

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 Физических методов и приборов контроля качества

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Аппаратно-программный комплекс для оценки психоэмоционального состояния человека на наносенсорах

УДК 681.586.159:942-047.43:004.3/.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Абдрахманов Арыслан Бауржанович		

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.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
Р1	Способность 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>
Р2	Способность 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-7, Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Способность 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-4,50 Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Способность 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-2,ОК—6,ОК-3) Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Умение 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 (ПК-1,ПК-10), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	Умение профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных	Требования ФГОС (ПК-15,ПК-4,ПК-17), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с

	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.	требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способность 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 (ПК-10,ПК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Умение разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, 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.	Требования ФГОС (ПК-16,ПК-23,ПК-25) ПК-2,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Умение 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 (ПК-18; ПК-19) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способность 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 (ПК-10; ПК-21, ПК-22) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Способность 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 (ПК-20,ПК-14,ПК-24) 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
Уровень образования – Магистратура
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества
Период выполнения – осенний/весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)
--

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.12.15	Обзор литературы	15
11.05.16	Методика проведения исследований	5
30.04.17	Экспериментальная часть	20
20.05.17	Обсуждение результатов	5
17.05.17	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
25.05.17	Социальная ответственность	20
29.05.17	Заключение	5
29.05.17	Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке	10

Составил преподаватель:

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

Согласовано:

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

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 Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Абдрахманову Арыслану Бауржановичу

Тема работы:

Аппаратно-программный комплекс для оценки психоэмоционального состояния человека на наносенсорах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – Аппаратно-программный комплекс для оценки психоэмоционального состояния человека
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Анализ современных методов и приборов регистрации электрофизиологических параметров, связанных с психоэмоциональным состоянием человека2. Разработка методики предварительных исследований психоэмоционального состояния человека на аппаратно-программном комплексе;3. Проведение предварительных медицинских исследований психоэмоционального состояния добровольцев.4. Обработка полученных результатов исследования5. Анализ полученных данных.

Перечень графического материала	Презентация магистерской диссертации в программе Microsoft Office Power Point 2007
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко В.С.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

1. Обзор литературы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ФМПК	Авдеева Д.К.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Абдрахманов Арыслан Бауржанович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Абдрахманову Арыслану Бауржановичу

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 плату 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 трудоемкости 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.
4. Бюджет затрат на научное исследование

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	Абдрахманов Арыслан Бауржанович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Абдрахманову Арыслану Бауржановичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	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 аппаратно-программный комплекс для оценки психоэмоционального состояния человека. Состоит из элементной базы микроэлектроники, электродов, а также микропроцессоров и микроконтроллеров.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 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 работе с устройством существует потенциальная возможность вредного воздействия на организм человека электромагнитным полем. В ходе проведения анализа, были выявлены опасные факторы такие как поражение электрическим током.
2. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия на литосферу и решение проблемы; - вредные выбросы на атмосферу отсутствуют; - вредное воздействие на гидросферу отсутствует; Разработка решения по обеспечению экологической безопасности не требуется, так как объект исследования не оказывает пагубное влияние на экологию.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Требования безопасности к персоналу, компоновка рабочего пространства.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Абдрахманов Арыслан Бауржанович		

РЕФЕРАТ

Дипломная работа содержит: 122 с., 35 р., 12 табл., 53 источ., 1 приложения.

Ключевые слова: психоэмоциональное состояние, электроэнцефалография, электрокардиография, кожно-гальваническая реакция, наносенсор, микропотенциалы головного мозга.

Объектом исследования является аппаратно-программный комплекс для оценки психоэмоционального состояния человека на наносенсорах.

Цель работы – исследование психоэмоционального состояния человека на аппаратно-программном комплексе (АПК) путем регистрации электрокардиограммы, кожно-гальванической реакции и электроэнцефалограммы.

В процессе исследования проводились:

-анализ современных методов регистрации электрофизиологических показателей человека;

-разработка методики предварительных медицинских исследований психоэмоционального состояния человека с помощью аппаратно-программного комплекса на добровольцах;

-проведение предварительных медицинских исследований на добровольцах с обработкой результатов;

-анализ обработанных данных, полученных при исследовании добровольцев.

Область применения: использование разработанного метода в качестве устройства для оценки достоверности информации, сообщаемой испытуемым человеком, таким как детектор лжи; устройство, используемое для оценки психоэмоционального состояния человека и оценки качества жизни.

Определения

В данной магистерской диссертации применены следующие термины с соответствующими им определениями:

Электрокардиография (ЭКГ) - метод исследования деятельности сердца, основанный на регистрации и анализе электрической активности миокарда, которая распространяется по всему сердцу в течение сердечного цикла;

Электромиография (ЭМГ) – метод диагностики состояния нервно-мышечной системы. С помощью этого метода регистрируются электрические процессы в мышцах, происходит запись потенциалов действия мышечных волокон, которые заставляют ее сокращаться;

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – метод регистрации биоэлектрической активности головного мозга, отводимой как со скальпа, так и из глубоких структур мозга;

Электроокулография (ЭОГ) - метод регистрации движения глаз, потенциала сетчатки и глазных мышц;

Кожно-гальваническая реакция (КГР) - метод регистрации биоэлектрической реакции, регистрируемая с поверхности кожи.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

2 ГОСТ 2.104 – 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.

3 ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

4 ГОСТ 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.

5 ГОСТ 3.1102 – 2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.

6 ГОСТ 3.1105 – 2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.

7 ГОСТ 7.0.5 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

8 ГОСТ 7.1 – 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.

9 ГОСТ 7.9 – 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.

10 ГОСТ Р МЭК 60601-1-2-2014 Изделия медицинские электрические. Часть 1-2. Общие требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик. Параллельный стандарт. Электромагнитная совместимость. Требования и испытания

11 ГОСТ 30324.0-95 (МЭК 601-1-88) Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности (аутентичен ГОСТ Р 50267.0-92 (МЭК 601-1-88))

Обозначения и сокращения

- АПК – аппаратно-программный комплекс;
- ЭЭГ – электроэнцефалография;
- ЭКГ – электрокардиография;
- КГР – кожно-гальваническая реакция;
- ЭМГ – электромиография;
- ЭОГ – электроокулография;
- ЧСС – частота сердечных сокращений;
- ФПГ – фотоплетизмография;
- ИСР – изменчивость сердечного ритма;
- ЦНС – центральная нервная система;
- АНС – автономная нервная система;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

Оглавление

Введение	15
1 Литературный обзор.....	18
1.1 История изучения эмоций	18
1.2 Связь психоэмоционального состояния с электрофизиологией	21
1.3 Методы регистрации электрофизиологических показателей.....	23
1.3.1 Электрокардиограмма.....	24
1.3.1.1 Эффекты сердечного ритма.....	26
1.3.1.2 ЧСС и вариабельность сердечного ритма.....	26
1.3.2 Фотоплетизмография	29
1.3.3 Изменение кожной проводимости.....	31
1.3.4 Электроэнцефалограмма	32
1.3.4.1 Ритмы ЭЭГ у человека.....	36
1.3.4.2 Система регистрации ЭЭГ (10-20%)	39
1.3.5 Электромиография	43
1.3.6 Другие факторы, влияющие на эмоции	44
1.3.6.1 Кровяное давление	45
1.3.6.2 Изменение дыхания.....	46
1.4 Выбор метода исследования	46
2 Аппаратно-программный комплекс и наносенсоры.....	49
2.1 Наносенсоры	49
2.2 Аппаратная часть аппаратно-программного комплекса	51
3 Исследование психоэмоционального состояния человека на добровольцах	55
3.1 Методика проведения исследований.....	55
3.2 Анализ полученных результатов	60
3.3 Проблема индивидуального подхода.....	68
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	73
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	73
4.1.1 SWOT – анализ	73
4.2 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования	75
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	75

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования	76
4.3 Расчет бюджета для научно-технического исследования.....	78
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	78
4.3.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	79
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды	81
4.3.4 Накладные расходы.....	82
4.3.6 Формирование общего бюджета затрат научно-исследовательского проекта..	82
4.4 Выводы по разделу ФМ РСРС	83
5 Социальная ответственность.....	84
5.1 Производственная безопасность	84
5.1.1 Отклонение показателей микроклимата	85
5.1.2 Недостаточная освещенность на рабочем месте.....	87
5.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	88
5.1.4 Поражение электрическим током.....	89
5.2 Экологическая безопасность.....	90
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	92
Заключение.....	97
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	99
Список использованных источников	100
ПРИЛОЖЕНИЕ А	105

Введение

Жизнь современного человека полна стрессов. Сложности на работе, семейные неурядицы, нехватка денег – существующие проблемы окружают нас со всех сторон и пагубно воздействуют на наше психическое и эмоциональное состояние.

В результате постоянной физической или моральной нагрузки, испытывая сильное напряжение, возникает хронический стресс. В свою очередь, стресс способен повлиять на жизнедеятельность организма, то есть, ухудшить работу органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, пищеварения, желез внутренней секреции. Данная проблема часто рассматривается в рамках психофизиологии.

Для психофизиологии особенно интересным представляется выделение разного рода объективных индикаторов эмоциональных состояний. Эмоциональные проявления носят сложный комплексный характер, поэтому их рассмотрение невозможно без применения методов комплексной оценки субъективных и объективных показателей. Традиционно для объективной регистрации эмоции применялись такие физиологические методы как регистрация и анализ кожно-гальванической реакции (КГР), электрокардиограммы (ЭКГ), механограммы, дыхания и других показателей работы периферической нервной системы.

Применение комплексного метода исследования психоэмоционального состояния человека позволяет рассмотреть эмоциональную реакцию, исключая погрешности других методов. Поэтому существует необходимость анализа и разработки методов изучения психоэмоционального состояния человека, и создания устройства для психоэмоциональной оценки. Что и будет рассмотрено в ходе данной работы.

Цель данной работы состоит в изучении неинвазивного метода исследования головного мозга человека на аппаратно-программном комплексе, для оценки психоэмоционального состояния человека.

Любая технология должна быть, прежде всего, безопасной для пациента и абсолютно надежна, особенно если речь идет о диагностике заболеваний, в которой важно, чтобы информация была достоверна. Качество съема биопотенциалов головного мозга зависит от применяемых измерительных преобразователей (ИП). В медицинской лаборатории №63 при ТПУ были разработаны электроды, которые удовлетворяют необходимым требованиям.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить и ознакомиться с основными методами исследования психоэмоционального состояния

- исследовать 3 канальную систему для регистрации биопотенциалов мозга, сердца и кожно-гальванической реакции.

- разработать методику исследования психоэмоционального состояния на аппаратно-программном комплексе.

- провести исследования на добровольцах, обработать полученные результаты

- проанализировать полученные данные

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 неинвазивно зарегистрированы микропотенциалы мозга длительностью (1-2) мс, отвечающие за обмен информацией между нейронами, с помощью АПК на наносенсорах. Реализован комплексный психофизиологический подход к изучению эмоциональных реакций. Показана зависимость значений микропотенциалов по разным типам вопросов, зарегистрированных в реальном времени разработанным АПК, на реакцию гнева, страха, грусти и нейтральных вопросов.

Практическая ценность работы:

Разработана методика предварительных медицинских исследований психоэмоционального состояния на аппаратно-программном комплексе.

Проведены медицинские предварительные испытания психоэмоционального состояния в частотном диапазоне от 0 до 10000Гц с использованием наносенсоров путем регистрации электрокардиограммы, кожно-гальванической реакции, электроэнцефалограммы.

Личный вклад автора

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

1 Литературный обзор

1.1 История изучения эмоций

С древних времен считалось, что эмоция имеет физиологический компонент. В древнем Китае говорили, что эмоции находятся в физическом теле и что избыток эмоций может вызывать повреждение жизненной энергии человека и влиять на функцию жизненно важных органов [1]. В древней Греции, врач Гиппократ предположил, что тело состояло из четырех жидкостей, такие как: желтая желчь, черная желчь, мокрота и кровь [2]. Эти жидкости считались необходимыми для физиологии человека и отвечающие за здоровье, и что эмоции и поведение вызваны активностью или дисбалансом этих настроений. Избыток одной из жидкостей приведет к темпераменту холерика, меланхолика, флегматика или сангвиника, соответственно. Аристотель также имел физиологический взгляд на эмоции и рассматривал их как «страсти», которые можно было бы сравнить с физическим состоянием, такие как изменения аппетита [3]. Многие из этих идей по-прежнему пронизывают наше мышление и напрямую влияют на современных теоретиков эмоций, например, Ханс Айзенк цитировал идею темперамента как смесь «жидкостей» в качестве основного источника вдохновения для определения измерений личности, таких как невротизм и экстраверсия в методе факторного анализа [4].

В наше время первым теоретиком, предложившим физиологическую теорию эмоций, был Уильям Джеймс [5]. Джеймс рассматривал физический ответ как первичный для чувства эмоцию - мы чувствуем счастье, потому что мы смеемся или улыбаемся; мы чувствуем страх, потому что наши волосы встают дыбом и нашим рукам холодно; мы чувствуем печаль, когда мы плачем неудержимо. Джеймс полагал, что стимул сначала вызовет деятельность в вегетативной нервной системе, которая тогда создала бы эмоциональный ответ в мозгу. Примерно в то же время Карл Ланг предложил подобную теорию, поэтому взгляд на эмоции как существо, в основном физиологическая реакция, стала известна как теория эмоций Джеймса-Ланга. Уильям Джеймс был также

одним из первых исследователей, которые перечислили конкретные модели реакции, которые соответствовали определенным эмоциям, например, он описал гнев как «увеличенный приток крови к руке, учащенное сердцебиение, рычание и непроизвольное возбуждение нервной системы» и страх как «высокое состояние возбуждения, в котором у человека наблюдается снижение произвольной мышечной активности, большее количество непроизвольных мышечных сокращений и уменьшение кровообращения. Примерно в это же время Чарльз Дарвин также начал каталогизацию конкретных моделей наблюдаемой физиологической реакции у животных и людей. В частности, он изучил реакции страха и использовал разные ответы, чтобы помочь классифицировать разные виды. Он также размышлял о том, как эти повторяющиеся, идентифицируемые образцы физических выражений могли помочь выжить организму [6].

Описание ряда физиологических диаграмм, соответствующих уникальным эмоциональным состояниям Джеймса и Дарвина является теоретической основой для использования физиологического распознавания эмоций. Хотя описания Джеймса и Дарвина имеют смысл для людей, компьютерные алгоритмы нуждаются в более математически измеримых метриках для использования в качестве функций. В результате исследователь эмоциональных вычислений использует электронные датчики и цифровую запись устройства для расчета таких характеристик, как частота сердечных сокращений и показатели проводимости кожи для их классификации [7].

Следует также отметить, что все нюансы эмоций могут не отражать физиологические сигналы. Одним из величайших критиков теории эмоций Джеймса Ланга был невролог Уолтер Кэннон, который утверждал, что вегетативные диаграммы были слишком медленными и неспецифическими, чтобы быть уникальными для каждой эмоции и поэтому эмоции должны были быть в первую очередь когнитивным событием [8]. Кэннон был знаменит тем, что ввел термин «борьба или бегство», и, по его мнению, симпатическая нервная система просто подготовила организм к принятию какого-то действия,

а какое действие - «бороться» или «бегство» определились когнитивными процессами. По мнению Кэннона, организм всегда боролся с поддержанием гомеостаза и эмоций, такие как «дистресс» были пережиты, когда организм пытался восстановиться после нарушенного баланса, Кэннон считал, что физические реакции организма по возвращении к гомеостазу были слишком грубыми, чтобы быть самой эмоцией, и что любое чувство эмоционального «чувства», связанное с этими физическими изменениями, должно было быть главным образом когнитивным, иначе «гнев», «страх», и "волнение" должны "чувствовать" то же самое [8].

Психолог Стэнли Шехтер предложил компромисс между двумя мнениями, в котором говорится, что эмоция является одновременно когнитивной и физиологической реакцией в его «двухфакторной» теории эмоций [9]. В своих экспериментах Шехтер пытался искусственно создать физическое «состояние» эмоции в отсутствие фактического эмоционального расстройства путем инъекции субъектов с адреналином. Затем он попытался определить, может ли субъект с чисто физического изменения состояния правильно идентифицировать или «ощутить» эмоцию, как он представлял себе многое в теории Джеймса, где физический эффект «был» эмоцией. В целом он обнаружил, что испытуемые не могут четко идентифицировать эмоции в результате изменений физического состояния, которые он вызвал. В другом эксперименте он вводил некоторым субъектам эпинефрин, а затем подвергал их воздействию ситуаций, которые вызывали бы либо гнев, либо счастье. Он обнаружил, что испытуемые, которым давали адреналин, сообщали о чувстве «больше» обоих типов индуцированных эмоций: положительного и отрицательного. В заключение Шехтер определил, что физиология является частью эмоционального опыта, но эти эмоции были результатом двух факторов: физиологических изменений и когнитивной интерпретации этих изменений.

Хотя эксперименты Шехтера носят информативный характер, они не полностью объясняют сложный характер взаимодействий между когнитивными

и физиологическими реакциями в эмоциях. Одна критика заключается в том, что инъекция адреналина является слишком грубым физиологическим штрихом, чтобы вызвать особые эмоциональные чувства. В более поздней работе, например, психолог Роберт Зайонц показал, что, поставив мышцы лица в положение улыбки, они сообщили о чувстве счастья [10]. В конце концов, может оказаться, что интуиция Кэннона об активации АНС (автономная нервная система) слишком велика, чтобы отличить только нюансированные эмоции, может быть правдой и что более широкий спектр систем, таких как лицевые мышцы и нейрохимические реакции, следует рассматривать в рамках физиологических реакций, которые необходимо записывать, чтобы отличать эмоции.

Измерение физиологических сигналов является первым шагом к созданию системы, которая может автоматически распознавать физиологические паттерны, связанные с эмоциями. В самом широком смысле все телесные изменения можно рассматривать как физиологические сигналы, включая изменения в деятельности мозга, изменения в выражении лица, изменения вокальных образов и изменения в химии тела; Таким образом измеряя непрерывные физиологические сигналы, которые отражают деятельность автономной нервной системы, могут быть обнаружены с поверхности кожи. В частности, в этой главе рассматриваются различные методы измерения сердечной деятельности (частота сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма и объемное давление крови), особенности гальванической реакции кожи (в частности, проводимости кожи), электромиография поверхности (ЭМГ) и дыхания (через расширение грудной полости в отличие от газообмена).

1.2 Связь психоэмоционального состояния с электрофизиологией

Психоэмоциональное состояние — это форма психических состояний человека, которые контролируются различными эмоциональными состояниями. Эмоциональные проявления, которые возникают при реакции на действительность, нужны человеку, так как они отвечают за регулирование за

его самочувствием и функциональным состоянием. Недостаток эмоций приводит к снижению активности центральной нервной системы и может являться причиной снижения работоспособности. Чрезмерное влияние эмоциогенных факторов может вызвать состояние нервно-психического напряжения и срыв высшей нервной деятельности [11].

В организме, т.е. в центральной нервной системе человека есть нейроны, которые по своим окончаниям проводят нервные импульсы по всему организму, а мозг дает этому всеу оценку и управляет организмом. Клетки мозга включают нейроны (клетки, генерирующие и передающие нервные импульсы) и глиальные клетки, выполняющие важные дополнительные функции. Нейрон – это клетка, генерирующая и передающая нервные импульсы, она так же делится на возбуждающую, т.е. активирует разряды других нейронов и тормозную, т.е. останавливает возбуждение других нейронов.

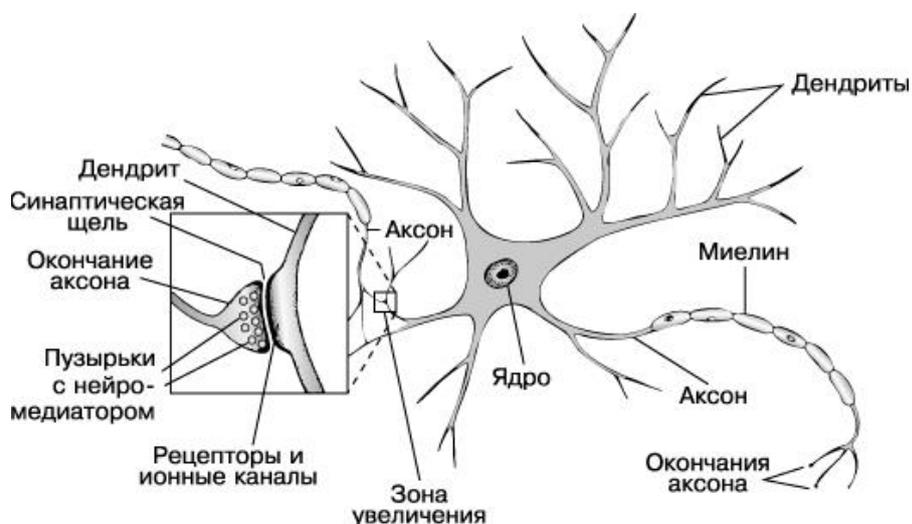


Рисунок 1- Клетка нейрона

Функции нервной системы сложны и многообразны и в первую очередь описываются взаимодействием между нейронами. Это взаимодействие можно представить набором различных сигналов, передаваемых в рамках взаимодействия нейронов с другими нейронами. Ионы генерируют электрический заряд, который движется по телу нейрона, тем самым генерируя и распространяя сигнал.

При возникновении стрессового состояния импульсы могут быть настолько сильными, что под их воздействием в нейронах и синапсах гиппокампа происходят аномальные изменения. Дендритные шипики, небольшие отростки, образующие синаптические соединения между нейронами, просто отмирают. Это приводит к возникновению дыр в нейронных сетях, что препятствует передаче импульсов. В итоге выжившие нейронные сети напоминают московские пробки в час пик – все необходимые импульсы просто не могут пробиться сквозь них, в результате чего часть информации теряется.

Регулярные всплески негативных эмоций в прямом смысле отупляют человека. Дело в том, что нормальная работа гиппокампа является необходимым условием усвоения и запоминания информации. И даже несколько кратковременных переживаний могут настолько сильно повредить нейроны и синапсы в этой области мозга, что восстанавливать их придется в течение многих недель или даже месяцев. [12].

Современные технологии позволяют зарегистрировать данный электрический заряд, который в свою очередь является электрофизиологическим показателем человека. В настоящее время существует множество методов, позволяющих зарегистрировать электрофизиологические показатели в различных частях тела человека.

Эти методы часто меняются в зависимости от степени, требуемой инвазивности и связаны с различиями в точности сигнала и вида функций, которые могут быть надежно извлечены из сигналов. Некоторые методы, более подходящие для мониторинга «в повседневной жизни», тогда как другие методы неудобны или чувствительны, и должны быть ограничены для использования в контролируемых условиях.

1.3 Методы регистрации электрофизиологических показателей

В инженерно-психологических и медико-биологических исследованиях, особенно при оценке уровня психоэмоционального состояния пациента, широко применяются электрофизиологические показатели человека.

Основными методами регистрации электрофизиологических показателей человека являются электрографические методы, такие как:

Электрокардиография (ЭКГ) - метод исследования деятельности сердца, основанный на регистрации и анализе электрической активности миокарда, которая распространяется по всему сердцу в течение сердечного цикла.

Электромиография (ЭМГ) – метод диагностики состояния нервно-мышечной системы. С помощью этого метода регистрируются электрические процессы в мышцах, происходит запись потенциалов действия мышечных волокон, которые заставляют ее сокращаться.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) - регистрация биоэлектрической активности головного мозга, отводимой как со скальпа, так и из глубоких структур мозга.

Электроокулография (ЭОГ) - метод регистрации движения глаз, потенциала сетчатки и глазных мышц.

Кожно-гальваническая реакция (КГР) – биоэлектрическая реакция, регистрируемая с поверхности кожи.

Эти методы позволяют регистрировать такие параметры, как возбуждение мышц, учащенное сердцебиение, отток крови от кожной поверхности человека, активность головного мозга, которые могут свидетельствовать о изменении эмоционального состояния человека.

1.3.1 Электрокардиограмма

Метод ЭКГ позволяет выявить зависимость работы сердца человека от степени его подверженности стрессу в данный момент, например, если человек взволнован, то его сердце стучит быстрее. Установленные на теле по особой схеме электроды, формирующие три основные отведения, улавливают разности потенциалов, возникающих в результате работы сердца на поверхности тела человека. На ЭКГ отражается усреднение всех векторов потенциалов действия, возникающих в определённый момент работы сердца. Электрокардиограмма представляет собой совокупность электрических потенциалов, генерируемых сердцем и захватываемых с поверхности груди или рук. Точки перегиба

сигнала временного напряжения указывают на различные поляризации сердца. Первой точкой перегиба является волна «P», указывающая на деполяризацию предсердий. Следующие три точки перегиба обозначаются «Q», «R» и «S», а треугольный комплекс, который они образуют, называется комплексом «QRS». Этот комплекс представляет собой желудочковую деполяризацию и доминирует большая волна «R». Конец, «T» и потенциально в некоторых случаях точка перегиба «U» указывает на реполяризацию желудочков [13]. Электрокардиограф имеет много применений в медицинском сообществе, но особенно интересен для исследователей, поскольку наиболее точное неинвазивное измерение частоты сердечных сокращений может быть найдено путем измерения расстояния между последовательными волнами «R», как показано на рисунке 2 (b). Расстояние между последовательными пиками R-волн - это интервал «R-R». Эта запись показывает подозрительный разрыв в временных интервалах R-R, возможно, из-за пропущенного фрагмента записывающим устройством или какой-либо другой ошибки. Такие выбросы могут иметь большое влияние на краткосрочные показатели сердечного ритма и частоты сердечных сокращений. [13].

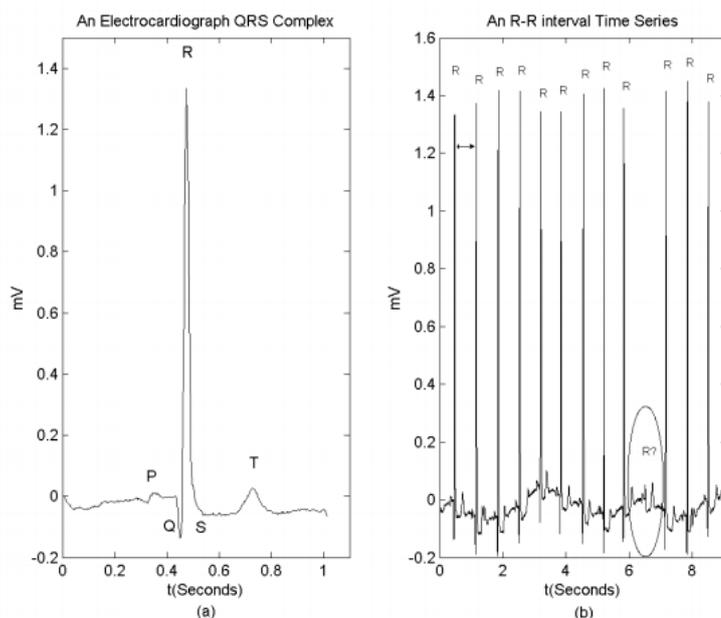


Рисунок 2 - (а) Пример волн P, Q, R, S и T в одном сердечном ударе, записанном с ЭКГ. (Б) Пример амбулаторных временных рядов ЭКГ [13].

Сердечная активность широко изучается медицинским сообществом. Сердце - это главная мышца, и его активность может быть легко измерена путем мониторинга электрических изменений на поверхности кожи или путем измерения импульсных сигналов в различных местах на теле. При исследовании эмоций, частота сердечных сокращений и вариабельность сердечного ритма использовались для измерения общей физической активности, а изменения сердечного ритма использовались для паники, гнева и благородства [14] [15].

1.3.1.1 Эффекты сердечного ритма

Биение сердца не является тонким событием. Когда сердце качает кровь, происходят крупные физиологические изменения. Процесс сердечного удара начинается, когда две верхние, более мелкие камеры сердца, предсердия, деполяризуются, перекачивая кровь в более крупные желудочки; Затем желудочки деполяризуются, перекачивая кровь в остальную часть тела. Сердцебиение контролируется собственным электрическим сигналом тела, и поляризация сердечных камер приводит к электрическим изменениям, которые могут быть обнаружены на поверхности кожи. Запись этих поверхностных электрических сигналов является электрокардиограммой, пример которой показан на рисунке 1. Биение сердца также вызывает выталкивание крови в периферические кровеносные сосуды, что приводит к их набуханию. Результатом этого эффекта является импульс, и пример следа импульсов показан на рисунке 3.

1.3.1.2 ЧСС и вариабельность сердечного ритма

Частота сердечных сокращений характеризует автономной нервной системы (АНС), поскольку она контролируется как симпатической, так и парасимпатической нервной системой. Симпатическая нервная система ускоряет сердечный ритм и может рассматриваться как часть АНС, связанная со «стрессом» или активацией. Парасимпатическая нервная система отвечает за восстановление сердечного ритма от симпатической активации (замедление

сердечного ритма) и может рассматриваться как система, отвечающая за «расслабление» или отдых и заживление.

Увеличение частоты сердечных сокращений указывает на общее увеличение активности симпатической нервной системы, а снижение частоты сердечных сокращений указывает на то, что парасимпатическая нервная система восстанавливает человека до состояния релаксации. Из периодов ускорения и замедления могут быть извлечены многие различные функции, например, средняя разница по сравнению с базовой линией, количество времени, затрачиваемого на ускорение или замедление, и величину или наклон ускорения, или замедления.

Изменчивость сердечного ритма (ИСР) также использовалась в качестве меры воздействия. Термин «вариабельность сердечного ритма» используется для описания ряда показателей, некоторые из которых рассчитаны во временной области, а другие - в частотной области. Показатель ИСР может быть таким же простым, как показатель стандартного отклонения продолжительности времени между последовательными сердечными сокращениями в определенном временном окне (также называемом «эпохой записи») [16]. Простые надежные метрики, подобные этой, часто лучше всего использовать с короткими временными окнами, так как количество информации, доступной в окне, ограничено. Другие показатели HRV включают вычисление разницы между максимальной и минимальной нормальными длинами R-R интервалов в ограниченном окне [17]. Процентные различия между последовательными нормальными интервалами R-R, превышающими 50 мс, и среднеквадратичной последовательной разницей [18].

Поскольку цифровые записывающие устройства и алгоритмы обработки сигналов стали более распространенными, краткосрочный спектральный анализ плотности сердечного ритма стал более популярным в качестве метода оценки вариабельности сердечного ритма. Поскольку известно, что парасимпатическая нервная система способна эффективно модулировать сердечный ритм на всех частотах от 0,04 до 0,5 Гц, тогда как симпатическая система модулирует

частоту сердечных сокращений со значительным усилением только ниже 0,1 Гц [17], относительная сила симпатического и парасимпатического влияния на ИСР может различаться в спектральной области. Это соотношение часто называют симпато-вагусным балансом. Существует много разных способов рассчитать этот баланс, каждый с различными достоинствами. Более конкретные метрики, например, более узкие и более низкие полосы частот, как правило, требуют более длительных интервалов времени сердечных сокращений, чтобы получить подробную информацию, необходимую для заполнения конкретных полос с достаточным количеством точек данных, чтобы иметь смысл.

Одно простое вычисление симпато-вагусного отношения заключается в том, чтобы брать энергию в полосе низких частот (0,04-0,1 Гц) и делить на полную энергию в полосе (0,04-0,5 Гц), которая дает отношение симпатической активности ко всему сердечному ритму. Другие исследователи предлагают сравнить низкочастотную энергию с различными комбинациями энергии низких, средних и высоких частот [18] [19]. Другим спектральным признаком, который представляет интерес является пик 0,1 Гц спектра ЧСС, связанный с симпатическим тоном и умственным стрессом [20].

Каждая метрика ИСР отличается устойчивостью к шуму, выбросам и нерегулярным биениям и точностью, с которой она может отличать симпатическое или парасимпатическое действие. В дополнение к выбору соответствующей метрики, исследователи должны также выбрать подходящее временное окно для ряда сердечного ритма, по которому он или она хочет вычислить метрику. Выбор показателя будет в значительной степени определяться тем, какие переменные представляют интерес, и качеством временных рядов сердечного ритма, которые могут быть получены из сердечного сигнала. В общем, временное окно продолжительностью пять минут или более рекомендуют; принимая пульс покоя 60 ударов в минуту, из которого можно оценить статистику изменчивости. Как и во всей статистике, в целом, чем больше примеров, тем лучше оценка. В частности, при

вариабельности сердечного ритма следует учитывать, что частота сердечных сокращений изменяется естественным образом по циклу дыхания, ускоряется после вдыхания и замедляется после выдоха. При использовании окна с более длительным временем, можно включить в оценку несколько образцов сердечного ритма из всех частей дыхательного цикла.

Недостаток использования ЭКГ для измерения частоты сердечных сокращений состоит в том, что измерение требует контакта с электродом, что может быть неудобно для людей с увеличенным волосатым покровом. Для сигнала лучшего качества, на электроды наносится гель, и электроды внедряются в клейкий пластырь, который защищает контакт электрод-кожу. Альтернатива использованию геля - полагаться на естественный пот тела, чтобы он действовал как проводящий слой между кожей и электродом; Однако это менее надежно, чем гель, и дает сигнал низкого качества. Давление также можно использовать для удержания электродов вместо адгезивов, но это также менее надежно, а в некоторых случаях даже более неудобно для пользователя.

1.3.2 Фотоплетизмография

Датчик фотоплетизмографа (ФПГ) может использоваться для измерения импульса объема крови в периферических сосудах в качестве альтернативы ЭКГ, например, пульсоксиметр является датчиком ФПГ, который также измеряет оксигенацию крови. С каждым биением кровь прокачивается через кровеносные сосуды, что приводит к заполнению сосудов. Это изменение наиболее выражено в периферических сосудах, таких как пальцы и в мочке уха. Помещая устройство, излучающее свет вблизи одного из этих периферийных сосудов, количество крови в сосуде можно контролировать, глядя на количество света, отраженного судном с течением времени с помощью датчика ФПГ. Когда кровь наполняет сосуд, больше света отражается обратно на датчик. Чем больше крови присутствует в сосуде, тем выше показатель отражения. Серия сердечных сокращений приведет к диаграмме отражения света, аналогичной той, что показана на рисунке 2. Обнаружив пики и долины этого сигнала, можно извлечь временной ряд сердечного ритма. В некоторых

случаях, если субъект неподвижен, также можно получить меру сужения сосудов (сужение сосудов) периферических кровеносных сосудов, посмотрев на огибающую сигнала. Вазоконстрикция является защитной реакцией, в которой сужаются периферические кровеносные сосуды. Это явление усиливается в ответ на боль, голод, страх и ярость и уменьшается в ответ на спокойную релаксацию, а также может быть ценным сигналом, указывающим на воздействие [21]. На рисунке 3 показан пример считывания коэффициента отражения ФПГ импульсного сигнала объема крови с увеличением вазоконстрикции.

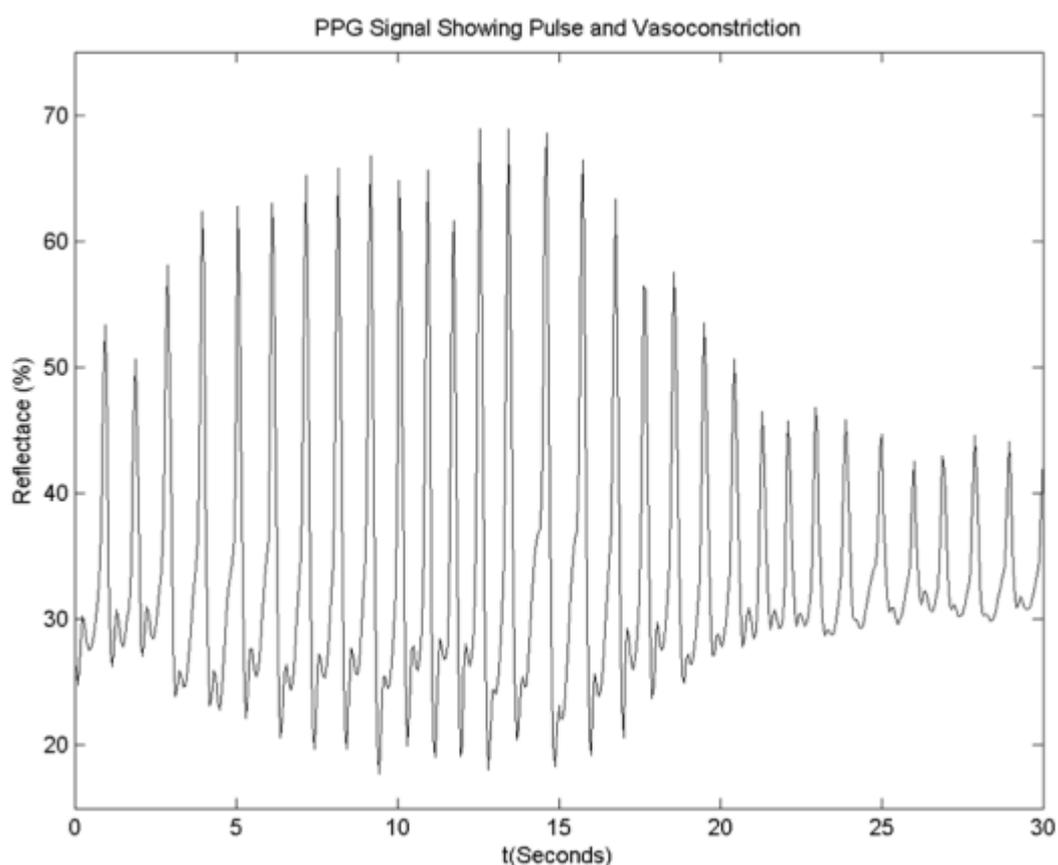


Рисунок 3 - Пример импульса объема крови, регистрируемого датчиком ФПГ, показывающий сужение сосуда, что видно из сужения огибающей сигнала [21].

Датчик ФПГ можно размещать в любом месте на теле, где капилляры находятся близко к поверхности кожи, но периферийные места, такие как пальцы, рекомендуются для изучения эмоциональных реакций [22]. Датчики ФПГ не требуют гелей или клея. Снимаемый сигнал очень чувствителен к изменениям в размещении и артефактам движения. Например, если датчик

освещенности перемещается относительно кровеносного сосуда, огибающая сигнала изменится или сигнал может быть полностью потерян. Это может произойти, если датчик проскальзывает с места расположения ушного вкладыша, если датчик попал на него во время обычной повседневной деятельности, используя место для пальцев. При размещении на пальцах, следует отметить, что сигнал будет также сильно ослабляться, если владелец поднимает свою руку вверх, так как приток крови к концу будет уменьшен.

1.3.3 Изменение кожной проводимости

Электрическая активность кожи (ЭАК), или кожно-гальваническая реакция (КГР), измеряемая с поверхности ладони, широко используется в качестве индикатора эмоциональных состояний человека. По величине КГР можно определить уровень эмоционального напряжения человека (причем установлен вид математической связи между силой эмоции и амплитудой КГР). В то же время по КГР практически невозможно установить качественную характеристику переживаемой эмоции, т.е. определить, какую эмоцию испытывает человек. КГР не может служить показателем однозначного определения специфичности эмоций, а является индикатором неспецифической активации [23].

Кожная проводимость используется для косвенного измерения количества пота в потовых железах человека, поскольку кожа обычно является изолятором, и ее проводимость изменяется в ответ на ионный пот, заполняющий потовые железы. Активность потовых желез является показателем активации симпатической нервной системы, и КГР является надежным неинвазивным способом измерения этой активации [24]. Впервые КГР был использован Карлом Юнгом для определения «отрицательных комплексов» в тестах словесных ассоциаций [25] и является ключевым компонентом тестов «детектор лжи»; Тесты, которые фактически измеряют эмоциональный стресс, связанный с ложью, а не с неверными фактами. В лабораторных исследованиях по измерению аффекта было обнаружено, что чувствительность к проводимости кожи линейно изменяется с эмоциональным

аспектом возбуждения, и измерения проводимости кожи были использованы для разграничения таких состояний, как гнев и страх [26], а также между конфликтными состояниями и конфликтами [20]. Кожная проводимость также использовалась в качестве меры стресса в исследованиях по упреждающей тревоге и стрессу во время выполнения задания [27].

Кожная проводимость может быть измерена в любом месте тела, однако наиболее эмоционально реактивные потовые железы сосредоточены на ладонях рук и на подошвах ног [27]. В лабораторных исследованиях наиболее частое размещение электродов находится на нижнем сегменте среднего и указательного пальцев доминирующей руки. Гель обычно используется между кожей и электродами для обеспечения хорошего контакта и лучшего качества сигнала. Для измерения проводимости небольшой ток вводится в кожу и измеряется изменение напряжения [28]. Постоянно измеряя изменение напряжения на электродах, можно измерить непрерывно изменяющуюся проводимость кожи.

Многие амбулаторные датчики проводимости кожи измеряют проводимость на запястье, руке или ноге. Некоторые исследовательские системы также включали измерение проводимости кожи через одежду или украшения [29].

1.3.4 Электроэнцефалограмма

ЭЭГ позволяет узнать о состоянии и деятельности мозга и также незаменима для контроля за состоянием центральной нервной системы. При анализе ЭЭГ основными характеристиками работы мозга являются частота, амплитуда, форма волны, ее топография и т.д. Вместе эти характеристики образуют ритмы, каждый из которых соответствует некоторому определённому состоянию мозга.

Головной мозг человека – центральный орган нервной системы, который координирует и регулирует жизненные функции организма и контролирует его поведение. Все наши чувства, ощущения, мысли, движения и желания непосредственно связаны с работой мозга, и если он перестает

функционировать, то человек переходит в вегетативное состояние, т.е. он утрачивает способность к каким-либо ощущениям, реакциям на внешние воздействия или действия. В состав центральной нервной системы (ЦНС) входит головной и спинной мозг. ЦНС связана с различными частями тела периферическими нервами - чувствительными и двигательными.

Головной мозг разделен на три основные части: мозжечок, ствол мозга и передний мозг. В переднем мозгу выделяют большие полушария, таламус, гипофиз (важнейшая нейроэндокринная железа) и гипоталамус. Ствол мозга состоит из моста (варолиева моста), продолговатого мозга, и среднего мозга. Самая большая часть мозга, это большие полушария, которые составляют 70% его веса. В норме полушария симметричны. Они соединены между собой мозолистым телом (массивным пучком аксонов), который обеспечивает обмен информацией [30]. Основные части головного мозга представлены на рисунке 4.

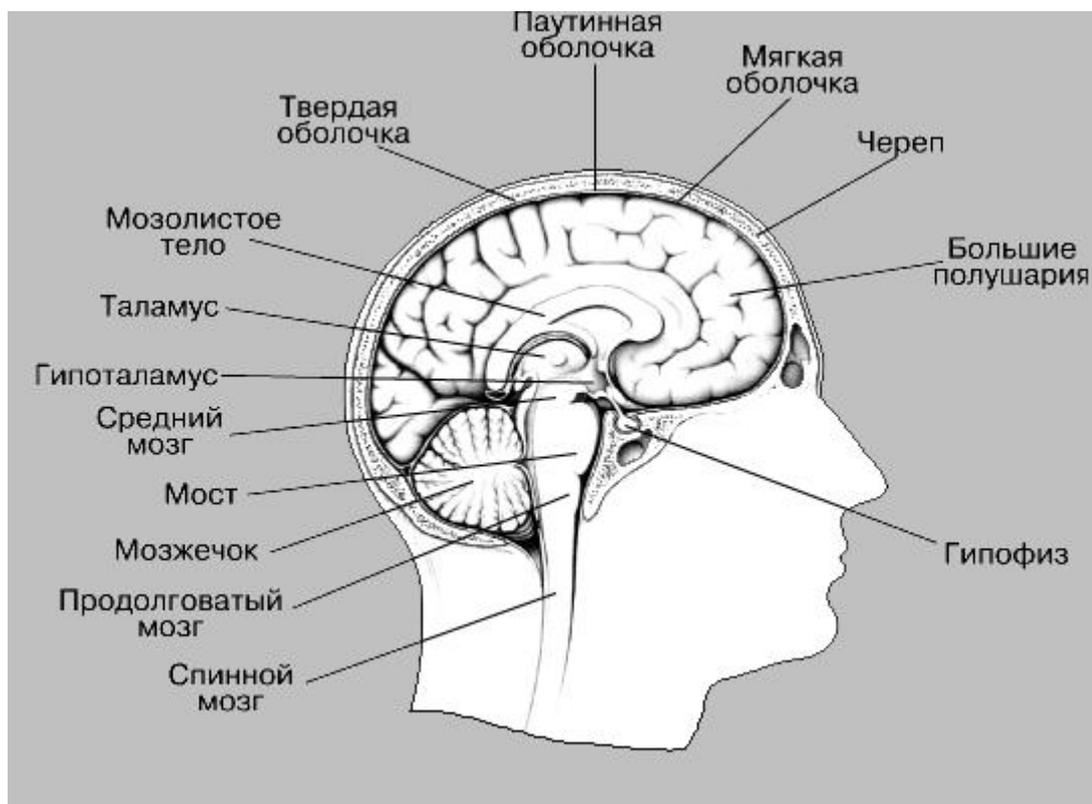


Рисунок 4 - Основные части головного мозга

Впервые сигналы электрической активности головного мозга человека были зарегистрированы в 1929 году австрийским психиатром Гансом Бергером

с помощью игольчатых скальповых электродов и с этого времени постоянно ведется интенсивное изучение электроэнцефалографических сигналов. В основе формирования электрической активности головного мозга лежит способность нейронов реагировать на внешние воздействия, что сопровождается электрическими явлениями. Рассмотрим вначале современные представления об электрофизиологических процессах в нейронах.

Нейрон представляет собой основной элемент центральной нервной системы. Типичная клетка состоит из трех частей – дендритного дерева, тела нейрона (сомы) и аксона. Дендритное дерево – это разветвленная структура, обладающая рецептивной, воспринимающей способностью. Другие нейроны своими аксонами через эту область формируют связи. Аксон – это выходная часть нейрона, он передает информацию другим нейронам через синапсы дендритного дерева. Снаружи все части нейрона покрыты мембраной, которая окружает протоплазму. В условиях покоя протоплазма заряжена отрицательно по отношению к внешней среде, трансмембранный потенциал покоя составляет приблизительно -70мВ . Как только за счет внешних воздействий трансмембранный потенциал достигает -40мВ , формируется потенциал действия, при этом возникает короткий импульс, во время которого протоплазма приобретает положительный (около $+20\text{мВ}$) заряд, который затем возвращается к исходному уровню -70мВ . Продолжительность потенциала действия около 1мс . Очень важно то, что с помощью потенциала действия осуществляется информационный обмен между отдельными нейронами. Потенциал действия по аксону передается дендритному дереву других нейронов, проникает в тело нейрона, где происходит суммация разрядов от других нейронов и контролируются разряды в аксоне. Поступление внешнего воздействия по аксону к дендритному синапсу приводит к изменению потенциала мембраны нейрона (градуальная реакция), появляется так называемый постсинаптический потенциал (ПСП). Существуют два вида постсинаптических потенциалов – тормозящие (ТПСП) и возбуждающие (ВПСП). Тормозящие постсинаптические потенциалы увеличивают порог

возбуждения нейрона, потенциал протоплазмы становится более отрицательным (гиперполяризация) и требуется более сильное внешнее воздействие для разряда в аксоне. Возбуждающие постсинаптические потенциалы, наоборот, уменьшают степень поляризации мембраны (деполяризация) и уменьшают порог возбудимости. Указанные градуальные реакции возникают намного чаще, нежели разряды в аксоне – в среднем градуальные реакции возникают в 100-1000 раз чаще, чем спайки аксона. Это легко объяснимо – количество дендритов одного нейрона около десяти, а аксон один. Так как на поверхности дендритов может заканчиваться несколько сотен аксонов, то общее количество градуальных реакций должно быть намного больше по сравнению с разрядами аксона. В результате разряд аксона, или спайк, представляет собой кратковременное и довольно редкое событие по сравнению с градуальными реакциями. Изменение постсинаптических потенциалов происходит относительно медленно, но непрерывно, без резких скачков. В результате интегральная активность головного мозга в наибольшей степени отражает суммарные градуальные реакции множества нейронов.

В современной нейрофизиологии считается, что электроэнцефалограмма (ЭЭГ) является результатом нелинейного сложения электрических потенциалов множества нейронов, функционирующих относительно независимо друг от друга. Ритмическая активность, появляющаяся в некоторых состояниях, вызвана синхронизацией работы больших нейронных групп. Синхронизация на нейронном уровне проявляется в виде одновременных, когерентных реакций на внешнюю импульсацию. Таким образом, суммарная электроэнцефалограмма отражает функциональную активность всего головного мозга.

Изучение ЭЭГ является обширной темой и широко изучается в области нейронауки. В последнее время наблюдается расширение литературных данных [31], асимметрии в префронтальной коре головного мозга (ПКГ), по-видимому, отражают то, как обрабатываются различные эмоции, такие как гнев, и как ПКГ может действовать как модератор или посредник между физиологическим ответом и когнитивной обработкой.

С точки зрения физиологической обработки сигналов большинство исследователей склонны тяготеть к ЭЭГ, потому что это один из неинвазивных и доступных инструментов для получения сигналов мозговой активности, даже если другие метрики, такие как функциональная магнитно-резонансная томография (ФМРТ), являются намного более точными, полная электроэнцефалограмма включает более 128 электродов; однако в практике биологической обратной связи используются более простые метрики, использующие два или четыре канала [32].

1.3.4.1 Ритмы ЭЭГ у человека

По частоте и амплитудным характеристикам выделяют следующие ритмы ЭЭГ (рисунок 5, рисунок 6):

- альфа-ритм (8-13 Гц; 30-150 мкВ) - основной ритм ЭЭГ, преобладающий в состоянии покоя. Он хорошо выражен в задних отделах (затылочно-теменных) в условиях покоя, в темноте, при закрытых глазах. Частота альфа-ритма длительное время остается постоянной и только к старости снижается до нижних границ нормы. У 15% здоровых людей альфа-ритм отсутствует. Альфа-ритм регистрируется преимущественно в затылочных, затылочно-теменных, затылочно-височных, затылочно-теменно-височных областях мозга. В затылочных областях его амплитуда достигает наибольшей величины, с декрементом уменьшаясь к передним отделам. Во всех областях альфа-ритм имеет одну и ту же частоту, и постоянные фазовые соотношения. В доминантном полушарии альфа-ритм может быть ниже по амплитуде на 10-15 мкВ. Амплитуда альфа-волн испытывает модуляцию, в результате чего альфа-волны собираются в своеобразные веретена длительностью от 0,5 до 5 с, формируя характерный (модулированный) внешний вид альфа-ритма. Альфа-ритм - своеобразная функциональная характеристика состояния коры мозга. При любом активировании или угнетении мозга (афферентные раздражения, умственное напряжение, волнение, сон, наркоз и др.) альфа-ритм одновременно в симметричных областях исчезает или уменьшается по амплитуде (десинхронизируется, блокируется). По окончании действия раздражителей он

вновь восстанавливается. Степень снижения этой ЭЭГ-реакции характеризует степень реактивности мозга. При патологии альфа-ритм значительно изменяется по всем своим характеристикам: частота его снижается, амплитуда может, как возрастать, так и уменьшаться, вершины волн заостряются, сглаживаются региональные различия альфа-ритма, снижается реактивность. В пораженном полушарии альфа-ритм изменен в большей степени. При начальной стадии развития опухоли и других процессах альфа-ритм, отражая явления раздражения мозговой ткани, в пораженном полушарии может иметь более высокую амплитуду при сниженной частоте и ослабленной реактивности.

- бета-ритм (14-30 Гц, 10-30 мкВ) более выражен в передних отделах (фронтальные и центральные области). Появляется при интеллектуальной активности мозга, например, при решении задач, а также при фото- и фоностимуляции. Нервное напряжение и беспокойство приводят к уменьшению альфа-ритма и появлению бета-ритма. При патологии изменению подвергаются все параметры бета-ритма: частота, амплитуда, пространственное расположение, реакции на раздражители.

- гамма-ритм (30-50 Гц, до 10 мкВ) в ряде случаев частота достигает 120 Гц, в основном, регистрируется в передних отделах мозга. Они появляются при чрезмерном эмоциональном возбуждении, при сенсорной активации коры больших полушарий.

- тета-ритм (4-7 Гц, 100-150 мкВ) в основном регистрируется в теменной и височной областях. Тета-активность наблюдается при засыпании. Односторонний тета-ритм указывает на наличие очагового коркового поражения. В ЭЭГ здорового человека низкоамплитудный тета-ритм (25-40 мкВ) появляется в центральных областях мозга с возрастом и при эмоциональных напряжениях. Если амплитуда тета-ритма превосходит 40 мкВ, то это уже патологический тета-ритм. Он отражает вовлечение в патологический процесс, видимо, глубоких отделов мозга. Амплитуда его при патологических состояниях может достигать до 300 мкВ и выше. У взрослого человека в состоянии бодрствования признаком патологии следует считать: 1)

высокое содержание симметричных тета-волн; 2) асимметричные тета-волны; 3) пароксизмальные тета-волны.

Вспышки тета-ритма и дельта-ритмов указывают на локализацию патологического процесса в подкорковых и стволовых структурах мозга.

- дельта-ритм (0,5-3 Гц, 150-200 мкВ) в основном у взрослых регистрируется в затылочной области при глубоком сне или при наркозе. Его появление указывает на снижение тонуса коры. Локальное появление дельта-ритма у взрослого в состоянии бодрствования указывает на наличие очагового коркового поражения. В состоянии бодрствования встречаются только единичные дельта-колебания с низкой амплитудой (не более 20 мкВ), преимущественно в височных и центральных областях и в возрасте 40-50 лет. Низкоамплитудный дельта-ритм (до 20-30 мкВ) у взрослого человека свидетельствует о снижении уровня функциональной активности мозга; очаговое или генерализованное появление медленного, особенно высокоамплитудного, ритма является патологией. Максимальная амплитуда его регистрируется на границе очага. Это место называют дельта-фокусом [7].

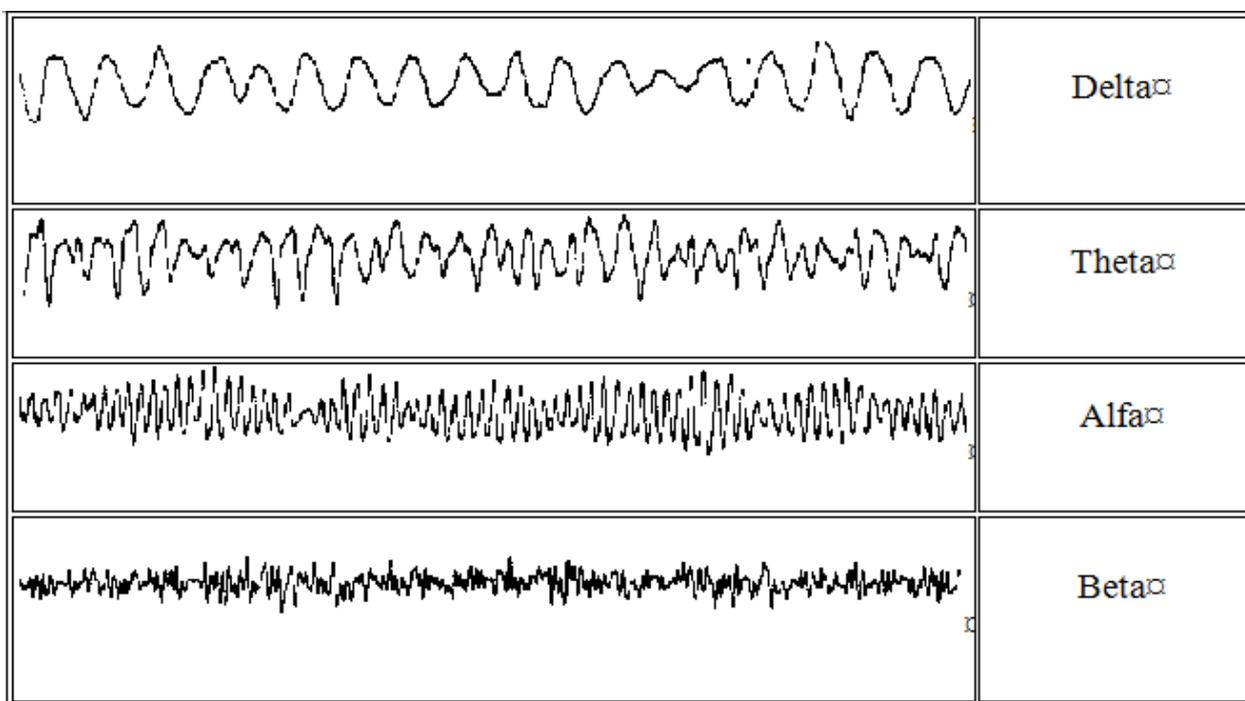


Рисунок 5 - Основные виды ритмов электроэнцефалографии.

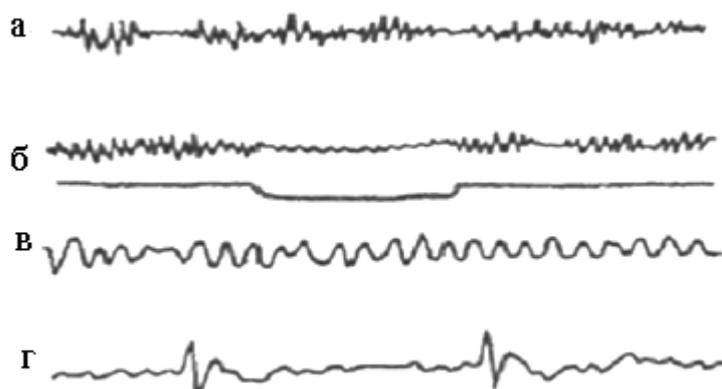


Рисунок 6 - Ритмы ЭЭГ у человека: а - альфа-ритм; б - бета-ритм, реакция десинхронизации ЭЭГ (нижняя кривая - отметка акустического раздражения); в - дельта-ритм; г - судорожные пиковые разряды у больного эпилепсией.

1.3.4.2 Система регистрации ЭЭГ (10-20%)

ЭЭГ позволяет узнать о состоянии и деятельности мозга и также незаменима для контроля за состоянием центральной нервной системы. При анализе ЭЭГ основными характеристиками работы мозга являются частота, амплитуда, форма волны, ее топография и т.д. Вместе эти характеристики образуют ритмы, каждый из которых соответствует некоторому определённому состоянию мозга: например, бета-ритм тесно связан с эмоциональным и умственным напряжением. Важное значение при регистрации ЭЭГ имеет расположение электродов, при этом электрическая активность, одновременно регистрируемая с различных точек головы, может сильно различаться. Существуют специальные электроды для съема электроэнцефалограммы – ЭЭГ электроды. В данной работе для съема информации будут использованы медицинские наносенсоры для электроэнцефалографии. Данные наносенсоры разработаны в Институте Неразрушающего Контроля ТПУ, в лаборатории медицинского приборостроения 63 и имеют на порядок более высокую стабильность электродного потенциала, низкие контактные и поляризационные потенциалы, более низкое напряжение шума и сопротивление, чем другие известные электроды.

В электроэнцефалографии используют международную систему отведений «10-20». Точки, по которым располагают электроды в системе «10-20», устанавливают следующим образом, как показано на рисунке 5. По саггитальной линии измеряют расстояние от nasion доinion и принимают его за 100%. В 10% этого расстояния от nasion иinion устанавливают соответственно затылочный электрод (О), саггитальный (Fp) и нижний лобный электроды. На равных расстояниях, составляющих 20% от расстоянияinion-nasion, располагают остальные саггитальные электроды (F, Cz и P). Расположение второй основной линии находится между двумя слуховыми проходами через vertex (макушку). Электроды на линии (C3, Cz, C4) располагаются на равных расстояниях, составляющих 20% длины биаурикулярной линии, нижние височные электроды (T3, T4) располагают соответственно в 10% этого расстояния над слуховыми проходами. Остальные электроды (P3, P4, T5, T6, F3, F4, F7, F8, Fp1, Fp2) располагают по линии отinion к nasion через точки T3, C3, C4, T4. Электроды, обозначаемые соответственно A1 и A2 помещают на мочки ушей. Буквенные символы обозначают основные области и ориентированы на голове: О – затылочная область, P – теменная область, С – центральная область, F – лобная область, А – ушной. Четные цифровые индексы соответствуют электродам над правым, а нечетные над левым полушарием мозга.

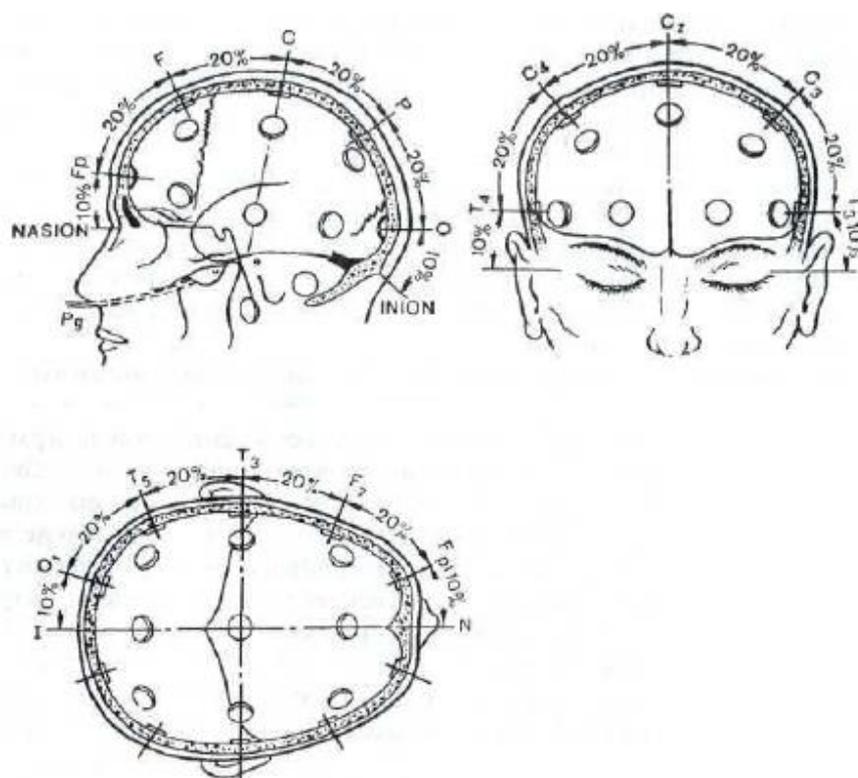


Рисунок 7 - международная система отведений «10-20%»

К точкам, биопотенциалы которых используются для снятия электроэнцефалограмм, подключают электроды. Эти электроды прикладывают к поверхности тканей, покрывающих мозг (кость, кожа, мышцы и пр.), либо непосредственно к поверхности мозга, либо вводят в его глубинные отделы. В соответствии с системой отведений 10-20% на голове крепятся электроды для съема информации.

В электроэнцефалографии, как и в электрокардиографии, применяют монополярные отведения I, II, III и т. д. (рисунок 8, а), которые формируются между исследуемой точкой мозга и индифферентной точкой, которой чаще всего служит мочка уха, реже — переносица. Монополярные отведения I, II, III и т. д. (рисунок 6, в) формируются также с использованием средней или «нейтральной точки». Как видно из рисунка 6, б, в этом случае все электроды, используемые в исследовании, объединяются через одинаковые резисторы (сопротивлением порядка 250 кОм), а их общая точка служит нейтральным электродом. Для реализации монополярных отведений по схеме, показанной на рисунке 6, б, обычно используется не менее 10—12 электродов. Монополярные отведения применяют для получения информации о колебании биопотенциала

в выбранной для исследования точке. Биполярные отведения I, II и т. д. (рисунок 6, в) формируются между двумя точками мозга. Такие отведения обеспечивают большую точность локализации очагов поражений мозга.

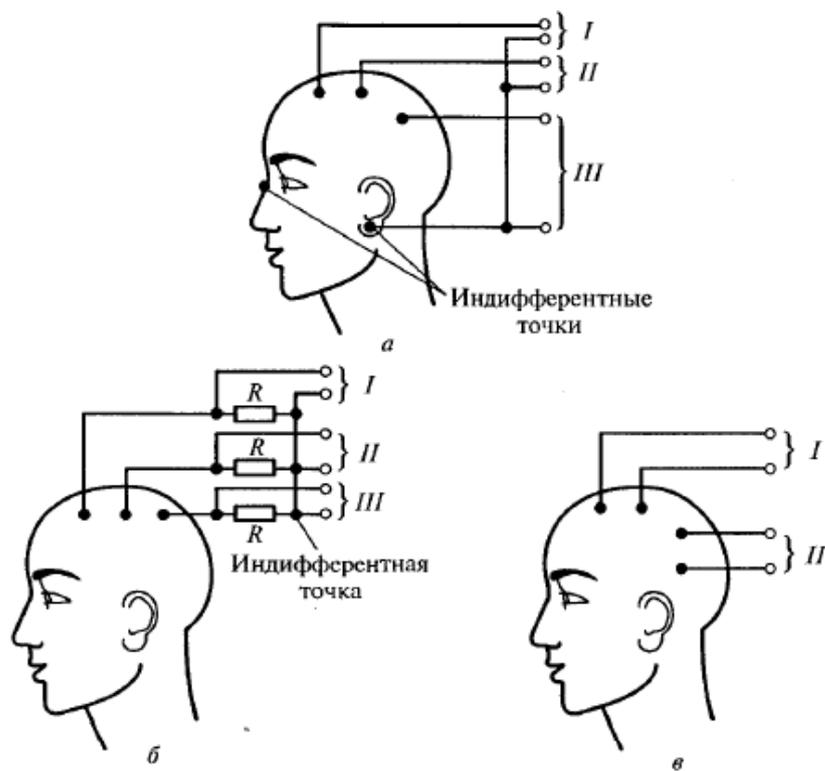


Рисунок 8 - Монополярные (а, б) и биполярные отведения (в)

Для отведения биосигналов с поверхности тканей применяют дисковые, проволочные, кольцеобразные электроды. В местах наложения электродов раздвигают волосы и обезжиривают кожу смесью спирта с эфиром, затем кожу увлажняют раствором соды и покрывают специальной электропроводящей пастой. Электроды устанавливают на голове испытуемого с помощью специальных шлемов-сеток (рисунок 9), изготовленных из эластичных резиновых тяжей, натяжение которых регулируется, что обеспечивает плотное прилегание электродов к голове пациента. [33]



Рисунок 9 - ЭЭГ шлем.

Было показано, что в лабораторных экспериментах полная ЭЭГ различает положительную и отрицательную эмоциональную валентность, и различные уровни пробуждения [33]. ЭЭГ может также использоваться для определения ориентировочного ответа путем обнаружения «альфа-блокировки». В этом явлении альфа-волны (8-13) Гц гаснут и бета-волны (14-26) Гц становятся доминирующими, когда человек испытывает поразительное событие. [34]

Раньше ЭЭГ была менее предпочтительной в качестве меры обнаружения эмоций, потому что полная ЭЭГ была сложной как для применения, так и для интерпретации, а уменьшенные наборы электродов считались ненадежными. ЭЭГ также реагирует на изменения света и звука, и она чувствительна как к движению, так и к мышечной активности, поэтому вне контролируемых лабораторных условий трудно интерпретируется.

1.3.5 Электромиография

Методом ЭМГ определяется уровень стресса в зависимости от уровня напряженности мышц, характеризующаяся изменением электрических потенциалов мышечных волокон. Электрический импульс проходит от центра к каждому концу мышечного волокна при напряжении, и получается, что электрический ток проводится на поверхности через нормально поляризованную область мышечной мембраны (сарколеммы) по направлению к деполяризованной ее зоне. Регистрирующий электрод вначале приобретает слегка положительный заряд по отношению к индифферентному электроду.

Когда зона деполяризации движется под регистрирующим электродом, то на электромиограмме появляется негативный зубец. По мере того как активная зона мышцы удаляется от электрода, мембрана под ним постепенно реполяризуется. В результате записывается трехфазный потенциал действия.

В психофизиологических исследованиях ЭМГ используется для изучения активности мышц, например, ЭМГ использовалась на лицевых мышцах для изучения выражения лица [35], на теле для исследования эмоциональных жестов, как индикатор эмоциональной валентности [33] и эмоционального возбуждения [24]. ЭМГ может использоваться в качестве переносимой замены для аффективных изменений, которые часто обычно обнаруживаются компьютерным зрением от камеры, которая смотрит на предмет. Основная трудность заключается в том, что электроды ЭМГ нуждаются как в адгезивах, так и в гелях при нормальном использовании.

Подобно ЭКГ и ЭЭГ, ЭМГ работает, обнаруживая электрические сигналы на поверхности кожи. В типичной конфигурации для этого измерения используются три электрода, два из которых размещены вдоль оси мускула, представляющего интерес, и третьего электрода, расположенного вне оси, чтобы действовать в качестве заземления. Сигнал ЭМГ на самом деле является очень высокочастотным сигналом, но в большинстве распространенных применений сигнал фильтруется по нижнему пределу, чтобы отражать суммарную мышечную активность.

1.3.6 Другие факторы, влияющие на эмоции

Эмоция не является единственным фактором, влияющим на частоту сердечных сокращений и вариабельность сердечного ритма, и их также необходимо принимать во внимание при интерпретации характеристик сердечного ритма. Другие факторы, влияющие на частоту сердечных сокращений, включают возраст, позу, уровень физического кондиционирования и частоту дыхания. С увеличением возраста вариабельность сердечного ритма снижается. Например, у младенцев наблюдается высокая симпатическая активность, но это быстро уменьшается в возрасте от 5 до 10 лет [36].

Нефизиологический фактор, который необходимо учитывать, также является качеством сигнала частоты сердечных сокращений. Многие факторы могут повлиять на то, насколько хорошо измеренная частота сердечных сокращений действительно отражает истинную частоту сердечных сокращений. Одним из факторов является метод измерения ЭКГ, который может давать гораздо более точную мгновенную частоту сердечных сокращений и является предпочтительным вариантом расчета variability сердечного ритма. Резкие R-волны ЭКГ дают гораздо более четкую картину, когда сердце бьется, чем более мягкие наклоны сигнала ФПГ. Альтернативно, могут быть нерегулярные «эктопические» удары сердца, которые могут сбить некоторые алгоритмы. Когда бит воспринимается как «пропущенный», некоторые алгоритмы могут разделить длинный интервал пополам, что может ввести артефакты в метрику variability сердечного ритма.

Наконец, при оценке спектральной статистики ИСР, специалист должен знать, что этот метод предполагает, что статистика временного ряда сердечного ритма, по которому спектр мощности является стационарным. Это предположение, скорее всего, справедливо для отдыхающих пациентов в больницах, чем для активных субъектов, занимающихся повседневной деятельностью. Обычно предполагается, что более длинные окна будут давать более точные оценки ИСР, поскольку в каждом спектральном анализе будет больше точек данных, однако это справедливо только в том случае, если предположение о стационарности не нарушено.

1.3.6.1 Кровяное давление

Артериальное давление используется в качестве показателя общего состояния здоровья и общего эмоционального стресса. В исследованиях эмоций было установлено, что артериальное давление коррелирует с увеличением эмоционального стресса и с подавлением эмоциональных реакций [37]. Главные проблемы с артериальным давлением состоят в том, что его трудно непрерывно измерять, а само измерение требует сжимания кровеносного сосуда для измерения давления, что может вызвать дискомфорт у пользователя.

Непрерывные амбулаторные системы контроля артериального давления используются в медицинской практике [38], но их можно воспринимать как громоздкие. Существуют меньшие, более портативные системы, которые измеряют артериальное давление [39], но они могут наносить ущерб этим более мелким сосудам с долгосрочным использованием.

1.3.6.2 Изменение дыхания

Дыхание - интересный физиологический сигнал, который следует учитывать при исследовании эмоций; И как сигнал в своем собственном праве, и как сигнал, который следует учитывать в сочетании с другими мерами, такими как сердечная деятельность, из-за сильного влияния дыхания на сердечный ритм. Дыхание наиболее точно регистрируется путем измерения газообмена легких; Однако этот метод является чрезмерно громоздким и препятствует естественным действиям. Из-за этого, вместо этого часто регистрируется приблизительная мера дыхательной активности, такая как расширение грудной клетки. Расширение полости грудной клетки может быть измерено с помощью ленточного датчика, который включает тензодатчик, датчик Холла или емкостный датчик.

Физическая активность и эмоциональное возбуждение вызывают более быстрое и глубокое дыхание, тогда как спокойный отдых и расслабление, приводят к более медленному дыханию [40]. Внезапные, интенсивные или пугающие раздражения могут вызывать кратковременное прекращение дыхания, а отрицательные эмоции вызывают нарушение ритма дыхания [40]. Сигнал дыхания может также использоваться для оценки физических действий, таких как разговор, смех, чихание и кашель [29].

1.4 Выбор метода исследования

Все выше изложенные методы регистрации электрофизиологических показателей, имеют следующие недостатки:

1. эмоциональное реагирование изменяется гораздо быстрее показателей работы вегетативной нервной системы (ВНС);

2. тесная взаимосвязь с функциональным состоянием может неспецифично повлиять по отношению к эмоциям;

3. изменение к предъявляемым стимулам и задачам является нестандартным;

4. подвержены значительному числу факторов, в том числе метаболическим.

По этой причине, значительное число ученых выбирают ЭЭГ основным методом в исследовании эмоций, так как данный метод лишен вышеперечисленных недостатков.

В работах, направленных на исследование эмоций и выделения показателя переживаемых эмоций в ЭЭГ, используют два основных подхода:

Первый подход основывается на анализе изменений компонентов вызванных потенциалов (ВП) при предъявлении стимулов. Результаты исследования определялись условиями проведения, а не факторами эмоциональной реакции.

Второй подход основывается на анализе когерентных и спектральных характеристик ЭЭГ при выполнении определенных задач испытуемыми, связанные с эмоциями.

Накопленный материал, касающийся изменения ЭЭГ человека при реакции на эмоцию, по полученным данным часто трудно интерпретировать, так как необходимо отличить эти изменения от сходных, возникающие при не эмоциональных нагрузках.

Как подчеркивают многие авторы – физиологи и общие психологи [31] [10] – эмоциональное проявление носит сложный комплексный характер.

Один из авторов, Лацарус Р.С. [41] отмечает что эмоция – это сложное психическое явление, которое включает, как минимум, три аспекта:

-осознаваемое или даже переживаемое чувство (эмоция субъективной феноменологии);

-процесс, происходящий в вегетативной и эндокринной нервной системе организма, жесты, позы, интонация (эмоция поведенческой феноменологии);

-изменения активности мозга, работы центральной нервной системы (эмоция центральной феноменологии).

Фокусировка исследователей исключительно на центральной феноменологии в отрыве от субъективно психологической и висцеральной феноменологии является основной проблемой имеющихся исследований. Без применения методов комплексной оценки субъективных и объективных показателей невозможен анализ всех перечисленных выше аспектов эмоций. Согласно литературным данным, методы наблюдения и самоотчета недостаточно эффективны для оценки эмоционального состояния субъекта, так как подвержены влиянию многих дополнительных факторов. Методы регистрации вегетативных показателей позволяют получить объективную характеристику эмоционального состояния. Данные же, касающиеся проявления интенсивности эмоций в ЭЭГ человека, противоречивы, но, тем не менее, свободны от социальных установок (в отличие от сугубо психологических методов).

Особенностью подхода, предлагаемого в данной работе для выделения наиболее надежных показателей эмоциональной реакции, является комплексное изучение показателей эмоций на трех уровнях:

- субъективном – использование психофизических методов;
- на уровне вегетативных реакций – для этого исследуются реакции вегетативной нервной системы (по показателям электрокардиограммы и изменению сопротивления кожи);
- на уровне деятельности центральной нервной системы – для этого используется электроэнцефалограмма.

2 Аппаратно-программный комплекс и наносенсоры

В лаборатории №63 Медицинского приборостроения Томского политехнического университета был разработан аппаратно-программный комплекс высокого разрешения для регистрации микропотенциалов сердца в реальном времени без усреднения и фильтрации в диапазоне частот от 0 до 10000 Гц, уровень которых составляет 1 мкВ, единицы мкВ, десятки сотни микровольт.

Аппаратно-программный комплекс состоит из (рисунок 10):

- измерительного блока;
- кабеля сопряжения с ПК;
- персонального компьютера;
- кабеля пациента;
- комплекта наносенсоров;
- заглушки на разъем АПК;
- руководства оператора.



Рисунок 10 – Аппаратно-программный комплекс

2.1 Наносенсоры

Наносенсоры очень хорошо подходят для целей ЭЭГ, благодаря их высокой стабильности электродного потенциала, стабильных контактных и поляризационных потенциалов, более низкому напряжению шума и сопротивлению. В ходе эксперимента были использованы наносенсоры

(рисунок 11). На корпусе имеется специальный паз для более удобной их фиксации с помощью электроэнцефалографического шлема.

Электродное устройство с наночастицами серебра получило название «наносенсор» благодаря высокой разрешающей способности по уровню сигнала (нановольтовый) и по частотному диапазону (разрешающая способность по уровню регистрируемых биопотенциалов: допустимое значение – 300 нВ; допустимая погрешность $\pm 15 \%$ (± 45 нВ)) [42].

В процессе изготовления электродов из пористой керамики частицы серебра имплантируют в поры керамической диафрагмы электрода. Эти частицы частично проникают вглубь пористой диафрагмы вблизи от поверхности нанесения.

После расплавления пасты на основе хлористого серебра (AgCl) происходит смачивание серебряных частиц, в результате которого в порах керамической диафрагмы формируется большое количество хлор-серебряных микроэлектродов. Поры создают в пористой керамике сложную систему сообщающихся между собой полостей.

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

В наносенсорах весь объем пористой диафрагмы должен быть заполнен наночастицами серебра, что приведёт к значительному увеличению количества наноэлектродов.



Рисунок 11 Наносенсоры для трехканального отведения

На основе, проведенных в ФБУ «Государственном региональном центре стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области», исследований метрологических параметров наносенсоров была выбрана оптимальная технология, обеспечивающая минимальный уровень шумов наносенсоров [42].

2.2 Аппаратная часть аппаратно-программного комплекса

В аппаратную часть комплекса входят электроды для электрофизиологических исследований (наносенсоры) [43] и электронные компоненты регистрации и обработки, представленные в принципиальных схемах. Аппаратная часть реализована, исходя из метрологических характеристик сенсоров. Высокая стабильность, низкие шумы и помехоустойчивость неполяризующихся сенсоров позволяют исключить из устройства часть обычно применяемых компонентов, в том числе и фильтрующие звенья цепи. Аппаратная часть детектирования электрофизиологических потенциалов микровольтового и нановольтового уровня напряжения представлена на рисунке 12.

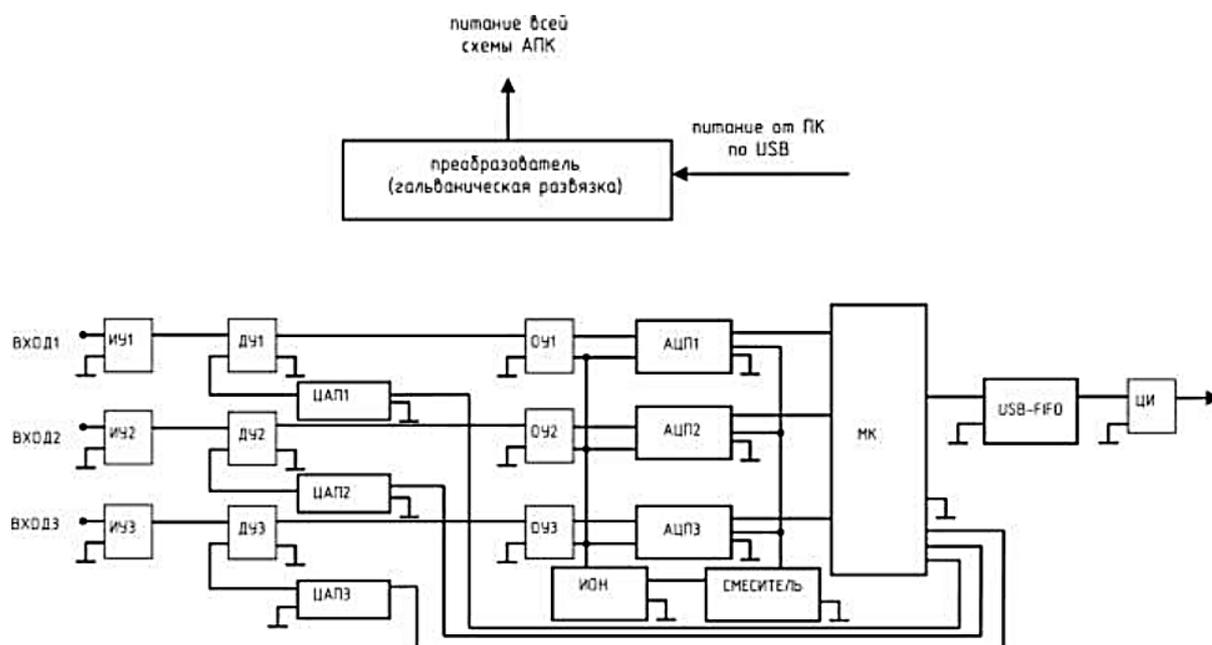


Рисунок 12 – Функциональная схема АПК

Полученные с отведений наносенсоров биопотенциалы поступают на входные каналы инструментальных усилителей (ИУ) DA1-DA3, после этого сигналы передаются на входные каналы операционных усилителей (ОУ) DA4-DA6.

Выходные сигналы подсистемы аналоговой обработки снимаемых потенциалов передаются на входы блока аналого-цифрового преобразования (АЦП). В данном блоке применяется микросхема ADS131E08IPAGRTQFP64.

ADS131E08 является многоканальным 24-битным сигма-дельта аналого-цифровым преобразователем с осуществлением синхронной выборки информации во всех каналах, имеет в своем составе генератор тактовых импульсов, собственный источник опорного напряжения и интегрированные усилители с возможностью изменения коэффициента усиления. Микросхема ADS131E08 позволяет проводить до 64 тыс. выборок в секунду.

Микросхема ATxmega256A3-AU является универсальным микроконтроллером (МК) с восемью разрядами на базе ядра RISC. Наличие последовательного интерфейса SPI, применение технологии прямого доступа к памяти и применение высокопроизводительной 32-битной архитектуры MIPS делает возможным организацию коммуникационного канала для быстрого обмена информацией с подключаемыми устройствами.

Микросхема ADUM4160BRWZ от производителя Analog Devices является четырехканальным цифровым изолятором с низкой задержкой пропускания сигнала (не более 70 нс) и высокой скоростью передачи данных (до 12Мбит/с) и предназначенная для создания гальванической развязки USB. Благодаря своим характеристикам (напряжение изоляции до 5 кВ), микросхема может применяться в медицинских электрических приборах.

Микросхема ADuM5000 от производителя Analog Devices представляет собой изолированный DC/DC-преобразователь с напряжением изоляции 2500 В, тепловой защитой от перегрузки и мощностью 0,5 Вт. Электронный компонент, благодаря своим характеристикам, является подходящим для

организации гальванически развязанной питающей цепи изолированной части схемы измерительного прибора.

Микросхема FT245RL является преобразователем USB-интерфейса для двустороннего взаимодействия, использующим параллельную буферизацию FIFO. На данной микросхеме возможна эффективная организация канала двустороннего взаимодействия АПК с персональным компьютером оператора с достижением скорости обмена данных до 12 Мбит/с при малых затратах ресурсов. Лаконичное устройство микросхемы делает канал взаимодействия устройств универсальным и позволяет устанавливать соединение практически со всеми видами микроконтроллеров через порты обмена данных I/O. Обмен данными в организованном канале происходит через двунаправленную параллельную восьмиразрядную шину (D0-D7).

Микросхема NCP1117LPST33T3G является линейным стабилизатором напряжения (3.3 В и 1А) с малым значением падения напряжения на входном и выходном каналах.

Микросхема LM2621 представляет собой повышающий импульсный регулятор напряжения DC/DC с пониженным входным напряжением. Преимуществами микросхемы является низкий уровень пульсации, высокая частота преобразования (до 2 МГц), высокий уровень КПД (до 90%) и экономичное потребление энергии (до 80 мкА). Микросхема формирует для аналоговой части схемы напряжение уровнем 5,5 В.

Последовательный цифро-аналоговый преобразователь DAC7513, имеющий 12 разрядов, совместим интерфейсами с распространенными видами микроконтроллеров. Синхронизация осуществляется на частоте 30 МГц. Диапазон сигнала выхода «от шины до шины» обеспечивается выходным «rail-to-rail» регистром. Время установки сигнала по выходу составляет 10 мкс. Информация через USB-порт переносится на монитор ноутбука или стационарного компьютера

Таблица 1 Технические характеристики АПК

Параметр	Значение
Ток, потребляемый АПК в режиме записи	не более 300 мА
Диапазон входных напряжений при регистрации сигнала	от $\pm 0,3$ мВ до ± 10 мВ
Частотный диапазон	от 0 до 10000 Гц
Частота дискретизации	32000 Гц
Входной импеданс	не менее 10 Мом
Неравномерность АЧХ в диапазоне от 0 до 10000 Гц	от ± 20 % до ± 10 %
Постоянный ток в цепи пациента	не более 0,1 мкА
Диапазон измеряемых длительностей микропотенциалов	от 0,3 мс до 100 мс



Рисунок 13 - Структурная схема АПК

1. Наносенсоры предназначены для снятия биопотенциала с поверхности кожи головы, обеспечивают плотный контакт с кожей создавая замкнутую цепь, в которой производится измерение и регистрация колебаний биопотенциалов.
2. В блоке усилителя происходит усиление сигнала в силу его малой амплитуды.
3. АЦП – преобразование аналогово сигнала в цифровое для дальнейшей обработки.
4. Блок обработки получает обрабатываемую с АЦП информацию.
5. Персональный компьютер служит средством получения информации.

4 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 исследования 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: «Аппаратно-программный комплекс для оценки психоэмоционального состояния человека»

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.

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

4.1.1 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

	<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. Отсутствие бюджетного финансирования</p> <p>Сл.3. Отсутствие компании, способной обеспечить серийное производство.</p> <p>Сл.4. Требуется специального оборудования.</p> <p>Сл.5. 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 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</p>	<p>Имеется возможность обучить новых специалистов</p>	<p>Нестабильная финансовая поддержка в совокупности с</p>

<p>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>в данном направлении, тем самым увеличив количественный состав квалифицированного персонала.</p>	<p>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.

4.2 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования

4.2.1 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

Проведение НИР			
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 полученные результаты	Руководитель, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник

4.2.2 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k \quad (3)$$

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:

$$k = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4)$$

где $T_{КГ}$ – 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:

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

Таблица 4 - Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t _{min} чел-дн.	t _{max} чел-дн.	t _{ож} чел-дн.	T _p чел-дн.	T _k чел-дн.	У _i , %	Г _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-дипломник	4	15	8	2,8	4	4,2	47,6
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 _k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление ТЗ	Руководитель, студент-дипломник	2	■				
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Руководитель, студент-дипломник	31	■				
3	Выбор моделей	Студент-	6		■			

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

(5)

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиям и изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Таблица 6 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб		Затраты на материалы, (З _м), 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						1239	1274

4.3.2 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.	Зарботная 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	Студент	15	0,8	1,6

	записки к работе				
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).

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

(6)

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

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

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

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

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

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{внеб}$ – 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.	

4.3.4 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таким образом, наибольшие накладные расходы равны:

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

4.3.6 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 таблице 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

4.4 Выводы по разделу ФМ РСРС

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.

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

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

1. Avdeeva D, Zakharchenko E, Nguyen D.Q, Turushev N, Abdrakhmanov A, Vorona R, Tverdokhlebov S, Popkov A. Advantages of nanosensor in the development of interfaces for bioelectric prostheses // 7th Scientific Conference with International Participation "Information-Measuring Equipment and Technologies", IME and T 2016. EDP Sciences, 2016.

2. Абдрахманов А.Б.Турушев Н.В.Тимофеева Е.К. Нгуен Д.К. Сборник тезисов, материалы Двадцать третьей Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых. - Екатеринбург: АСФ России, 2017. - С. 314-315.