиксировать с помощью гальванометра на бумаге кривые электрического сигнала от поверхности головы (а не непосредственно от самого мозга, как до него), генерируемые головным мозгом, то есть, ему удалось снять первую в мире электроэнцефалограмму (ЭЭГ). Учёный провел множество исследований, результатом которых стала гипотеза о том, что любые действия человека связаны с изменением активности головного мозга. Полученные данные, послужили основанием для разработки устройства, позволяющего на основе электрической активности мозга, создавать управляющие команды. Данное устройство получило название – нейрокомпьютерный интерфейс (НКИ), он же интерфейс мозг – компьютер (ИМК), или по-английски Brain-ComputerInterface (BCI). Стоит отметить, что в качестве методов получения информативного сигнала для ИМК могут также выступать: электрокортикография, электроэнцефалография, магнитоэнцефалография, изучение распределения и интенсивности кровотока в головном мозге, изучение импульсной активности нейронов и так далее. Однако наиболее распространенными являются ИМК на основе электроэнцефалографии.

Первый ИМК был создан в 60-е годы прошлого века. В основе его работы лежит способность человека к произвольному управлению мощностью альфа-ритма. Этот ИМК обеспечивал выполнение одной бинарной команды (например, включить/выключить свет). Однако наиболее значительный рост технологий ИМК произошел в последние пятнадцать лет. Этому способствовали технологические, научные и социальные предпосылки.

Технологической предпосылкой послужило развитие микропроцессорной техники, создание дешевых и мощных компьютеров, а также их математическое обеспечение. Повышение вычислительной мощности позволило вести обработку сигнала, идущего сразу с нескольких каналов в

реальном времени, и соответственно на основе полученных данных составлять управляющие команды для какого-либо внешнего устройства. Другой предпосылкой является создание компактных систем многоканальной записи активности мозга. Реабилитация людей с различными двигательными и неврологическими нарушениями является социальной предпосылкой. Для больных, у которых утрачена мышечная активность, ИМК может стать единственным способом общения с окружающим миром.

В конце 90-х годов прошлого века была продемонстрирована эффективность работы ИМК на больных, у которых были восстановлены слух, зрение, или двигательные функции посредством ИМК, вследствие чего интерес к таким разработкам существенно возрос. При этом при восстановлении зрения и слуха использовалась передача данных от устройства к мозгу, а при восстановлении двигательных функций от мозга к устройству.

В зависимости от задач, поставленных перед нейрокомпьютерным интерфейсом, в нем используются электрические сигналы с различных участков мозга. Исследования в области ИМК послужили серьезным толчком к изучению функциональной активности мозга. В наши дни, понимание того, как перерабатывается информация в мозге еще не достигнуто. Наиболее распространенным является теория о кодировании информации скоростью разрядов нейронов или временными и пространственными паттернами распределения разрядов. Для создания ИМК полного понимания работы мозга не требуется. Более того, ИМК могут существенно способствовать такому пониманию.

### **1.2.1 Описание строения головного мозга, его функциональных частей, электрической активности**

Мозг человека состоит примерно из 25 миллиардов нейронов [3,4], данные клетки представляют собой серое вещество. Покрытие мозга состоит из: мягкой, твердой и паутинной оболочки.

Выделяют 5 основных отделов мозга: конечный, задний, продолговатый, промежуточный, средний. Также его разделяют на три части: мозжечок, большие полушария, ствол мозга.

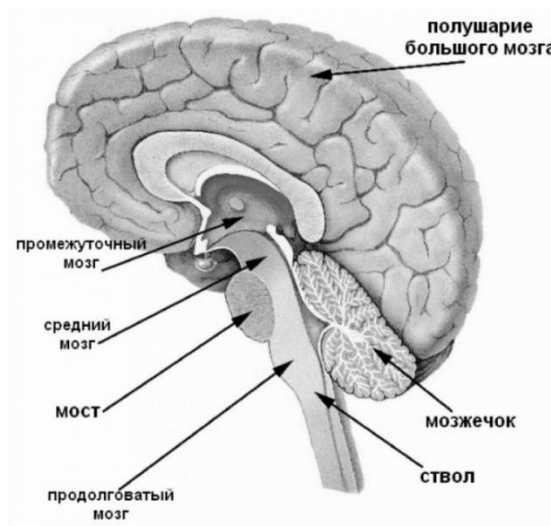


Рисунок 1. Строение головного мозга

Конечный мозг занимает до 80% общей массы, он протянулся от лобной кости до затылочной, в нем различают два полушария правое и левое, также ему характерно большое количество извилин и борозд. Это самая развитая структура мозга, которая охватывает собой все отделы головного мозга

Строение полушарий головного мозга представляют в качестве многоуровневой системы. В них различают доли (лобную, затылочную, теменную, височную), кору и подкорку. Доли полушария головного мозга несут различную функциональную нагрузку, также они функционально асимметричны, то есть, правое полушарие управляет левой частью тела, а левое полушарие правой.

Важнейшую функцию несёт кора головного мозга, именно ее можно назвать центром обработки всех процессов, электрический сигнал, используемый в ИМК, возникает на её поверхности. Кора головного мозга содержит крупные нервные клетки (пирамидальные нейроны), которые

выполняют основные функции мозга, анализ и обработку поступающей информации, и большое количество значительно более мелких нервных клеток с короткими отростками, главное назначение которых – связь между клетками-анализаторами (пирамидальными нейронами), и остальным организмом. Кора головного мозга – это поверхностный слой, покрывающий полушария, его толщина составляет около 3мм. Она состоит из нервных клеток с отростками ориентированных вертикально. В коре головного мозга различают 6 слоев:

- внутренний зернистый
- наружный зернистый
- внутренний пирамидальный
- веретеновидных клеток
- молекулярный
- наружный пирамидальный

Слои имеют разную плотность, ширину, размер и форму нейронов. Она имеет вертикальную исчерченность, благодаря наличию в ней вертикальных нервных волокон. Кора головного мозга несет различную функциональную нагрузку, при этом каждая ее доля функционально разделена (рисунок 2). Так, височная доля отвечает за слух и обоняние, затылочная за зрение, теменная – осязание и вкус, лобная за речь, движение, сложное мышление.

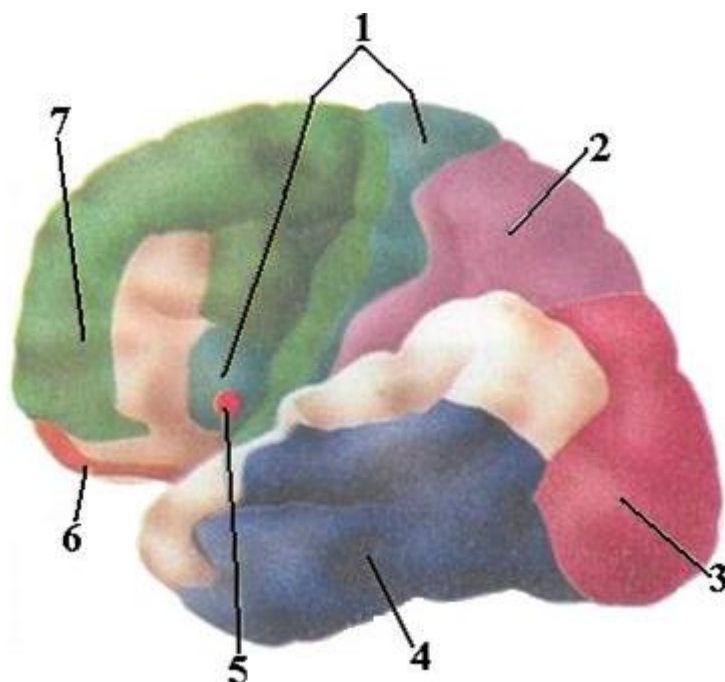


Рисунок 2. функции отделов головного мозга

1. — Моторная зона
2. — Представительство кожной и проприоцептивной чувствительности
3. — Представительство зрительной рецепции.
4. — Представительство слуховой рецепции.
5. — Моторный центр речи.
6. — Представительство обонятельной рецепции.
7. — Премоторная и дополнительные моторные зоны.

Кора мозга состоит из: древней коры, которая представляет собой самую старую, с точки зрения эволюции живых организмов, часть коры головного мозга, обеспечивающую простейшие врождённые рефлексы, присущие всем позвоночным животным. Старой коры, возникшей в ходе эволюции значительно позже древней, и управляющей условными рефлексами, которые приобретаются в течение жизни конкретного животного или человека, то есть всех млекопитающих. И новой коры, представляющую собой эволюционно самую молодую часть коры головного мозга, которая выступает носителем высших проявлений психической деятельности конкретной личности человека. Новая кора занимает 95,6% поверхности полушарий головного мозга.

Функциональное строение коры головного мозга до конца до сих пор не изучено. В 2016 году, ученые из университета Дж. Вашингтона, опубликовали отчет об исследовании, в котором им удалось нанести на карту коры головного мозга 180 функциональных участков, вовлеченных в выполнение разных функций, включая 97 прежде неизученных.

Возникновение электрического потенциала в мозгу обусловлено процессами, происходящими в клетках нервной системы, в нейронах. Нервная клетка состоит из тела (сомы) и отростков (рисунок 2). В теле нейрона находится ядро, и другие микроорганы клетки, в ней обеспечивается процесс обмена веществ и энергии. От клетки отходит один передающий отросток – аксон, который различен по длине и варьируется от 1 мм до десятков сантиметров. Аксон, разветвляясь, передает электрический сигнал – импульсы, возникающие в определенном участке сомы клетки, через тонкие веточки (терминали) к местам их контакта с другими нейронами. Такие точки контакта называются синапсы, и представляют собой сложные образования, образующиеся из приходящей терминали, другой клеткой и ее воспринимающей мембраной и щели между ними. Структура синапса была детально изучена с помощью электронной микроскопии, в нем происходит преобразование электрического сигнала в химический [5]. Химический сигнал путем специфического вещества (передатчика трансммиттера) попадает в синаптическую щель, в следствии чего происходит воздействие на рецептор в мембране постсинаптической мембране синапса, меняя таким образом ионную проницаемость. В силу существующих электрохимических градиентов возникают ионные токи, приводящие к изменению зарядов на обеих сторонах мембраны, таким образом вновь возникает электрический сигнал, который можно обнаружить с помощью микроэлектродов, приближенных к клетке либо введенных сквозь мембрану внутрь клетки. Один нейрон способен передавать свой импульс множеству других нейронов, в каждом из которых имеются тысячи синапсов.

Нейрон окружен проводящей средой, при возникновении разности потенциалов между составляющими клетки (например, сомой и дендритом, или разными участками аксона) возникают внеклеточные токи. Если сравнить ЭЭГ отводимое электродами с поверхности мозга с активностью отдельных нейронов, в подлежащей мозговой ткани, то можно установить, что волны ЭЭГ являются результатом суперпозиции активности огромного числа нейронов (порядка миллиона) в зоне расположения большого электрода.

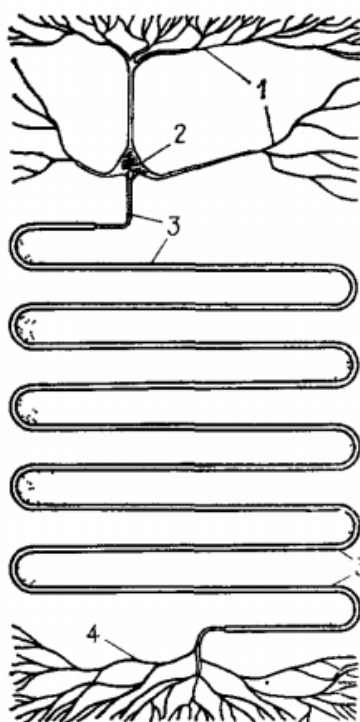


Рисунок 3. Схема строения нервной клетки – нейрона (на примере так называемого нейрона коры полушарий мозга). Где: 1 – дендриты. 2 – сома (тело). 3 – аксон. 4 – терминали аксона.

Нейроны различных участков мозга выполняют разную работу, вследствие чего форма нейронов различных областей мозга также разнообразна.

Исследования в области нейрофизиологи показали, что существует ряд электрических событий присущих нейронам, которые способны вносить вклад в суммарную биоэлектрическую активность мозга. К таким событиям относят, возбуждающие постсинаптические потенциалы и тормозные



постсинаптические потенциалы (ВПСП, ТПСП), и распространяющиеся потенциалы действия (ПД). ВПСП и ТПСП возникают на теле нейрона либо в дендритах (рисунок 4).

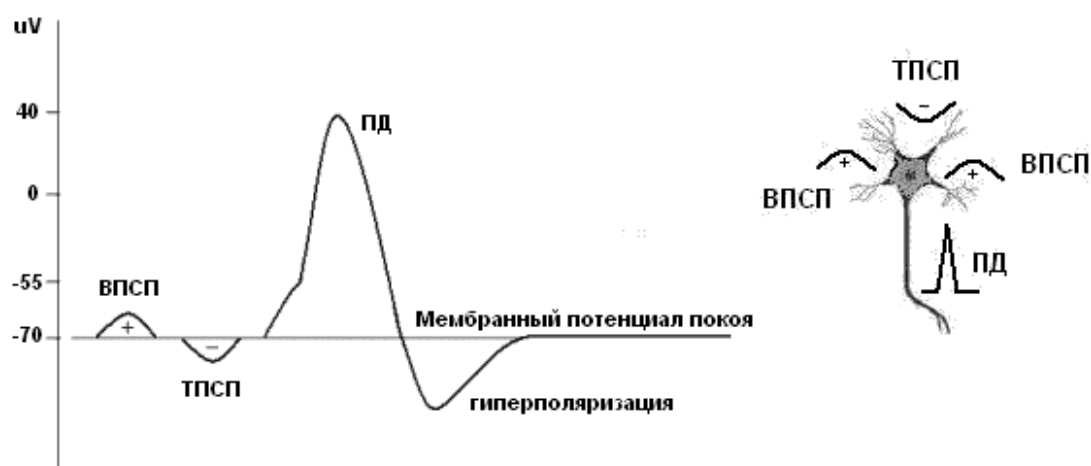


Рисунок 4. Электрический потенциал действия нейронов.

Нейрон имеет оболочку – мембрану. Благодаря обмену веществ между внешней и внутренней средой нейрона, возникает разность потенциалов. Причем, внешняя среда относительно внутренней среды заряжена положительно. Эта разность потенциалов именуется потенциалом покоя и равна 60-70мВ. Потенциал покоя является начальным уровнем, относительно которого происходят процессы торможения и возбуждения. Возбуждающее воздействие ведет к положительному отклонению потенциала от потенциала покоя, а тормозное воздействие соответственно к отрицательному, что обозначается как гиперполяризация и деполяризация. Такая активность определяет уровень деполяризации нейрона, и его способность передачи сигнала другому нейрону, что составляет спонтанную ЭЭГ. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что электроэнцефалография является отражением взаимодействия сотен тысяч нейронов, характеризующих функциональную работу мозга.

Из изложенного выше следует, что работа мозга представляет собой активность большого числа нейронов, которые, создают неоднородно распределённые в пространстве мозговых структур поля, которые имеют

переменный во времени сигнал. Таким образом, при регистрации биопотенциалов с двух разных точек поверхности головы получаются переменные разности потенциалов. Регистрация данного потенциала есть основа построения нейрокомпьютерного интерфейса.

### **1.3 Виды ИМК, история создания, различия по способу регистрации электрического сигнала**

При разработке нейрокомпьютерного интерфейса, применяют несколько методов передачи электрического сигнала от мозга к обрабатывающему устройству. Так называемые инвазивные методы, основанные на использовании множественной активности отдельных нейронов, эта активность регистрируется с помощью системы микроэлектродов, вживляемых в ткань мозга. И неинвазивные методы - основаны на описанном выше методе измерения электрического потенциала, при помощи электродов на поверхности кожи головы (ЭЭГ).

#### **1.3.1 Инвазивные ИМК**

Уже в середине 1960-х гг. проводились инвазивные эксперименты на обезьянах, которым имплантировали мультиэлектродные матрицы для регистрации потенциалов коры и электрической стимуляции [6, 7]. Было показано, что сенсомоторная кора активировалась, когда обезьяны производили движения, а электростимуляция коры, наоборот, вызывала сокращение мышц.

Электродная матрица, представляет собой набор миниатюрных стеклянных либо металлических игольчатых электродов, расположенных на общем основании. На рисунке 5 представлена электродная матрица, разработанная университетом Юта.

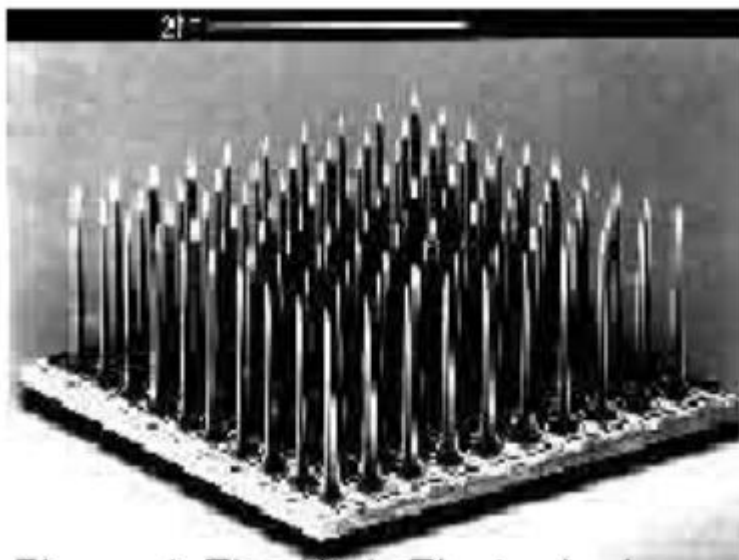


Рисунок 5. Матрица микроэлектродов.

В 1963г. был проведен эксперимент, в котором был реализован первый ИМК в том смысле, как мы его понимаем теперь[8]. Пациентам по медицинским показаниям были имплантированы электроды в различные области коры мозга. Им предлагалось переключать слайды проектора, нажимая на кнопку. Обнаружив область коры, ответственную за воспроизведение этого мышечного паттерна, исследователи подключил ее напрямую к проектору. Пациенты нажимали на отсоединенную кнопку, но слайды продолжали переключаться: управление осуществлялось непосредственно мозгом, причем даже быстрее, чем человек успевал нажать на кнопку.

Идею, сходную с идеей современных ИМК, сформулировали в конце 1960-х годов ученые из Национального института здоровья США (NationalInstituteofHealth), которые заявили, что основным направлением их исследований будет разработка принципов и методов управления внешними устройствами с использованием сигналов мозга. Исследователи имплантировали обезьянам в моторную область коры электроды, которые регистрировали потенциалы действия нескольких нейронов в то время, как животные двигали кистью[9]. Записанные разряды нейронов преобразовывали в траекторию движения кисти с помощью линейной регрессии. Потребовалось

еще десять лет исследований, чтобы осуществить такое преобразование в реальном времени: обезьяна обучилась управлять курсором на экране, активируя нейроны моторной коры.

Одновременно с разработкой моторных ИМК, исследователи создавали сенсорные интерфейсы. В 1957 г. французским ученым Djourno и Eyriès удалось при помощи одноканального электрода, стимулировавшего слуховой нерв, вызвать звуковые ощущения у глухих. В 1970-х гг. ученые Хаус и Урбан назвали устройство, состоящее из звукопреобразователя и многоканального электрода, кохлеарным имплантатом. Разработка получила одобрение Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США. После дальнейших усовершенствований кохлеарный имплантат был успешно внедрен в клиническую практику.

В 1980-х гг. начались исследования, направленные на восстановление зрения при помощи ИМК. Полностью слепым в зрительную кору имплантировали электродную матрицу. Вызываемые зрительные ощущения — своеобразные нейроэлектрофотопиксели — были названы фосфенами. Давно или вообще никогда не видевшие света люди научились распознавать несложные узоры из фосфенов [10]. В настоящее время электросимуляционное зрение внедряется в клиническую практику, достаточно сложное изображение с видеокамеры (одной или нескольких) передается на нейроимпланты глаза или зрительной коры.

Бурный скачок ИМК-исследований пришелся на 1990– 2000-е гг. ученые Nicolelis и Chapin сконструировали ИМК, управлявший механическими конечностями [11]. Записанную у крыс в состоянии бодрствования активность коры и базальных ганглиев передавали на робота, который доставлял животному воду. Затем исследования продолжили на приматах. Это направление исследований было реализовано в ряде проектов: контролируемая корковыми ансамблями роботизированная рука [12], ИМК искусственной тактильной обратной связи, ИМК для распознавания движений ног [13] и другие.

Вначале 2000-х г. несколько лабораторий начали конкурировать друг с другом в области разработки инвазивных ИМК. Одна группа учёных работала с обезьянами и людьми, в частности исследователи имплантировали мультиэлектродные матрицы в моторную кору человека, что позволяло парализованным людям управлять курсором [14] и роботизированными манипуляторами [15]. Другая группа ученых изучали на обезьянах управление движениями в трехмерном пространстве. В опыте с участием людей им удалось добиться максимального контроля в управлении антропоморфной роботизированной рукой — пожалуй, это до сих пор наиболее продвинутая технология в этой области.

Движения рук — моторная основа нашей повседневной жизни. Поэтому многие разработчики ИМК сосредоточены на задаче управления руками. К тому же движения рук имеют более значительную кортикальную компоненту, что удобно для разработчиков - ведь регистрировать сигналы коры головного мозга технически проще, чем сигналы нижележащих структур.

На рисунке 16 представлен пример интерфейса, воспроизводящего движения руки. В данном случае это был инвазивный ИМК, с помощью которого обезьяны захватывали появляющиеся в различных местах объекты при помощи роботизированной руки.

Внеклеточная активность нейронов коры считывалась мультиэлектродной матрицей, имплантированной в несколько кортикальных зон обезьяны. Сигналы декодировались и передавались на контролирующее устройство роботизированной руки. На экране обезьяне демонстрировали курсор, который менял свой размер в зависимости от силы сжатия. Задача состояла в том, чтобы после появления виртуального объекта на экране дотянуться до него и сжать. В одном варианте задания обезьяна управляла роботом при помощи джойстика с двумя степенями свободы, и сила захвата определялась сжатием ручки джойстика. В другом — джойстик не был подключён к роботу, и робот управлялся напрямую командами моторной коры.

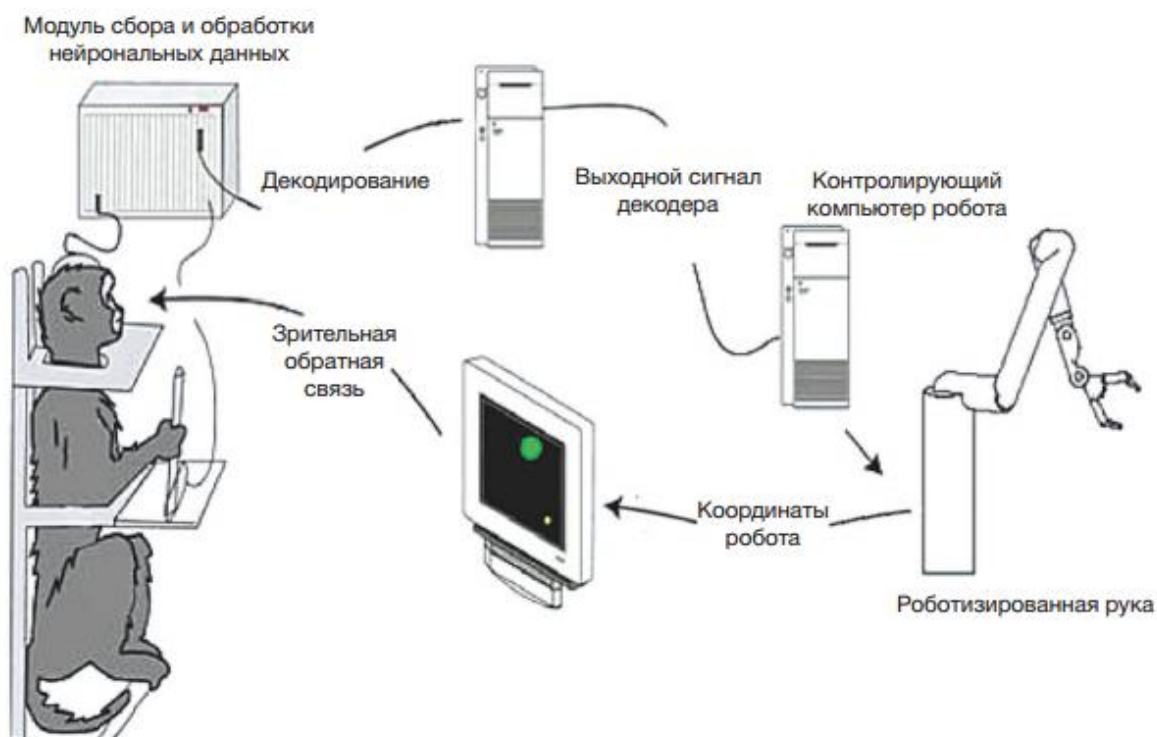


Рисунок 6. Схема работы ИМК роботизированной руки, способной схватывать объекты [16]

В другом эксперименте с обезьянами для управления движениями в трёхмерном пространстве использовались стереоскопические очки. Движение руки преобразовывалось в перемещение курсора в трёхмерном пространстве.

Эта же группа исследователей некоторое время спустя продемонстрировала работу ИМК, при помощи которого обезьяны могли кормить себя, используя роботизированную руку [16]. Подобные технологии с применением роботизированной руки уже применяются для облегчения жизни полностью парализованных пациентов. Также разработаны виртуальные технологии, а именно: пара виртуальных рук, движущихся на экране компьютера, и управляющий ими ИМК. В этих экспериментах несколько сотен электродов регистрируют активность нейронов в обоих полушариях коры, что и позволяет управлять сразу двумя руками.

Робототехнические ИМК необходимы в случае утраты конечностей, но если конечности не утрачены, а только обездвижены, возможно, применение

функциональной электростимуляции (ФЭС). Эта технология состоит в применении электродных матриц для электрической стимуляции мышц набором импульсов, имитирующих сигналы нервной системы. Мышцы активируются под воздействием стимуляции, и конечности приводятся в движение. Для поверхностной стимуляции мультиэлектродная матрица накладывается на кожу пациента. Такую контактную матрицу можно вшивать в одежду, превращая ее в носимую электронику (перчатки, штаны и т.д.) [17]. Контроль ИМК может осуществляться бета-ритмами ЭЭГ. Например, так воспроизводили движения парализованной кисти.

Используя инвазивный нейроинтерфейс, с помощью ФЭС в движения приводились руки обезьян, при этом движения были достаточно точными. При подключении к большому числу мышц и декодировании более сотни нейронов обезьяны с парализованными руками могли самостоятельно осуществлять хватательные движения. Недавно такое управление при помощи инвазивного ИМК было осуществлено парализованным человеком [18]. Согласно экспериментальным данным, часть низкоуровневых функций (например, подстройку позиции конечности в поле внешних сил) можно возложить на локальное самоуправление. В этом случае используют системы обратной связи, например датчики положения. ИМК на основе ФЭС может учитывать особенности контрактильных свойств мышц, и даже такой феномен, как локальная мышечная память. Инструментом обратной связи служит зрение [17] или сенсорное замещение, например с использованием вибростимуляции.

#### **1.3.1.1 Алгоритмы преобразования активности мозга в команду внешнему устройству**

Все описанные ранее инвазивные ИМК используют различные алгоритмы преобразования активности мозга в команду внешнему устройству. Устройство ИМК предусматривает возможность выделения из регистрируемой активности мозга тех сигналов, которые наиболее точно коррелируют с

выполняемой задачей и использовать такие сигнала для генерации управляющей команды внешним устройствам. Наиболее распространенными и эффективными алгоритмами для преобразования мозговой активности в команду управления оказались линейные регрессионные модели. В этих регрессионных моделях команда вычисляется как взвешенная сумма частот разрядов отдельных нейронов в несколько предшествующих интервалов времени. Число нейронов и интервалов времени может быть оптимизировано для каждого конкретного приложения ИМК. Во время тренировок параметры линейного преобразования могут быть скорректированы [19], т. е. преобразование является адаптивным.

Одним из главных результатов экспериментов с инвазивными ИМК стало доказательство того, что каждый нейрон дает вклад в различные параметры движения, то есть один нейрон может отвечать за различные движения. Исходя из вышесказанного, модели регрессии, с разными коэффициентами вклада различных нейронов, и относящиеся к активности одних и тех же нейронов, способны распознавать различные параметры движения, такие как скорость и ускорение руки, её положения, и даже силу сжатия пальцев [20].

Несмотря на то, что идет активная реклама инвазивных ИМК в средствах массовой информации, и, несомненно, обнадёживающие первые результаты, еще очень рано говорить о массовом применении таких интерфейсов. Их применение возможно только тогда, когда нет иных путей для реабилитации больных.

Исходя из вышесказанного, можно составить перечень преимуществ и недостатков инвазивных ИМК:

Преимуществами данного метода являются:

- Высокая точность выполнения команд
- Прямой доступ к исследуемым участкам мозга



Недостатками данного метода являются:

- Требуется хирургическая операция.
- Имеется риск для жизни.
- Не долговременная работоспособность электродных матриц.
- Требуется открытое трепанационное отверстие для вывода кабелей передачи информации, а также кабелей питания.

### **1.3.2 Неинвазивные ИМК**

Важное требование к ИМК — безопасность. Наиболее безопасны неинвазивные ИМК, т.е. не использующие проникновение в биологические ткани для записи нейронной активности. Было разработано множество неинвазивных ИМК, в первую очередь для управления инвалидными колясками и восстановления коммуникативной функции с помощью речевых синтезаторов. Как уже говорилось ранее, сигналом для неинвазивного ИМК могут выступать различные биологические процессы. Наиболее распространенные ИМК работают на основе регистрации электроэнцефалографии (ЭЭГ). Поскольку разрабатываемый в данной диссертационной работе интерфейс является неинвазивным, остановимся на их видах подробнее.

#### **1.3.2.1 ИМК на основе зрительных вызванных потенциалов**

В начале 70х годов прошлого века, был предложен ИМК, использующий зрительные вызванные потенциалы в качестве команды исполнительному устройству [25]. В данном интерфейсе анализировались сигналы ЭЭГ, расположенные в затылочной области, фиксирующую активность зрительной коры. Испытуемые смотрели на мерцающие с большой частотой стимулы (порядка 150 Гц), разделенные на группы по разным признакам, к примеру на

группы мог быть разделен алфавит или какие либо символы управления. Через 100мс после предъявления стимулов измерялась амплитуда вызванных зрительных потенциалов. Амплитуда вызванного потенциала была выше тогда, когда символ, на котором сосредотачивался испытуемый, находился в мерцающей группе. После проведения практических экспериментов, было показано, что основанный на данном методе ИМК показывает высокую точность [26].

### 1.3.2.2 ИМК на основе медленных корковых потенциалов

Медленные корковые потенциалы (МКП) являются одной из низкочастотных компонентов ЭЭГ, с характерным изменением по времени от 0,5 до 10с. Негативный сдвиг МКП обычно имеет ассоциации с подготовкой к движению и с другими функциями коры, вследствие которых возрастает активность коры, а позитивный сдвиг, наоборот, с ее уменьшением. Еще в 80х годах было доказано, что человек способен произвольно управлять МКП по своему желанию. Эта способность легла в основу ИМК. В этом ИМК регистрировался сигнал с макушки относительно соединённых ушных электродов. При помощи фильтрации МКП выделяется из шумов и предоставляется испытуемому на экране в виде временной развертки. (рисунок 7)

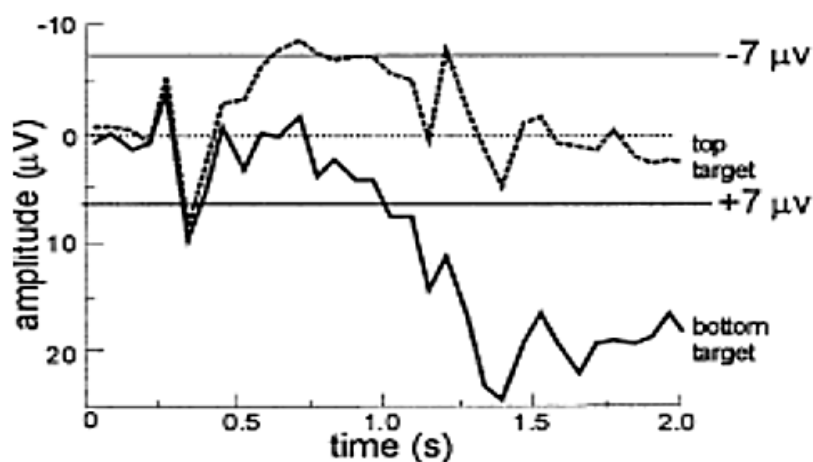


Рисунок 7. Схема эксперимента Бирбаумера. Испытуемые были научены сдвигать МКП в положительную либо отрицательную область. В результате чего появлялась возможность выполнения бинарных команд.

Одновременно указывались верхний и нижний предел потенциала, к которым испытуемый должен был смещать МКП. Среднее время для распознавания сдвига составляло 4с. В первые 2 секунды определялся начальный уровень сигнала, а в следующие 2 секунды направления сдвига. Обратная связь могла быть не только зрительной, но и слуховой либо тактильной. Данный ИМК требовал долгое время. Когда число правильных сдвигов составляло МКП составляло 75%, ИМК соединяли с генератором букв. Выбранная буква указывалась при помощи бинарной команды. Например, экран делился на две части, в одной его части была половина алфавита, в другой части другая половина. Человек указывал на ту часть, где находилась нужная буква, затем выбранная часть снова делилась на два, и так до тех пор пока не оставалась одна нужная буква. Такой алгоритм требует 5 последовательных команд для определения буквы. Основываясь на частоте использования букв можно усовершенствовать такой ИМК, однако в любом случае его производительность не превышает 36 слов в час.

### **1.3.2.3 ИМК на основе потенциала P300**

Волна P300, характеризуется положительным всплеском амплитуды ЭЭГ, через некоторое время после предъявления зрительного стимула. Данное время может разниться у разных людей, однако в среднем оно составляет 300мс. после предъявления стимула, благодаря данной особенности эта волна и получила свое имя P300, что означает positive 300, то есть позитивное отклонение через 300мс.

Волна P300 возникает в ответ на предъявляемый значимый зрительный стимул, когда он предъявляется среди часто предъявляемых не значимых

стимулов [27]. В эксперименте для того чтобы сделать стимул значимым для пациента, обычно предлагают ему вести мысленный счет на каждое предъявление стимула. Амплитуда отклика составляет от 5 до 20 мкВ. Максимальная амплитуда сигнала наблюдается под центральными электродами (Cz, Pz) (рисунок 8). В зависимости от частоты предъявления стимула, амплитуда будет разниться, чем реже символ предъявляется, тем она выше, и наоборот, слишком частое предъявление уменьшит амплитуду. Как правило, из-за низкой амплитуды сигнала, для выделения его из шумов требуется несколько усреднений. Р300 зависит от внимания пациента, но не от физических параметров стимула, это могут быть как буква на экранной клавиатуре, так и какие либо символы управления, например стрелки положения

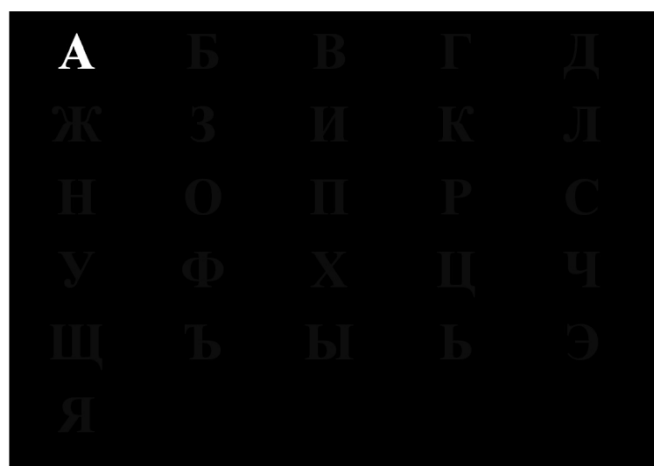
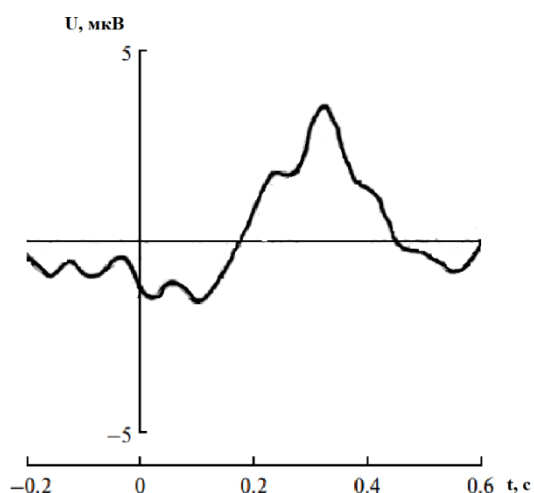


Рисунок 8. Волна Р300 и матрица предъявляемых стимулов.

Первый работоспособный ИМК был описан в [28]. В этом ИМК на экране в виде матрицы 6x6 располагались буквы, и/или другие символы и команды. Каждые 125мс. высвечивался один символ. Испытуемому была дана инструкция, считать сколько раз высвечивался задуманный им символ. Волна Р300 появлялась только тогда, когда подсвечивался символ, на котором был сосредоточен испытуемый. Так как время между стимулами составляло всего

125 мс, то ответы на последовательные стимулы накладывались, что затрудняло распознавание Р300. Для увеличения надежности распознавания были опробованы несколько методов: дискриминантный анализ, дискретное вейвлет-преобразование, метод независимых компонент (ICA), метод опорных векторов (SVM) и другие. В некоторых случаях применения этих методов увеличивало производительность ИМК, для реализации таких систем обработки требуется высокая вычислительная мощность, однако точность распознавания повышалась не столь значительно по сравнению с простым усреднением, что ставит под вопрос рентабельности таких разработок на нынешнем уровне вычислительных технологий.

В дальнейшем было предложено усовершенствование ИМК на основе Р300, в котором испытуемому также предлагалось смотреть на буквенную матрицу, однако предъявление стимула происходило не единичным буквенным стимулом, а подсвечиванием рядов и столбцов букв. Каждые 125мс. Подсвечивались один ряд или одна колонка матрицы, выбранные в случайном порядке, испытуемый также как и в описанном способе выше, считал, сколько раз загорался ряд либо колонка с указанным символом. После предъявления всех 12 рядов и колонок складывались вызванные ответы на предъявление каждой колонки и каждого ряда. Наибольший отклик получалось для комбинации того ряда и той колонки, в которой содержался задуманный символ. Такой метод увеличивает производительность ИМК Р300, однако вызванные потенциалы имеют меньшую амплитуду, чем при предъявлении одиночного символа, что ведет к повышению ошибки при обработке.

Несомненным достоинством данного ИМК является то, что для его использования не требуется обучения пациента. Волна Р300, является естественной для человека, и наблюдается у всех людей как ответная реакция на предъявляемый стимул. Вместе с тем, по мере продолжительного использования, амплитуда на предъявляемый стимул может измениться как в большую, так и меньшую сторону. И хотя интерфейс не требует тренировки,

для его длительной работы требуется наличие адаптивного алгоритма выявления волны P300.

#### **1.3.2.4 ИМК основанные на различных типах ментальной деятельности**

Работа ИМК на основе паттернов ЭЭГ соответствующих различным ментальным состояниям заключается в следующем. Вначале испытуемому дают различные ментальные задачи, с помощью классификатора определяется, какие виды ментальных задач могут быть распознаны наиболее точно. Затем по договоренности с испытуемым, каждой из таких ментальных задач дают ассоциацию с какой либо исполняющей командой. После этого, для исполнения какой либо исполняющей команды испытуемый производит ментальную деятельность соответствующую ей. В ИМК описанном в работе [28], испытуемые в качестве ментальных задач использовали движение правой либо левой рукой, или устный счет.

Наиболее эффективными ИМК основывающиеся на классификации ментальной деятельности, оказались ИМК соответствующие воображаемому движению различных частей тела. У людей в состоянии бодрствования, часто наблюдается мозговой ритм, в диапазоне от 8 до 12 Гц над областями сенсомоторной и двигательной коры, в отсутствии движения или сенсорного входа[30]. Этот ритм получил название Мю-ритм. Мю-ритм обычно сопровождается бета-ритмом в частотном диапазоне 18-26Гц. Движение или подготовка к движению некоторого исполнительного органа обычно приводит к уменьшению мю- и бета- ритмов в корковых представлениях этого органа. (Рисунок 9). Такое уменьшение ритма называют десинхронизацией, связанной с событием. Увеличение или, синхронизация, связанная с событием, наблюдается после движения, а также во время расслабления.

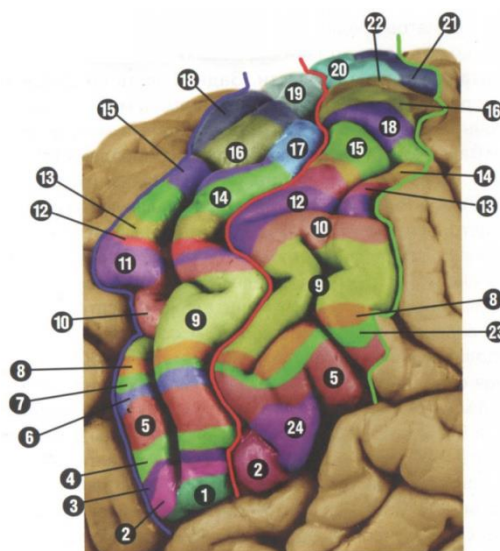


Рисунок 9. Сенсомоторный центр мозга, где: 1) корень языка; 2) гортань; 3) нёбо; 4) нижняя челюсть; 5) язык; 6) нижняя часть лица; 7) верхняя часть лица; 8) шея; 9) пальцы руки; 10) кисть; 11) рука от плеча до кисти; 12) плечо; 13) лопатка; 14) грудь; 15) живот; 16) голень; 17) колено; 18) бедро; 19) пальцы ноги; 20) большой палец ноги; 21) четыре пальца ноги; 22) стопа; 23) лицо; 24) глотка. Между синей и красной линиями лежат моторные центры коры, а между красной и зелёной линиями – сенсомоторные.

Мю и бета-ритмы являются наиболее перспективными для разработки ИМК по нескольким причинам. Во-первых, эти ритмы напрямую связаны с участками мозга, отвечающими за естественные моторные движения. По этому считается что они наиболее приспособлены для генерации моторной команды, исполнительному устройству. Во-вторых, десинхронизация мю-ритма не требует выполнения движения, а лишь его представление. Таким образом, естественным классификатором для ИМК может являться просто представление движения. В третьих, как показано на рисунке 9, представительства различных органов управления расположены на достаточно большой площади коры. Поэтому представления движений различных органов тела, создает различное пространственное распределение паттернов ЭЭГ, что облегчает задачу классификатора ИМК.

В экспериментальном ИМК, предложенном группой ученых во главе с Пфюртшеллером [31], испытуемые последовательно представляли движения правой левой ногой, рукой, языком и т.д. Для каждого такого движения велся анализ ЭЭГ в виде спектральной плотности в диапазоне от 5 до 30 Гц от электродов расположенных на поверхности головы над сенсомоторной корой. Данные паттерны были использованы для создания классификаторов, которые смогли бы распознавать тип движения воображаемых испытуемым.

На рисунке 10 показано распределение амплитуды мю-ритма при воображаемом движении различных конечностей.

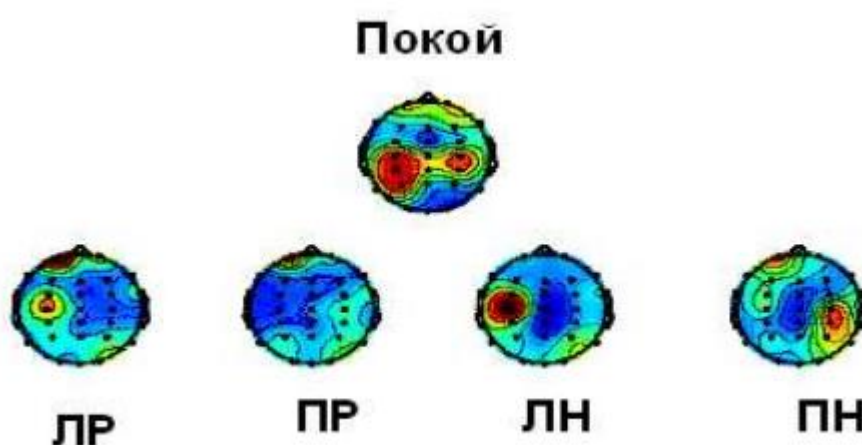


Рисунок 10. Распределение амплитуды мю-ритма в зависимости от воображаемого движения левой руки (ЛР), правой руки (ПР), левой ноги (ЛН), правой ноги (ПН).

Показано, что в состоянии покоя мю-ритм имеет наибольшую амплитуду, а его активность равномерно распределена над обоими полушариями в центральных областях. При воображении движения правыми конечностями, мю-ритм подавлялся в левой области мозга и наоборот. Такое изменение амплитуды мю-ритма может быть достаточно надежно распознано классификатором для составления управляющей команды. После обучения классификатора он может быть использован для дискретного (набор букв) либо непрерывного (управление курсором) управления. Уже имеются успешные



попытки использования для реабилитации больных, в частности, для управления движением схватывания у протеза руки парализованного пациента [32]

Исходя из вышесказанного, можно составить перечень преимуществ и недостатков неинвазивных ИМК.

Преимуществами данного метода является:

- Безопасность для здоровья
- Не требуется хирургических вмешательств
- Простота применения и универсальность

Недостатками данного метода является:

- Снимаемый сигнал сильно зашумлен
- Точность выполнения команд ниже, чем у инвазивных интерфейсов

#### **1.3.4 Обучение навыку управления внешними объектами**

Успех применения ИМК обусловлен значительной корковой пластичностью, позволяющей мозгу адаптироваться к ИМК таким образом, что управляемое мозгом внешнее устройство начинает восприниматься как часть собственного тела. Подобно мышечной активности при естественном взаимодействии человека с внешней средой, теперь используется активность какого либо устройства, так же управляемая электрической активностью мозга. И подобно тому, как в обычной жизни вырабатываются новые движения мышц, в ИМК вырабатываются новые навыки для управления внешним устройством, для выработки такого навыка требуется наблюдение за результатом при помощи обратной связи.

Навык управления внешним устройством ИМК, судя по всему сходен с навыком управления каким либо рабочим инструментом. Известно, что вырабатывание этого навыка сопровождается включением инструмента в схему тела. Управление инструментом при помощи мозговой деятельности еще

больше увеличит иллюзию того, что управляемое устройство является частью тела. В пользу этого говорят данные об активации премоторной коры человека, наблюдаемой при управлении миоэлектрическим протезом руки [23], а также данные об активности нейронов первичной моторной коры, при воображении фантомных движений ампутированной руки [24]. Но наибольшее доказательство в теорию о том, что мозг управляет с внешними устройствами как частями собственного тела, были получены в упомянутых ранее экспериментах над животными. В экспериментах движение устройства сначала осуществлялось вместе с нейронной активностью, возникающей во время реальных движений лапы, но со временем, управление устройством начинало осуществляться только при помощи мозговой активности, без движения лап. Для того чтобы облегчить восприятие устройства как часть тела, необходимо наличие обратной связи, в настоящее время такая связь осуществляется с помощью зрения. Однако ведутся разработки, для предания тактильных и пространственных ощущений положения устройства.

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

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.

Темой научно-технического исследования является: «Разработка нейрокомпьютерного интерфейса на наносенсорах»

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **5.1.1 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 2. SWOT - матрица

	Сильные стороны НИП:	Слабые стороны НИП:
	<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>Сл1. Относительная дороговизна проекта.</p> <p>Сл2. Отсутствие бюджетного финансирования</p> <p>Сл3. Отсутствие компании, способной обеспечить серийное производство.</p> <p>Сл4. Требуется специального оборудования.</p> <p>Сл5. Возможность появления новых технологий.</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 со-здания 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> <p>У2. Нестабильная финансовая поддержка со стороны государства.</p> <p>У3. Высокая сложность обеспечения серийного производства</p> <p>У4. Нехватка квалифицированных кадров для создания и обращения с данным прибором.</p> <p>У5. Захват внутреннего рынка иностранными компаниями.</p>	<p>Имеется возможность обучить новых специалистов в данном направлении, тем самым увеличив количественный состав квалифицированного персонала.</p>	<p>Нестабильная финансовая поддержка в совокупности с относительной дороговизной реализации проекта могут сильно ударить по процессу реализации проекта и сделать его менее конкурентоспособным.</p>

Вывод: заявленная методика имеет большой потенциал, широкий круг потенциальных потребителей, а также возможность быстрого выхода на внешний рынок.

## 5.2 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ по исследованию осуществляется в следующем порядке:

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

Таблица 3 - Порядок составления этапов и работ

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания	1	Составление и утверждение задания	Руководитель, студент-дипломник
<b>Проведение НИР</b>			
Анализ задачи	2	Составление ТЗ	Руководитель, студент-дипломник
	3	Выбор моделей и способ анализа	Студент-дипломник
	4	Календарное планирование	Руководитель, студент-дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, студент-дипломник
	6	Поиск методов решения	Студент-дипломник
	7	Реализация моделей	Руководитель, студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник

### 5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k \quad (1)$$

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

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

$k$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k = \frac{T_{KG}}{T_{KG} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (2)$$

где  $T_{KG}$  – количество календарных дней в году;

$T_{ВД}$  – количество выходных дней в году;

$T_{ПД}$  – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{KG}}{T_{KG} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45$$

Таблица 4 - Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		$t_{\min}$ чел-дн.	$t_{\max}$ чел-дн.	$t_{\text{ож}}$ чел-дн.	$T_p$ чел-дн.	$T_k$ чел-дн.	$Y_i, \%$	$\Gamma_i, \%$
1	Руководитель, студент-дипломник	1	4	2	1,1	2	1,65	1,65
2	Руководитель, студент-дипломник	15	40	25	25	36	37,46	39,11
3	Студент-дипломник	5	14	9	2,9	4	4,3	43,41
4	Руководитель, студент-	4	15	8	2,8	4	4,2	47,6

	дипломник							
5	Руководитель, студент-дипломник	12	27	18	18	26	26,94	74,58
6	Студент-дипломник	4	14	8	4	6	5,99	80,57
7	Руководитель, студент-дипломник	5	16	9	4,7	7	7,04	13,04
8	Руководитель, студент-дипломник	1	5	3	0,87	1	1,3	88,91
9	Руководитель, студент-дипломник	2	14	7	3,4	5	5,09	94,01
10	Студент-дипломник	2	7	4	4	6	5,99	100
Итого						97		

На основе таблицы 4 строим календарный план-график.

Таблица 5 – Календарный план-график

Этапы	Вид работы	Исполнители	t <sub>k</sub>	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление ТЗ	Руководитель, студент-дипломник	2					
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Руководитель, студент-дипломник	36					
3	Выбор моделей и способ анализа	Студент-дипломник	4					
4	Календарное планирование	Руководитель, студент-дипломник	4					
5	Разработка моделей для исследования	Руководитель, студент-дипломник	26					
6	Поиск методов решения	Студент-дипломник	6					
7	Реализация моделей	Руководитель, студент-дипломник	7					
8	Анализ полученных результатов	Руководитель, студент-дипломник	1					
9	Оценка эффективности полученные результаты	Руководитель, студент-дипломник	5					
10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник	6					



- руководитель,



- студент-дипломник

Вывод: На реализацию исследования руководителем было потрачено 47 рабочих дней, а студентом-дипломником 90 дней.

### **5.3 Расчет бюджета для научно-технического исследования**

Согласно исследованию, приведенному в данной работе, затраты по статье «специальное оборудование для научных работ» не предусматриваются. Т.к. все необходимое для исследования оборудования предоставляется кафедрой ФМПК Национального исследовательского Томского политехнического университета.

#### **5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ**

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} \quad (3)$$

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, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> 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 предприятиям и изготовителями (либо организациями-поставщиками).



Таблица 6 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб		Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Бумага	Лист	130	140	2	2	260	280
Печать	Лист	130	140	1,5	1,5	195	210
Интернет	М/бит (Пакет)	1	1	350	350	350	350
Ручка	Штука	1	1	20	20	20	20
Тетрадь	Штука	3	3	30	30	30	90
Электроэнергия	кВт/час	120	120	2,7	2,7	27	324
Итого						<b>1239</b>	<b>1274</b>

### 5.3.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.10.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.10.

Таблица 7 – Расчет основной заработной платы

№ п /п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление ТЗ	Руководитель	2	3,6	7,2
2	Выдача задания по тематике проекта	Руководитель, студент	1	4,4	4,4
3	Постановка задачи	Руководитель, студент	1	0,8	0,8
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Руководитель, студент	2	4,4	8,8
5	Подбор литературы по тематике работы	Руководитель, студент	9	0,8	7,2
6	Сбор материалов и анализ существующих методик	Студент	2	0,8	1,6
7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	15	0,8	10,4
8	Согласование полученных данных с научным руководителем	Руководитель, студент	1	4,4	4,4
9	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	2	0,8	1,6
10	Работа над выводами по проекту	Студент	2	0,8	1,6
11	Составление пояснительной записки к работе	Студент	15	0,8	1,6
Итого:					62,4

Проведем расчет заработной платы относительно того времени, в течение которого работал руководитель и студент. Принимая во внимание, что за час работы руководитель получает 450 рублей, а студент 100 рублей (рабочий день 8 часов).

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (4)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

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

Максимальная основная заработная плата руководителя (доктора наук) равна примерно 32400 рублей, а студента 44000 рублей. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, заработная плата руководителя равна 37260 рублей, студента – 51060 рублей.

### **5.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

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

Таблица 8– Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб
Руководитель проекта	32400	4860
Студент-дипломник	44400	6660
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого	23934,7 руб.	

### 5.3.4 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\sum статей) \cdot k_{нр}$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом, наибольшие накладные расходы равны:

$$З_{накл} = 116291 \cdot 0,16 = 18606,56 \text{ руб.}$$

### 5.3.5 Формирование общего бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 9

Таблица 9 – Бюджет затрат на НИП

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1239	Пункт 4.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-	Пункт 4.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	76800	Пункт 4.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	11460	Пункт 4.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	23934,7	Пункт 4.3.5
6. Накладные расходы	18606,56	16 % от суммы ст.1-5
7. Бюджет затрат НТИ	132040,2	Пункт 4.3.1

Таким образом, средства необходимы для проведения исследования равны 132040,2 рубля. Что является экономически выгодным показателем

### **Выводы по разделу ФМ РСРС:**

1. В рамках оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения был определен потенциал научно-технического исследования, по результатам которого можно судить о высокой степени необходимости данного исследования, а так же что проведенные испытания имеют огромный потенциал.

2. Исходя из графика научного исследования видно, что на его реализацию руководителем было потрачено 47 рабочих дней, а студентом-дипломником 90 дней.

3. Так же, был подсчитан бюджет исследования в который вошли: материальные затраты, затраты на основной заработной плате, затраты на дополнительной заработной плате, отчисление во внебюджетные фонды, а так же накладные расходы. Таким образом, бюджет НТИ составил 132040,2 рубля.

## Список публикаций студента

1. Ворона Р.С. Нейрокомпьютерный интерфейс на наносенсорах/ 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 – [18-20 с.].

2. Ворона Р.С. Нейрокомпьютерные интерфейсы в протезировании / «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. 1. — [58-60 с.].

3. Ворона Р.С. Разработка нейрокомпьютерного интерфейса на основе вызванных потенциалов/ 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. — [7 с.].

4. D. Avdeeva. Advantages of nanosensors in the development of interfaces for bioelectric prostheses / D. Avdeeva, E. Zakharchenko, D. Nguyen, N. Turushev, A. Abdrakhmanov, R. Vorona, S. Tverdokhlebov, A. Popkov.// 7th Scientific conference on information-measuring equipment and technologies 25-28 may 2016, Tomsk-doi: 10.1051/matecconf/20167901051