

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки- 201000 биотехнические системы и технологии  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Применение биологической обратной связи при оценке и реабилитации неврологических нарушений

УДК 681.5:57:616.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ41	Мнайдаров Серик		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Толмачев И.В.	К.М.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		

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
ПМЭ ИНК	Губарев Ф.А.	к.ф.-м.н.		

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять глубокие специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в инновационной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной биомедицинской и экологической техники	Требования ФГОС (ОК-2, ОПК-2) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа и синтеза с использованием специальных знаний, современных аналитических методов и моделей	Требования ФГОС (ОПК-1, 3; ПК-1 – 4), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Выбирать и использовать необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения инновационной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений	Требования ФГОС (ОК-9, ПК-10, 14, 18). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники конкурентоспособной на мировом рынке	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ПК-5 – 11, 14), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением глубоких специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов в сложных и неопределенных условиях	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-5, ПК-1 – 4). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать глубокие знания в области проектного менеджмента для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-14, 15). Критерий 5 АИОР (п. 5.3.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем активно осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя команды, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении инновационных инженерных задач	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-3; ПК-3, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 12.04.02 – Биотехнические системы и технологии), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ от 21.11.2014г.

P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности	Критерий 5 АИОР (п. 5.3.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Демонстрировать глубокие знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности	Критерий 5 АИОР (п. 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-2, 4; ОПК-4), Критерий 5 АИОР (п.5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

## Форма задания на выполнение выпускной квалификационной работы

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

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки - Биотехнические системы и технологии  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Ф.А. Губарев  
(Подпись) (Дата)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ДМ41	Мнайдаров Серик

Тема работы:

Применение биологической обратной связи при оценке и реабилитации неврологических нарушений

Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)

№ 2942/с от 15.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

#### Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования является вестибулярный аппарат человека. В процессе исследования необходимо фиксировать реакцию вестибулярного аппарата во время выполнения двигательных тестов. Данную цель необходимо достичь с помощью видеокамеры 3D Kinect и специального программного обеспечения для углубленного биомеханического анализа движений человека. Данный метод может применяться в лечебных учреждениях для обследования пациентов с неврологическими заболеваниями

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Для реализации поставленной задачи необходимо исследовать ряд вопросов:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><i>1) Роль вестибулярного аппарата в организме человека.</i></li> <li><i>2) Влияние окружающей среды на траекторию движения центра тяжести.</i></li> <li><i>3) Возможность исследования положения тела с помощью видеозахвата.</i></li> <li><i>4) Выбор готового либо разработка нового программного обеспечения.</i></li> <li><i>5) Исследование вопроса влияния зрительного анализатора на вестибулярный аппарат</i></li> <li><i>6) Техничко-экономическое обоснование</i></li> <li><i>7) Производственная и экологическая безопасность.</i></li> </ol>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>
---

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и реурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.
Медико-биологическая и техническая поддержка	Толмачев И.В.

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
--

Материалы и методы
--------------------

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ПМЭ	Толмачев И.В.	К.М.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ41	Мнайдаров Серик		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ДМ41	Мнайдарову Серику

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ПМЭ</b>
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	биотехнические системы и технологии

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

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Методика исследования работы вестибулярного аппарата человека, с биологической обратной связью и реабилитации неврологических нарушений.</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> <i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i> <i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i>	<i>Вредные производственные факторы:</i> <i>1) Нервно-эмоциональное напряжение;</i> <i>2) Повышенная загазованность;</i> <i>3) Брызги припоев и флюсов</i> <i>Опасные производственные факторы:</i> <i>1) Пожароопасность;</i> <i>2) Повышенная температура поверхности изделия;</i> <i>3) Повышенное значение напряжения, замыкание которой может произойти через тело человека;</i> <i>4) Механическое травмирование</i>
<b>2. Экологическая безопасность</b>	<i>Предполагаемых источников загрязнения окружающей среды, возникающих в результате реализации предлагаемых в ВКР конструкторских и технологических инноваций, нет.</i>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<i>– Пожарная и взрывная безопасность;</i> <i>– Действия персонала при пожаре</i>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	<i>определены требования к организации рабочей зоны.</i>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ41	Мнайдаров Серик		

**Форма задания для раздела бакалаврской работы**  
**«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

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

Студенту:

Группа	ФИО
1ДМ41	Мнайдарову Серику

Институт		Кафедра	
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	биотехнические системы и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставки социального налога и НДС</i>

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

1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Распланировано управление научно – техническим проектом Отмечены контрольные события проекта Рассчитан бюджет научного исследования</i>
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Проведена оценка эффективность исследования по различным показателям</i>

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

- График проведения и бюджет НИ*
- Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ41	Мнайдаров Серик		

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

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки Биотехнические системы и технологии  
Уровень образования магистратура  
Кафедра промышленной и медицинской электроники  
Период выполнения осенний - весенний семестр 2014-2016гг.

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)
28.12.13	Научно исследовательская работа в 1 семестре	88 баллов
14.06.14	Научно исследовательская работа во 2 семестре	85 баллов
30.12.14	Научно исследовательская работа в 3 семестре	90 баллов
09.06.15	Защита магистерской диссертации	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ПМЭ	Толмачев И.В.	к.м.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Губарев Федор Александрович	к.ф.-м.н.		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа содержит 88 с., 28 рис., 10 табл., 49 источник, 2 прил.

Ключевые слова: анализ движения, видеозахват, динамическая платформа, виртуальная реальность, биологическая обратная связь.

Объектом исследования является вестибулярный аппарат человека.

Целью данной работы является разработка системы для тренингов с биологической обратной связью для реабилитации двигательных нарушений.

В результате исследования создана виртуальная среда для проведения опытов, разработан скетч для управления динамической платформой и разработан сценарий проведения исследований.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: лабораторные условия эксплуатации.

Степень внедрения: использование системы в лаборатории для оценки качества движения человека при СибГМУ и ТГУ.

Область применения: медицинские центры, частные клиники, государственные поликлиники, а также практикующие врачи, работающие с неврологическими заболеваниями, ортопедией и спортивной медициной.

Экономическая эффективность работы позволяет сэкономить время проведения исследований, трудозатратность, а также уменьшить затраты на обслуживание оборудования и стоимость прибора.

## **Обозначения и сокращения**

БОС - биологическая обратная связь

ЦД – центр давления

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Unity 3d:** Программное обеспечения для построения виртуального окружения.

**Стабилометрия:** Метод исследования функций организма, связанных с поддержанием равновесия.

## **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 2.105 - 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
- 3.ГОСТ 2.106 - 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
- 4.ГОСТ 7.0.5 - 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.
- 5.ГОСТ 7.1 - 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.
- 6.ГОСТ 7.9 - 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.
- 7.ГОСТ 7.11 - 2004 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных языках.
- 8.ГОСТ 7.0.12 - 2011 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Сокращения русских слов и словосочетаний в библиографическом описании произведений печати.
- 9.ГОСТ 7.32 - 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
- 10.ГОСТ 19.404 - 79 Единая система программной документации. Пояснительная записка.

ВВЕДЕНИЕ	17
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	20
1.1. Историческое становление методов реабилитации больных с вестибулярными нарушениями	20
1.2. Составляющие компоненты вестибулярной системы и их роль в поддержании равновесия	26
1.2.1. Функция вестибулярного анализатора	27
1.2.2. Функция зрительного анализатора	29
1.2.3. Функция проприоцептивного анализатора	29
1.3. Что такое БОС? Понятие обратной связи. Положительная и отрицательная обратная связь	30
1.4. Биологическая обратная связь – двигатель реабилитации. Понятие биоуправления	32
1.5. Методы БОС. Адаптивное биоуправление	33
1.6. Пластичность мозга как компенсаторный механизм восстановления функций	34
1.7. Применение метода биоуправления в реабилитации больных с неврологическими расстройствами	35
1.8. Современные технологии виртуальной реальности (VR) в сфере медицины. Понятие VR.	36
1.8.1. Принцип восприятия человеком глазами объемного изображения. Стереопсис	37
1.8.2. Феномен присутствия в виртуальной среде	38
1.9. Преимущества виртуальной среды для исследований	38
1.10. Применение виртуальной реальности в восстановлении двигательной активности	39
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	41
2.1. Подбор оборудования и программного обеспечения для реализации среды виртуальной реальности	41
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ	52

3.1	Виртуальное окружение.	52
3.2	Интеграция среды виртуальной реальности с устройством безмаркерного захвата Microsoft Kinect	52
3.3	Порядок проведения исследования.	53
3.4.	Методика проведения исследования	55
3.5	Разработка скетча для управления динамической платформой.	57
ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		
4.1	Организация и планирование работ	64
4.1.1	Продолжительность этапов работ	64
4.1.2	Расчет накопления готовности проекта	65
4.2	Расчет сметы затрат на выполнение проекта	67
4.2.1	Расчет затрат на материалы	68
4.2.2	Расчет заработной платы	68
4.2.3	Расчет затрат на социальный налог	69
4.2.4	Расчет затрат на электроэнергию	70
4.2.5	Расчет амортизационных расходов	70
4.2.7	Расчет общей себестоимости разработки	71
4.2.6	Расчет прочих расходов	73
4.2.8	Расчет прибыли	73
4.2.9	Расчет НДС	74
4.2.10	Цена разработки НИР	74
4.3	Оценка экономической эффективности проекта	74
Глава 5. Социальная ответственность		75
5.1.	Техногенная безопасность	75
5.2.	Экологическая безопасность	83
5.3.	Организационные мероприятия обеспечения безопасности	83
5.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	83
5.5.	Освещение	86

Заключение	87
Список использованных источников	89
Приложение А	95
Приложение Б	105
Приложение В	106

## Введение

Вестибулярные расстройства – распространенная патология людей разного возраста, с которой сталкиваются врачи. Перенесенные заболевания, травмы, инфекции, интоксикации – наиболее частые причины, приводящие к нарушению функций вестибулярного аппарата, вследствие чего пациент теряет способность к поддержанию вертикальной позы в пространстве и устойчивой ходьбе.

В зависимости от характера патологии, проявления вестибулярного нарушения могут иметь различный характер. При некоторых заболеваниях нервной системы, например, вестибулярном нейроните, можно наблюдать не только нарушение равновесия, но и появление внезапного приступа головокружения обычно с тошнотой, спонтанный нистагм, тревожное состояние из-за боязни падения и получения травмы [1]. Несомненно, такое состояние здоровья ухудшает качество жизни пациента. Кроме того, неспособность поддерживать равновесие в повседневной жизни становится проблемой при трудоустройстве, поскольку многие профессии (летчики, водители, строители и др.) предъявляют довольно жесткие требования к вестибулярному аппарату.

Периферические вестибулярные нарушения сопровождаются так же приступообразным головокружением и ощущением движения окружающих объектов [2].

В связи со сложившейся ситуацией вопрос об эффективной реабилитации больных с данными расстройствами стал очень актуален.

Вестибулярная реабилитация представляет собой ускорение компенсации функции вестибулярной системы и создание условий для скорейшей адаптации к ее повреждению [4].

Существуют различные методы восстановления утраченного чувства равновесия у пациентов. В частности, глазодвигательная и вестибулярная гимнастика, ЛФК, биомеханотерапия.

В качестве дополнения к вышеперечисленным подходам оправдано использование стабилотренинга, основанного на принципе биологической обратной связи (БОС). Биоуправление осуществляется путем регистрации сигнала обратной связи, роль которого осуществляют параметры проекции центра масс на площадь опоры [2].

Инновационные технологии быстро шагают вперед и находят применение в медицине. Благодаря компьютерным разработкам стало возможным создание виртуальной реальности – модельной трехмерной (3d) окружающей среды, реалистично реагирующей на взаимодействие с пользователями [5]. В медицине она уже успешно зарекомендовала себя в практической хирургии, психиатрии, а так же в образовательной сфере в виде виртуального атласа анатомии, что сделало обучение более интересным, наглядным и углубленным [6, 7].

На сегодняшний день использование технологии виртуальной реальности в целях диагностики и реабилитации вестибулярных нарушений является новым и приоритетным направлением. С ее помощью станет возможным ускорить процессы восстановления функции вестибулярного аппарата и вернуть пациенту утраченное чувство равновесия, вовлекая его в работу с «погружением» в искусственную реальность [41, 42]. Применение виртуального шлема со стереоскопическими очками и устройством 3D- ввода (система безмаркерного захвата движений) позволяет обеспечивать максимальный эффект присутствия пользователя в виртуальном пространстве и обратную связь с ним. Такой подход к реабилитации больных с вестибулярными расстройствами в сочетании с лекарственной терапией может показать хорошие результаты и улучшить качество жизни пациентов.

**Цель данной работы:** разработка системы для тренингов с биологической обратной связью для реабилитации двигательных нарушений.

**Задачи исследования:**

- 1) изучение методов оценки состояния вестибулярного аппарата;
- 2) разработка системы управления углом наклона стабилоплатформы предназначенной для создания заданий выполняемых пациентом.

## Глава 1. Обзор литературы

### 1.1 Историческое становление методов реабилитации больных с вестибулярными расстройствами.

Вестибулярная система играет важную роль в пространственной ориентации организма, однако в силу различных обстоятельств (заболеваний, травм и др.) возникает рассогласование работы составляющих ее сенсорных систем, и поддерживать равновесие при выполнении активных и пассивных движений становится достаточно сложно.

Первые попытки исследования функции вестибулярного аппарата и его адаптации к внешним раздражителям были предприняты в 1935г. С целью отбора более подходящего контингента для летной профессии во главе с В. В. Стрельцовым и под научным руководством Г. Г. Куликовского было поручено разработать схемы массового применения вестибулярной тренировки [8]. Комплекс упражнений включал в себя вращения испытуемого в кресле, выполнение гимнастических трюков, вращение на лопинге и ренском колесе (Рис.1). Для борьбы с чувством противовращения была сконструирована «кабина Линка», напоминающая кабину самолета (Рис.2).

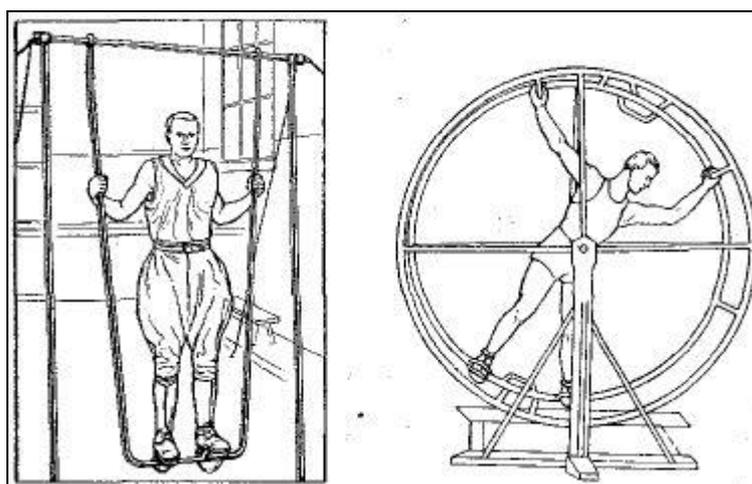


Рис.1 Вестибулярная тренировка летчиков на лопинге и ренском колесе



Рис.2 Кабина Линка для тренировки летчиков

В основе восстановления и компенсации нарушенных функций лежит механизм нейропластичности, т.е структурно-функциональной перестройки мозга при его повреждении. Еще в опытах английского нейрофизиолога Ч.Шеррингтона было показано, что в ответ на воздействие слабораздражающих стимулов уменьшались некоторые рефлекторные движения, однако это продолжалось всего несколько минут. При увеличении длительности стимуляции наблюдались стойкие изменения уже в течение нескольких недель, месяцев [9].

Хорошим примером для наблюдения такого феномена может выступать специальная гимнастика со слабым раздражающим действием на вестибулярный аппарат. При многократном выполнении стереотипных упражнений происходит привыкание к ним, поэтому есть большие шансы на восстановление утраченной способности к поддержанию равновесия и вернуть уверенность походки.

Первый комплекс вестибулярной гимнастики был разработан в середине 40-х годов XX в. Английский отоларинголог Которн и физиотерапевт Куксей обратили внимание на то, что больные, страдающие головокружением, восстанавливаются быстрее, если выполняют упражнения, основанные на быстрых движениях головой. Позднее, в 1970 г. МакКейб усовершенствовал гимнастику предшественников и показал ее целесообразность при головокружениях [10].

Еще 20-30 лет назад медицинские работники рассматривали реабилитацию как побочную деятельность, выходящую за рамки здравоохранения. Но со временем она доказала свою целесообразность, и лечебные учреждения стали выделять специальные койки, палаты, отделения. Естественно, возникла необходимость в квалифицированных специалистах, однако сейчас в России, ввиду отсутствия законодательных и организационных основ для развития реабилитации, подготовка врачей по данному критерию затруднена. В настоящее время существуют реабилитационные центры, деятельность которых разделена профилю заболеваний. [43]

На сегодняшний день разработаны комплексы упражнений, позволяющие скорректировать дисбаланс работы системы поддержания равновесия. Они включают в себя стойку на узкой поверхности, на одной ноге, упражнения с открытыми и закрытыми глазами и др. Следует помнить, что продолжительность курса вестибулярной гимнастики зависит от этиологии заболевания [9].

Реабилитация спортсменов при заболевании или поражении опорно-двигательного аппарата имеет некоторую специфику. Полученные травмы вынуждают пострадавшего отказаться от тренировок, что разрушает установившиеся жизненные стереотипы и приводит к болезненной реакции всего организма. Именно поэтому очень важно, чтобы после острого периода болезни восстановительные упражнения проводились как можно раньше и включали в себя не только упрощенный вариант нагрузки, но и более сложные специфические упражнения [11, 43].

В силу того, что многолетняя практика использования вестибулярной гимнастики для восстановления способности к поддержанию вертикальной позы в пространстве зарекомендовала себя достаточно хорошо и прогресс не стоит на месте, для компенсации утраченной способности к пространственной ориентации были разработаны тренажеры, работающие по принципу биологической обратной связи. В качестве примера можно

привести стабилметрическую платформу, работа которой основана на регистрации положения центра тяжести и его схематичном отображении с целью визуального контроля за ним при выполнении комплекса упражнений [9, 12, 13]. Для упрощенного понимания этапов реализации биологической обратной связи предлагается изучить схему, представленную ниже (Рис.4).

В 1969 г. сформировалась медицинская специальность «Постурология», методом которой является стабилметрия. В 2001 г. был сертифицирован первый отечественный компьютерный стабิโลграф «Стабилан-01» (Рис.3), показатели которого позволили занять лидирующее положение в мировом масштабе [12, 26]. Суть такого исследования заключается регистрации сигнала, который поступает от стабильноплатформы при изменении параметров проекции центра тяжести с его последующей компьютерной обработкой. Данный метод широко применяется не только с целью диагностики, но и реабилитации вестибулярных нарушений в игровой форме [43].



Рис.3 Платформа «Стабилан»

Благодаря отечественной компании БиоМера была выпущена стабилметрическая система ST-150 «Stabip», включающая в себя стабильноплатформу, компьютер и экран для вывода изображения. Программное обеспечение позволяет работать с сетевыми приложениями и выбирать их в соответствии с потребностью в тех или иных упражнениях. Такой подход обеспечивает индивидуальную работу с больными за счет того, что принимается во внимание тяжесть заболевания, и в соответствии с этим

можно назначать комплекс упражнений разного уровня сложности и направленности(Рис.5). В ходе проведения исследования врач получает полную информацию о смещении центра давления (ЦД) пациента, а так же имеет возможность изменять параметры игры, тем самым «подстраивая» движения испытуемого под физиологическую норму [12, 13, 26].

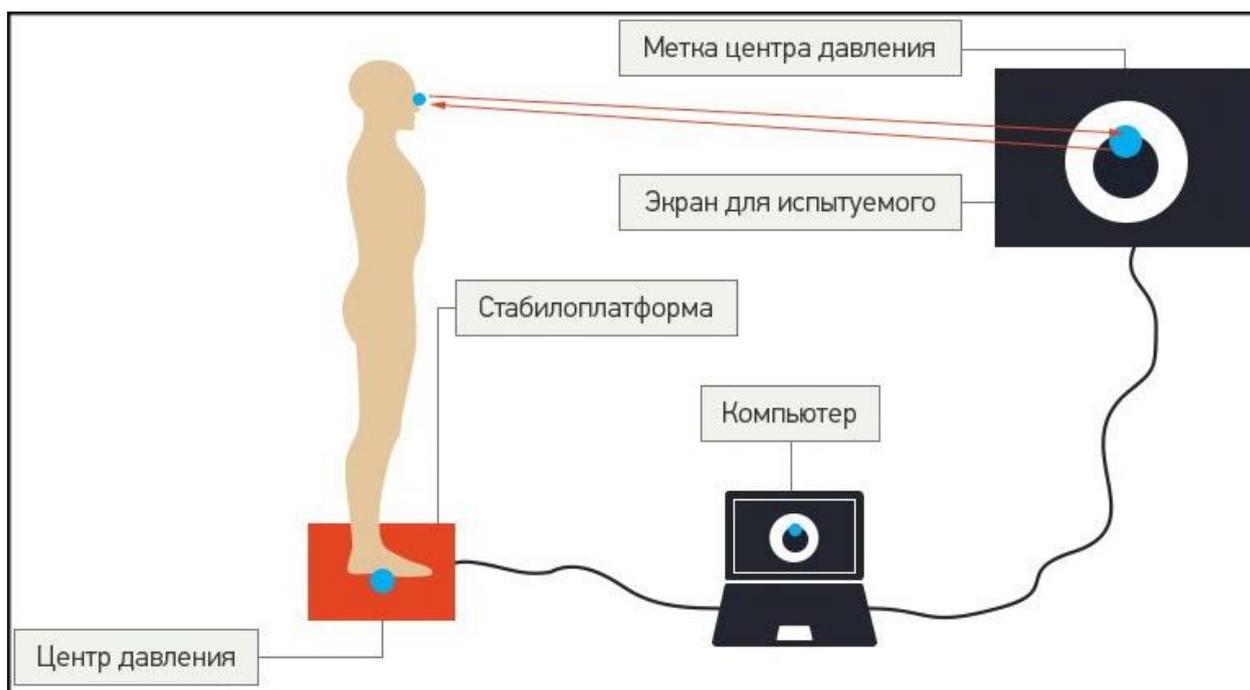


Рис.4. Схема организации биологической обратной связи в стабилотрии.

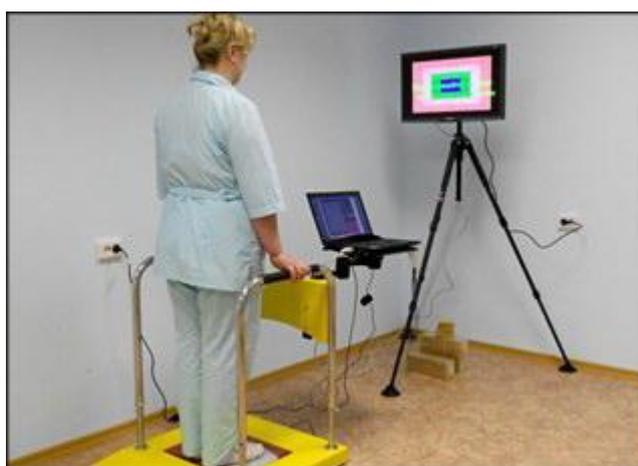


Рис.5 Демонстрация исследования на стабилотрической системе ST-150

Вестибулярная реабилитация малолетних пациентов представляет собой некоторую сложность в связи с повышенной отвлекаемостью и

быстрой утомляемостью, однако, проведение занятий в игровой форме вызывает у детей интерес к работе и побуждает их к более активной и старательной тренировке.

По некоторым данным, были проведены исследования влияния различных методов реабилитации на восстановление координации и поддержание позы при центральных, периферических или смешанных вестибулярных нарушениях. При прохождении медикаментозного курса лечения заболевания в совокупности с выполнением упражнений на стабильной платформе наблюдалось повышение эффекта от реабилитации, по сравнению с исключительно медикаментозным лечением, даже если оно дополнено специальными упражнениями [14].

Немалый интерес представляет устройство компании Wicab Inc для реабилитации Brainport, суть работы которого состоит в регистрации отклонения головы по принципу БОС (биологической обратной связи) и электростимуляции языка (Рис.6). Помимо пластины с электродами, в приборе имеется встроенный акселерометр - устройство для измерения прямолинейного и углового ускорения, позволяющее пациенту воспринимать перемещение «ощущаемой точки» на языке при отклонении положения тела от вертикальной оси и корректировать свою позу в пространстве. Например, если испытуемый при исследовании отклоняется вправо, то на электроды на языке справа подается электрический стимул, информируя об этом пациента [26, 42].



Рис.6 Пациент с устройством BRAINPORT

### **1.1 Роль вестибулярной системы и ее составляющих компонентов в поддержании равновесия.**

Вестибулярный анализатор, в совокупности со зрительным и соматосенсорным, образует систему поддержания равновесия. С учетом их гармоничного функционирования обеспечивается поддержание вертикальной позы в пространстве (Рис.8).

#### *1.1.1 Функция вестибулярного анализатора.*

Благодаря вестибулярному анализатору при вращательном или прямолинейном движении тела, наклоне и повороте головы происходит анализ и оценка информации об ускорении или замедлении. Передача импульсов от вестибулярных рецепторов приводит к перераспределению мышечного тонуса, что и помогает человеку сохранять равновесие [27].

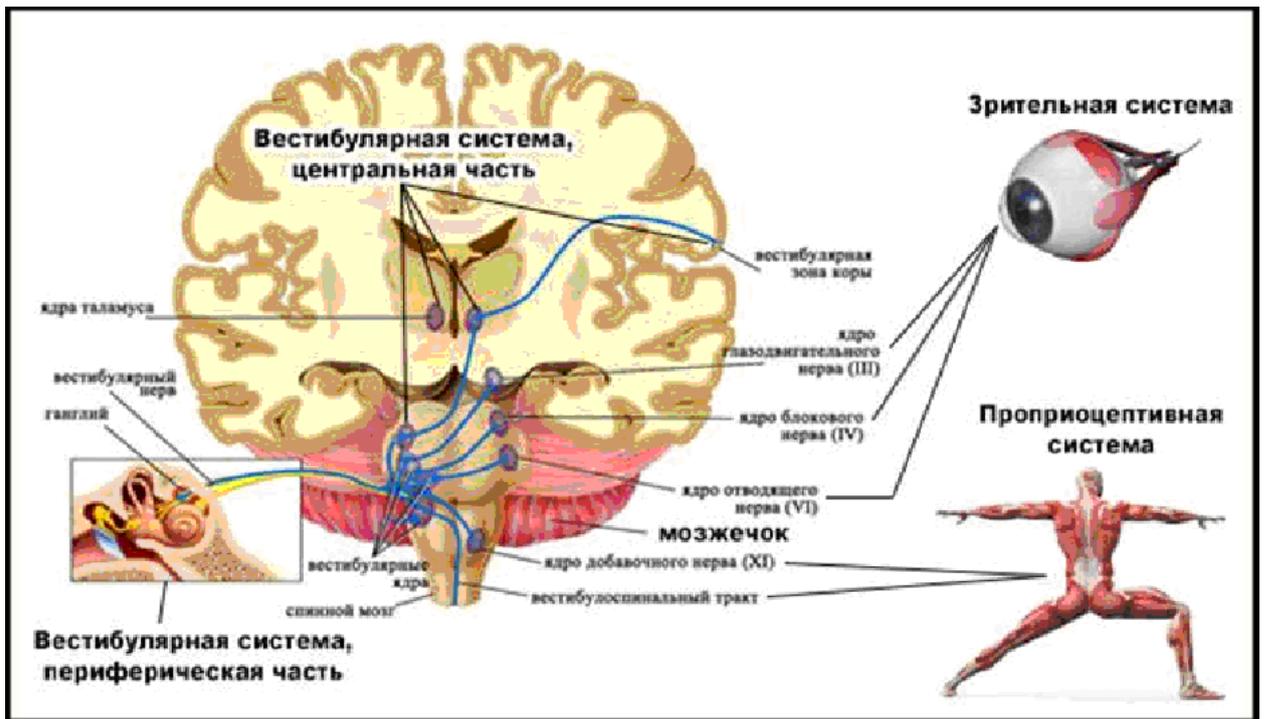


Рис.8 Сенсорные системы, участвующие в организации пострурального баланса.

### 1.2.2 Функция зрительного анализатора.

Большую роль в поддержании позы и уверенной ходьбы играет зрительный анализатор, что легко доказывается на простом примере: если согнуть ногу в колене и поднять ее на уровень талии и при этом стоять с открытыми глазами, то большинство людей справятся с задачей без особого труда. Однако стоит только закрыть глаза и повторить данный опыт, в течение первых секунд становится сложно удерживать вертикальное положение тела. Недостаток зрительной информации вызвал потерю ориентации в пространстве, но такое состояние можно с легкостью компенсировать, дотронувшись лишь пальцем до неподвижной поверхности – в этом случае решающую роль в позном контроле играет тактильная чувствительность.

Весьма любопытный пример по оптической стимуляции приводит Р.Шиффман, показывающий компенсирующее действие вестибулярного аппарата в условиях движения визуальной сцены (Рис. 7). В первой части опыта, когда зрительное окружение надвигается на наблюдателя, он

воспринимает это как собственное движение вперед и для сохранения равновесия совершает движение назад (Рис.7а). В противоположном случае, когда стены и потолок «уходят» от наблюдателя (Рис.7 б), появляется ощущение ходьбы спиной вперед и, соответственно, для стабилизации позы испытуемый отклоняется вперед [16].

Интересен тот факт, что многие авторы отводят большую роль зрительному восприятию в поструральном контроле. Например, Ли и соавтор показали, что испытуемый, находясь в экспериментальной установке в виде комнаты с колеблющимися стенами и потолком, отклонялся от своего исходного положения, несмотря на неподвижность пола под ногами.

Вероятно, чрезмерные противоречивые зрительные стимулы, не отражающие реальную картину вещей, привели к дезориентации человека в пространстве [17].

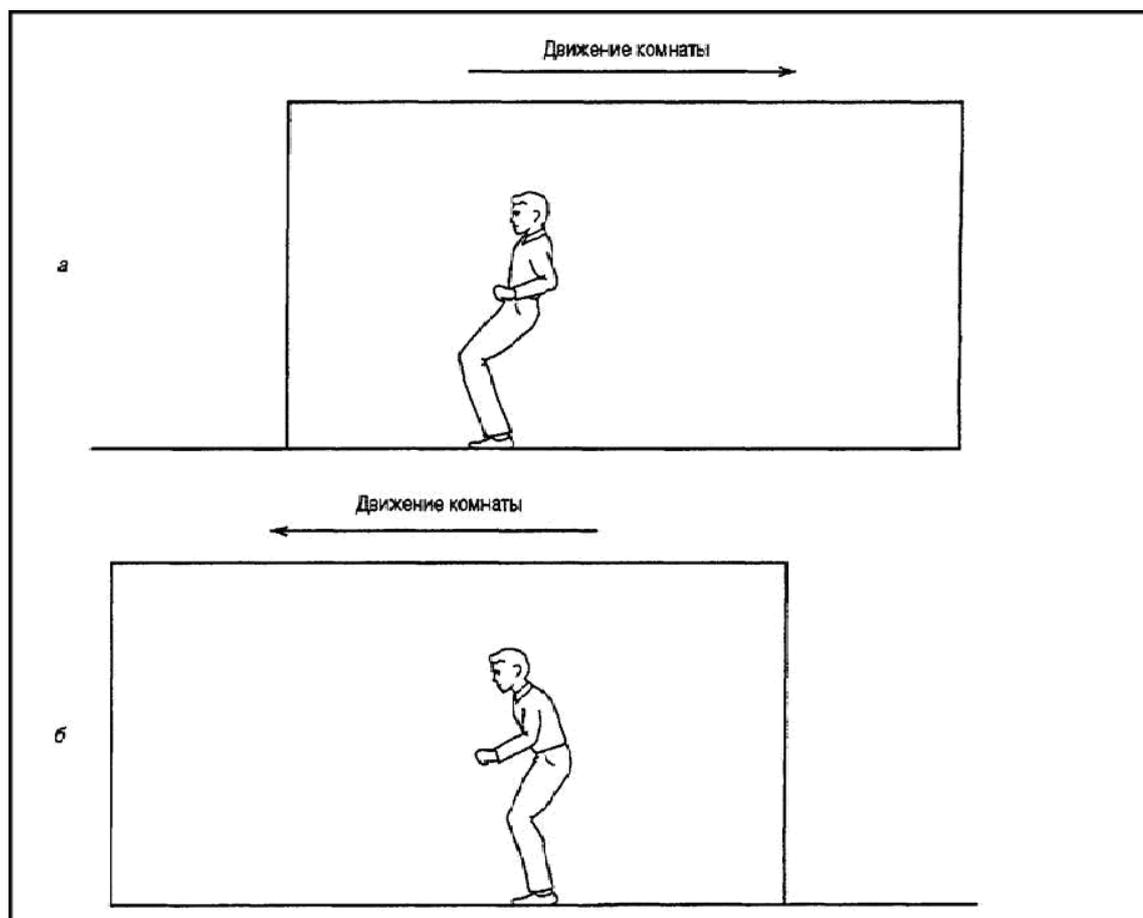


Рис.7(а,б) Демонстрация компенсаторного механизма вестибулярного аппарата в опыте с оптической стимуляцией (движения комнаты).

Возникающее ощущение собственного перемещения при воздействии на орган зрения тотального оптокинетического стимула осуществляется за счет трансформации внешнего зрительного ощущения во внутреннее вестибулярное ощущение самодвижения. Сигнал о движении объекта в поле зрения попадает в вестибулярные ядра, где происходит его преобразование в вестибулярную модальность. Далее информация передается в вестибулярные корковые зоны, одновременно с этим зрительная информация поступает в зрительные корковые зоны. Эти два потока в конце концов сливаются и начинают конкурентно взаимодействовать друг с другом в структуре сенсорной системы двигательного анализатора, и в результате борьбы побеждает вестибулярное ощущение. Проще говоря, в определенной ситуации вестибулярная система начинает доминировать над зрительной, в результате чего возникает иллюзия самодвижения [16, 44].

Сочетанная работа всех звеньев вестибулярного аппарата обеспечивает устойчивое положение тела в пространстве. В случае выпадения потока информации от одной из трех сенсорных систем наблюдается обратная картина. Если у пациента нарушена проприоцептивная чувствительность, с открытыми глазами он может без труда стоять на месте или передвигаться. Но стоит их закрыть, как неуверенная походка и даже падение не заставят себя ждать [18].

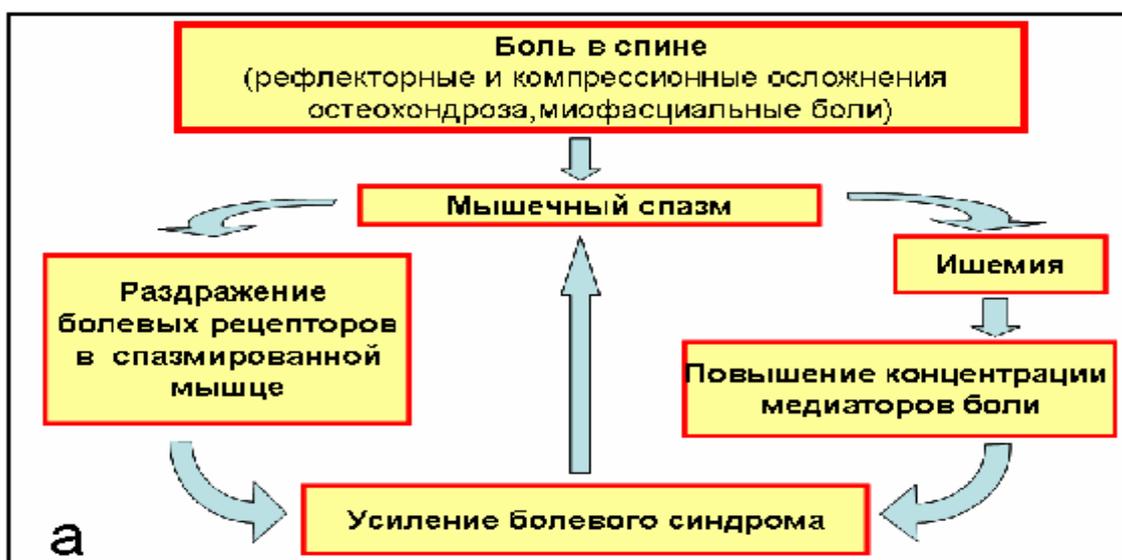
### *1.2.3 Функция соматосенсорного анализатора.*

Соматосенсорная система информирует нас о положении тела посредством проприорецепторов и экстерорецепторов. Первые находятся в мышцах, суставах и сухожилиях. Мышечные веретена располагают информацией об изменении длины мышцы и ее растяжении, а так же рецепторы мышц шеи несут информацию о движении головы и ее положении относительно тела. Суставные рецепторы повествуют о расположении сегментов тела относительно друг друга. Экстерорецептивная информация

поступает от рецепторов давления с поверхности стоп, под кожей и внутри нее [13].

### 1.3 Что такое БОС? Понятие обратной связи. Положительная и отрицательная обратная связь.

Биологическая обратная связь – это обратная связь (ОС) в условиях живого организма, без которой невозможно себе представить его гармоничное функционирование. С ее помощью осуществляется поддержание гомеостаза и адекватная реакция на изменение внешней среды. Стоит отметить, что существует положительная (ПОС) и отрицательная (ООС) обратная связь. В случае ПОС при подаче входного сигнала происходит усиление выходного сигнала по сравнению с предыдущим его значением, что обеспечивает неустойчивость системы. По такому принципу работает система быстрого реагирования организма на внешние раздражители. ООС характеризуется уменьшением выходного сигнала по сравнению с исходным его значением, что расценивается как стабилизация системы. За счет такой работы происходит поддержание гомеостаза.



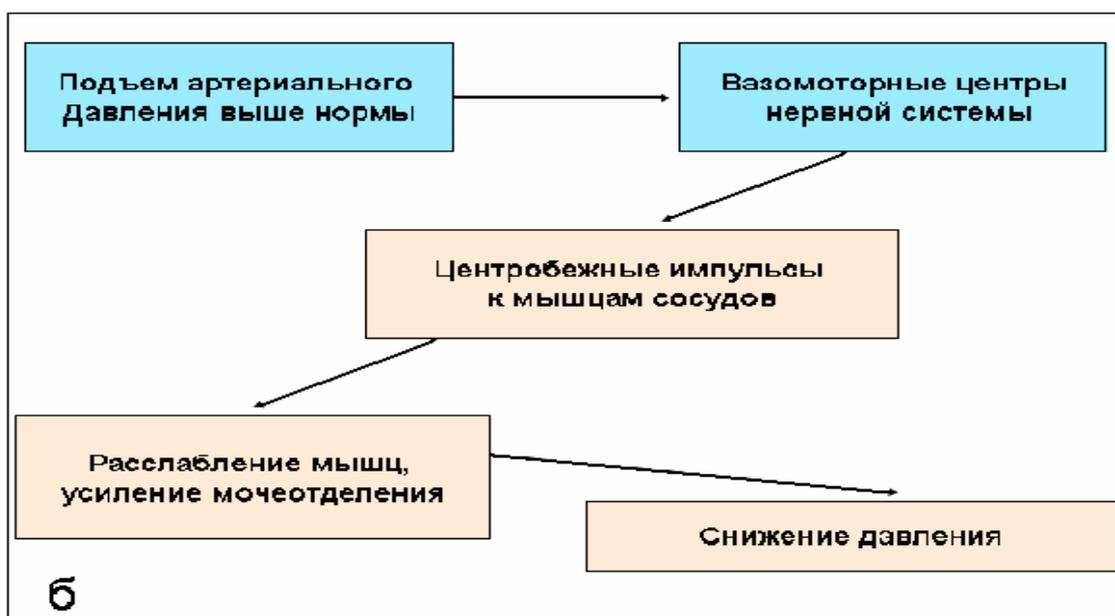


Рис.9(а, б) Демонстрационная схема ПОС на примере мышечно-тонического болевого синдрома (а) и ООС на примере регуляции артериального давления (б) в организме.

С точки зрения технических наук ОС – это функциональное состояние системы, результат которого определяется ее входными параметрами. Особенность обратной связи заключается в том, что на вход системы подается сигнал, который находится в определенной зависимости от ее выходного сигнала [13].

В медицине БОС – это метод неинвазивного совершенствования или коррекции нарушенных функций организма путем обучения навыкам саморегуляции и самоконтроля функционального состояния человека с использованием инструментального подхода.

Метод начал формироваться в 50-х годах прошлого века. Ему предшествовало учение И.П.Павлова об условных рефлексах и регулирующей роли коры. N.Wiener (1948), известный ученый и основоположник кибернетики, определил понятие обратной связи как способ регулирования на основе непрерывного поступления информации о функциональном состоянии системы [13, 28].

#### 1.4 Биологическая обратная связь - двигатель реабилитации

Наряду с БОС, в настоящее время используется такой термин, как биоуправление – направленное изменение физиологических функций организма в целях реабилитации больных и тренировки спортсменов. В процессе проведения данной процедуры происходит регистрация параметров пользователя, их обработка и преобразование в звуковой или зрительный сигнал с помощью специальной аппаратуры (Рис.10). Таким образом, испытуемый может увидеть или услышать сигналы, повествующие о его состоянии здоровья на данный момент времени, а так же посредством приобретения навыков самоуправления становится возможным изменять необходимые параметры в желаемом направлении.



Рис.10 Наблюдение пациента за функциональным состоянием собственного организма посредством БОС.

В качестве первичного сигнала или БОС - модальности может выступать ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ, РВГ, ЧД, температура, проводимость кожи, угол движения в суставе, проекция центра тяжести тела и др. [13, 30]

Для реализации метода - БОС необходимо как минимум наличие аппаратуры для регистрации физиологического сигнала с тела пациента и

устройство для представления этой информации в виде звука или изображения.

### **1.5 Методы БОС. Адаптивное биоуправление.**

Адаптивное биоуправление (АБ) на основе биологической обратной связи позволяет самостоятельно регулировать функциональное состояние организма и является одним из перспективных направлений в реабилитации. АБ базируется на подкреплении или «наказании» определенных состояний, которые отражаются в показателях регулируемых функций и в некотором смысле ничем не отличается от классического условного рефлекса, поскольку физиологической основой метода является замыкание временных связей. Для реализации адаптивного биоуправления необходима сохранность исследуемой физиологической функции, а так же возможность регистрации и количественной оценки ее показателей.

С помощью метода саморегуляции обеспечивается устойчивое состояние физиологических систем, благодаря чему происходит преобразование интегративных систем мозга и исполнительных систем организма с последующим формированием адаптивной способности (пластичности мозга) [19, 29].

Чтобы понять суть БОС - тренинга, необходимо рассмотреть простую схему на примере травмированной конечности с ее продолжительной иммобилизацией. Длительная неподвижность приводит к потере связи между произвольным (корковым) сигналом, который заставляет мышцу или ее группу совершать действие, и ответом этих же мышц. Соответственно, восстановление этой связи является ключевой задачей реабилитации больных с двигательными нарушениями после перенесенных заболеваний и травм. Принцип восстановления мышечной активности основан на регистрации осязаемого или неосязаемого электромиографического (ЭМГ) сигнала с его последующим усилением, компьютерной обработкой и представлением его на мониторе в виде изображения. После этого пациенту предлагается выполнение упражнений на тренажере с целью как можно

больше приблизить собственные физиологические параметры к нормальному значению. С учетом тяжести заболевания можно регулировать степень сложности и продолжительность манипуляций [13].

Электроэнцефалографическое (ЭЭГ) биоуправление основано на регистрации и предъявлении пользователю собственных биопотенциалов мозга для последующей регуляции психического состояния. Метод используется в основном для подавления тета-ритма и обучения навыкам управления альфа- и бета- ритмами, зарекомендовал себя в профилактике и лечении инсультов.

Кожно – температурное биоуправление базируется на улавливании небольших температурных колебаний на поверхности кожи и предоставлении информации пациенту. Данный вид БОС предполагает возможность регуляции просвета сосудов в виде их сужения при условии состояния возбуждения обследуемого или расширения при релаксации. Методика особенно актуальна в лечении мигрени [33, 34].

### **1.6 Пластичность мозга как компенсаторный механизм восстановления функций.**

Под пластичностью мозга подразумевается его способность к изменениям под воздействием обучения или повреждающего действия. В последнем случае механизмом восстановления утраченных функций является регенерация. Явление пластичности можно наблюдать при повреждении какого либо участка мозга, после чего он утрачивает контроль над соответствующей частью тела (при повреждении моторной коры мышцы конечностей и туловища парализуются). Так как пораженная область мозга не имеет возможности выполнять свои функции, ее обязанности на себя берет другой неповрежденный отдел. В случае нарушения деятельности периферических или сенсорных органов информация не поступает в соответствующий участок мозга, и он бездействует до тех пор, пока не будет вовлечен в обслуживание других функций [31, 32, 50].

## **1.7 Применение метода биоуправления в реабилитации больных с неврологическими расстройствами.**

Симптомы неврологических заболеваний достаточно разнообразны и в значительной степени ухудшают качество жизни пациента. Например, болезнь Паркинсона характеризуется хроническим прогрессирующим заболеванием головного мозга, причиной которого является дегенерация дофаминергических нейронов черной субстанции. БП проявляется гипокинезией и ригидностью, тремором покоя, нарушением ходьбы и постуральной неустойчивостью [20]. По некоторым данным, было проведено исследование метода функциональной саморегуляции на основе БОС при лечении болезни Паркинсона, которое предполагало выбор процедуры тренинга в зависимости от симптоматики. Поскольку тремор покоя усиливается при стрессе и тревожном состоянии, имеет место проведение релаксационного тренинга по параметрам сердечно – сосудистой системы.

Суть его состоит в самостоятельном снятии напряжения и сведения к минимуму возможности появления стрессового состояния с помощью упражнений на успокоение и расслабление. При ортостатической гипотензии наблюдается пониженное парасимпатическое влияние вегетативной нервной системы (ВНС) на мозговое и системное кровообращение. БОС – тренинг на повышение вариабельности сердечного ритма позволяет восполнить этот недостаток, а так же обеспечить устойчивость организма к дисциркуляторным расстройствам в условиях психоэмоциональной нестабильности. Ликвидация ригидности и боли достигалась электромиографическим БОС – тренингом путем снижения избыточной мышечной активности и релаксации [21,22, 35].

Актуальной проблемой неврологии являются цереброваскулярные заболевания, которые проявляются сосудистой дисциркуляторной энцефалопатией (СДЭ). Данная патология проявляется в виде нарастающей недостаточности кровоснабжения головного мозга с появлением многочисленных мелких очагов измененной мозговой ткани. Применение

метода биоуправления на основе БОС дает возможность привести в норму топографические параметры артериальной и венозной сосудистой системы мозга, однако некоторые вопросы по реализации данного метода на больных с СДЭ не изучены и не привлекли особого внимания врачей.

В ходе работы во избежание глазодвигательных артефактов электроды накладываются на мастоидальные отростки слева и справа, тем самым характеризуя суммарный кровоток. Перед проведением методики на основе БОС необходимо проанализировать показатели реоэнцефалограммы (РЭГ), после чего в зависимости от этих данных применяется биотренинг на повышение или понижение кровенаполнения сосудов и венозного оттока, на нормализацию тонуса сосудов. Компьютерная регистрация и анализ РЭГ позволяет использовать необходимый параметр для управления им в самостоятельном режиме. Усиление и репрезентация физиологических данных в цифровом или звуковом виде способствует более активному сенсорному контролю на основе биологической обратной связи. Нормализация параметров РЭГ и снижение выраженности симптомов заболевания характеризуют метод биоуправления по реоэнцефалограмме как эффективный способ реабилитации больных с сосудистой дисциркуляторной энцефалопатией [23, 24, 36].

### **1.8 Современные технологии виртуальной реальности (VR) в сфере медицины. Понятие VR.**

Термин «виртуальная реальность» был предложен в 1989 году и представляет собой искусственный мир, сгенерированный и наполненный трехмерными объектами с помощью специальных компьютерных средств. Разработка произвольного варианта виртуального окружения и перемещение в нее испытуемого позволяет изучить его поведение и реакцию на непривычную обстановку, проводить обучающие тренинги в образовательных целях, а так же разрабатывать специальные упражнения в целях диагностики и реабилитации больных с различными заболеваниями.

Для перемещения человека в виртуальное пространство, необходимо осуществить подмену генерируемой компьютером информации, поступающей на органы чувств. А поскольку наибольший поток информации об окружающем мире мы получаем посредством зрения, речь пойдет о создании изображений и замещении ими зрительной информации от окружающей среды.

#### *1.8.1 Принцип восприятия человеком объемного изображения. Стереопсис.*

В естественной среде окружающие нас предметы имеют объем. Фиксируя взгляд на каком – либо объекте, каждый глаз наблюдает свою «картинку», которая проецируется на сетчатку и сливается в сознании в единый образ. Однако если смотреть на экран телевизора, изображение вовсе не кажется объемным, поскольку оно изначально не являлось таковым. Для полного погружения человека в виртуальный мир необходимо выполнить условие максимального приближения изображения к реальности, что стало возможным благодаря технологиям трехмерного отображения средствами вывода [46]. Принцип работы последних базируется на явлении *стереопсиса* – психофизиологической реакции на сетчатую горизонтальную диспаратность при бинокулярном зрении, что позволяет человеку ощущать глубину пространства. Чем больше диспаратность, тем выраженнее воспринимается глубина [47].

Стереоскопическое восприятие обозначает способность воссоздания трехмерной картины из двух сетчаточных изображений при наблюдении за реальными объектами или стереопарами. Стереопара – это пара идентичных изображений одного и того же предмета, полученных с разных точек зрения. Наши глаза видят объект под разными углами, и чем больше он удален от наблюдателя, тем меньше разница между изображениями на сетчатке правого и левого глаза. Следовательно, явление стереопсиса становится невозможным [46].

Технически эта задача решается либо за счет выведения изображения через два дисплея, каждый из которых виден только соответствующему глазу, либо за счет разделения «общего» изображения с помощью различных ухищрений таким образом, чтобы каждый из глаз видел только предназначенную для него информацию. Так, современные очки виртуальной реальности содержат в себе две встроенные линзы или экраны, которые обеспечивают вывод изображения отдельно для каждого глаза (то есть каждый глаз видит свой кадр стереопары).

### *1.8.2 Феномен присутствия в виртуальной среде*

Феномен присутствия в виртуальной среде, или степень вовлеченности определяется тем, насколько для испытуемого размыта грань между явлениями реального мира и искусственно созданного. То есть, в какой мере его когнитивные процессы сосредоточены на виртуальной реальности [48,49]. Термин погруженности в виртуальное пространство сводится к понятию «быть там», которое складывается сугубо из субъективных представлений пользователя о том, где он ощущал свое присутствие в определенный момент времени [48]. Зрительная изоляция от внешнего окружения обеспечивается очками виртуальной реальности, однако для предотвращения отвлекания человека от посторонних звуков и более полного погружения можно задействовать аудиальный канал получения информации. Для передачи пользователю вестибулярных ощущений применяются различные беговые дорожки (omnidirectional treadmills), благодаря чему создается впечатление перемещения в виртуальном мире и снижает риск возникновения киберболезни за счет исчезновения противоречия между видимым и реальным движением.

### **1.9 Преимущества виртуальной среды для исследований.**

Говоря об исследовательских возможностях, можно отметить ряд преимуществ виртуальной среды. Во-первых, экологическая валидность. С помощью программных средств можно создавать образы как нереальных миров, так и повседневной обстановки с контролем их параметров по мере

необходимости. Во-вторых, гибкость. VR моделируется таким образом, чтобы была возможность вносить изменения в окружающие предметы, создавать новые раздражители в виде подвижных или неподвижных объектов и др. В-третьих, полимодальная стимуляция. В виртуальной среде позволяет имитировать зрительные, тактильные, слуховые образы. В-четвертых, возможность точной и полной регистрации параметров наблюдателя во время исследования [37, 38, 41].

#### **1.10 Применение метода виртуальной реальности в восстановлении двигательной активности.**

В настоящее время в реабилитации больных с нарушением двигательной активности широко используется метод «наблюдения-подражания», поскольку повышает пластичность мозга и как следствие – восстановление утраченной моторной функции. Виртуальная реальность при этом создает реалистичное окружение для больного, погружаясь в которое с использованием специальных устройств исключается возможность отвлечения внимания от посторонних раздражителей [40].

Некоторые авторы в своих исследованиях имитировали деятельность поврежденной части тела в виртуальной среде. К примеру, больному после перенесенного инсульта предлагали совершать двигательные акты здоровой рукой, однако в процессе занятия он наблюдал на экране монитора, как работает не только здоровая рука, но и поврежденная. Таким образом, визуальное подкрепление деятельности стимулировало зеркальные нейроны, которые тесно взаимодействуют участками мозга, ответственных за планирование деятельности. Это оказывает влияние на моторную кору, побуждая к мышечной активности [39, 41].

В одном из опытов для восстановления вестибулярной функции пациенту предлагается встать на подвижную платформу перед монитором с изображением палубы раскачивающегося по волнам корабля, при этом необходимо как можно дольше удерживать равновесие. После нескольких курсов таких упражнений движущееся виртуальное окружение заметно

улучшало сенсорную адаптацию, что помогало сохранить устойчивость испытуемого [50].

На сегодняшний день виртуальная реальность зарекомендовала себя в сфере медицины в качестве способа преодоления фобий и посттравматического стресса, в лечении шизофрении и реабилитации больных. Такой подход обеспечивает большой интерес пациентов за счет погружения в новую реальность, которая может выглядеть как повседневность или же не иметь с ней ничего общего. Процесс реабилитации пациентов превращается в увлекательную игру или соревнование с другими «участниками», что приводит к снижению депрессии, отвлекаемости и побуждает к активной работе над собой. Данный подход к восстановлению утраченных функций организма ни в коем случае не заменяет традиционные методы реабилитации, однако является их прочным дополнением [25, 42].

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### 2.1 Подбор оборудования и программного обеспечения для реализации среды виртуальной реальности.

Для того, чтобы произошло успешное погружение пользователя в виртуальную реальность, необходимо произвести подмену информации, генерируемой компьютером и поступающей на органы чувств. Таким образом, средства вывода являются неотъемлемой частью аппаратного комплекса. Существуют так называемые очки дополненной реальности, работающие по принципу наложения картинки на реальное изображение, однако погрузить человека в виртуальное пространство они не способны. В настоящее время одним из основных средств визуализации являются виртуальные очки, характеризующиеся двухэкраным способом построения изображения. То есть, для каждого глаза в шлем встроен отдельный дисплей, при этом каждый глаз видит только свой кадр стереопары. Всевозможные ошибки практически исключены, что максимально повышает эффект погружения в виртуальный мир. В процессе работы были использованы очки виртуальной реальности Oculus Rift dk2 (рис.11), поскольку они занимают выигрышное положение по соотношению цена – качество. Ниже приведена таблица для сравнения между собой ведущих представителей шлемов виртуальной реальности (табл.1).

Таблица 1

Сравнение характеристик ведущих шлемов виртуальной реальности

	<b>Oculus Rift</b>	<b>Sony HMZ-T1</b>	<b>Silico MicroDisplay ST1080</b>
<b>Разрешение</b>	1920×1080	1280×720	1920×1080
<b>Тип экрана</b>	LCD	OLED	LCoS

<b>Разъем для подключения</b>	DVI/HDMI	HDMI 1.4	HDMI 1.4
<b>Способ подачи 3D сигнала</b>	Отдельные экраны для каждого глаза	Frame Packaging	Frame Packaging
<b>Уровень обзора</b>	110 градусов по диагонали	45 градусов по диагонали	45 градусов по диагонали
<b>Отслеживание движения головы</b>	Да	Нет	Нет



Рисунок 11. Очки виртуальной реальности Oculus Rift

В чем же заключаются преимущества Oculus Rift?

*Область видимости.*

Область видимости – это самая важная характеристика для шлема виртуальной реальности. Чем большая область обзора шлема, тем больше погружение в виртуальную реальность. Угол обзора у Oculus Rift составляет 110 градусов (поле зрения человека составляет около 180 градусов по горизонтали), что позволяет рассматривать область не только строго перед собой, но и по периферии.

### *Отслеживание движения головы.*

Это одна из главных особенностей, которых пока нет у конкурентов Oculus Rift. В нем используется одна из самых совершенных систем отслеживания положения в пространстве 360° с задержкой в 50 миллисекунд. Датчики движения, встроенные в очки, отслеживают вращение и поворот головы пользователя с частотой 1000 Гц. Благодаря их высокой чувствительности даже самое незначительное движение головы мгновенно отображается в виртуальном пространстве, что позволяет человеку осматривать свое окружение подобно тому, как он это делает в реальном мире. При разрешении 1280x800 пикселей на каждый глаз приходится изображение размером 640x800 пикселей.

### *Передача 3D с помощью side-by-side.*

Oculus Rift создает стереоскопический 3D эффект со значительной глубиной, масштабом и параллаксом (изменение видимого положения объекта относительно удаленного фона в зависимости от положения наблюдателя).

Этот эффект достигается благодаря горизонтальной стереопаре Side-by-side: изображения для каждого глаза выводятся на соответствующий дисплей и затем корректируются при помощи линз, что позволяет создать стереоскопическое 3D изображение с большой глубиной (Рис. 12). Данный принцип передачи изображения основан на естественном восприятии изображений нашими глазами (бинокулярное зрение).



Рисунок 12. Изображение в очках виртуальной реальности Oculus Rift.

Кроме того, разработчики позаботились о людях с плохим зрением в виде близорукости и дальнозоркости и включили в комплект 3 набора сменных линз.

#### *Безопасность для глаз*

Oculus Rift не вызывает усталость глаз, так как в шлеме Oculus Rift глаза пользователя не сфокусированы на одном расстоянии, а постоянно смотрят на разные предметы на разных расстояниях. Таким образом зрачок находится в режиме, в котором он находится в реальной жизни.

#### *Портативность и доступность.*

Oculus Rift — это очки виртуальной реальности высокого класса по доступной цене. Легкие и удобные, они специально спроектированы для максимального комфорта при долгих игровых сессиях. Вес версии очков для разработчиков составляет 369 г.

### *Программное обеспечение.*

Oculus Software Development Kit содержит открытый исходный код, документацию и примеры работ. Oculus SDK включает в себя движок для интеграции с Unreal Development Kit, Unreal Engine 4 и Unity 4, что позволяет начать разработку игр проще и быстрее, чем когда-либо. Oculus Rift и Oculus SDK поддерживают Windows, Mac OS X и Linux.

В ходе данной работы было необходимо создать виртуальную трехмерную сцену для проведения экспериментального исследования. В соответствии с этим требовалось выбрать набор инструментов для создания трехмерных моделей и текстур, группировки их в сцену и создание конечного исполняемого файла для шлема виртуальной реальности Oculus Rift. Перечислим требования, которым должен отвечать редактор 3D моделей:

1. Возможность создавать объемную модель любой сложности;
2. Экспорт в один из стандартных и широко распространенных форматов;
3. Наличие достаточного количества документации и обучающей литературы;
4. Возможность бесплатного доступа к редактору.

Из представленных на рынке трехмерных пакетов можно выделить два:

1. Autodesk 3ds Max;
2. Blender.

Для выполнения поставленных нами задач с технической точки зрения они равнозначны. Однако у Blender есть ряд несомненных преимуществ: во-первых, он весит всего на всего несколько десятков мегабайт (за счет отсутствия громоздких систем защиты и регистрации, а так же предустановленных сцен), чем не может похвастаться Autodesk, вес которого порядка 2 Гб. Во-вторых, пользоваться пакетом можно без инсталляции (достаточно запустить его с флеш-карты и начать работу с любого устройства). В-третьих, Blender принадлежит к свободному ПО, он абсолютно бесплатен для любого применения, распространяется с

открытым исходным кодом и свободной лицензией. В-четвертых, пакет переведен на 26 языков, в том числе и на русский. Несомненно, это обеспечивает удобство в работе и делает ее более плодотворной, поскольку не возникает трудностей в плане языкового барьера.

Таким образом, нам становится доступным бесплатный кроссплатформенный пакет для трехмерного моделирования профессионального уровня. Кроме того, благодаря доступности Blender и трудам его пользователей появляется возможность использовать готовые модели с целью наполнения собственной сцены, а так же для создания обучающих материалов в виде видеороликов.

Требования к пакету компоновки сцен:

1. Возможность создания трехмерной сцены, используя модели пакета Blender;
2. Поддержка устройства виртуальной реальности Oculus Rift;
3. Наличие достаточного количества документации и обучающей литературы;
4. Возможность бесплатного доступа к пакету.

Данным требованиям отвечают игровые движки Unity3d и Unreal Engine (последний, благодаря смене лицензии разработчиками, стал бесплатным с недавнего времени). Unreal Engine имеет в своем наборе огромное количество редакторов, на изучение которых могут уйти месяцы. Поскольку в нашем случае не предполагается создание массивной сцены со сложными и углубленными настройками объектов, мы будем использовать игровой движок Unity3d. Он более удобный и простой в использовании, позволяет конструировать трехмерные сцены достаточной сложности, используя модели в формате пакета Blender и создавать исполняемые файлы для устройства виртуальной реальности Oculus Rift.

Для создания текстур использовался кроссплатформенный (поддержка систем Windows, Linux, Mac OS X и др.) свободный растровый графический редактор с открытым исходным кодом – GIMP. Доступных альтернатив с

подобной функциональностью просто нет, все конкуренты либо привязаны к какой-то операционной системе, либо имеют высокую цену, либо недостаточный функционал.

### Microsoft Kinect – устройство безмаркерного захвата движений.

Kinect – бесконтактный сенсорный игровой контроллер, разработанный фирмой Microsoft для игровой консоли Xbox 360, позднее был адаптирован для компьютеров под управлением ОС Windows (Рис. 14). Состоит из аппаратной и программной части.



Рисунок 13. Microsoft Kinect

Аппаратная часть представляет собой горизонтально вытянутую коробку размером 23x4см, которая соединяется с компьютером с помощью USB 2.0 кабеля. Kinect включает в себя инфракрасный проектор, инфракрасный приемник, цветную камеру и набор микрофонов (Рис. 15).

Инфракрасный проектор (IR Emitter) – излучает лучи в инфракрасном диапазоне, которые отражаясь от объектов попадают в инфракрасный приемник (IR Depth Sensor);

Инфракрасный приемник (IR Depth Sensor) – регистрирует отраженные инфракрасные лучи и определяет расстояние от датчика до объектов создавая матрицу расстояний. Максимальное разрешение 640x480 при 30 кадрах в секунду;

Цветная камера (Color Sensor) – захватывает видео с разрешением 1280x960 при 12 кадрах в секунду. Вертикальный угол обзора 43°, горизонтальный -- 57°. Формат картинки может быть RGB или YUV.

Набор микрофонов (Microphone Array) – четыре микрофона которые могут производить локализацию звука (т.е. определять его источник) и подавление шумов.

Привод наклона (Tilt Motor) – механический привод, который дает возможность программно корректировать наклон устройства по вертикальной оси в диапазоне  $\pm 27^\circ$ .

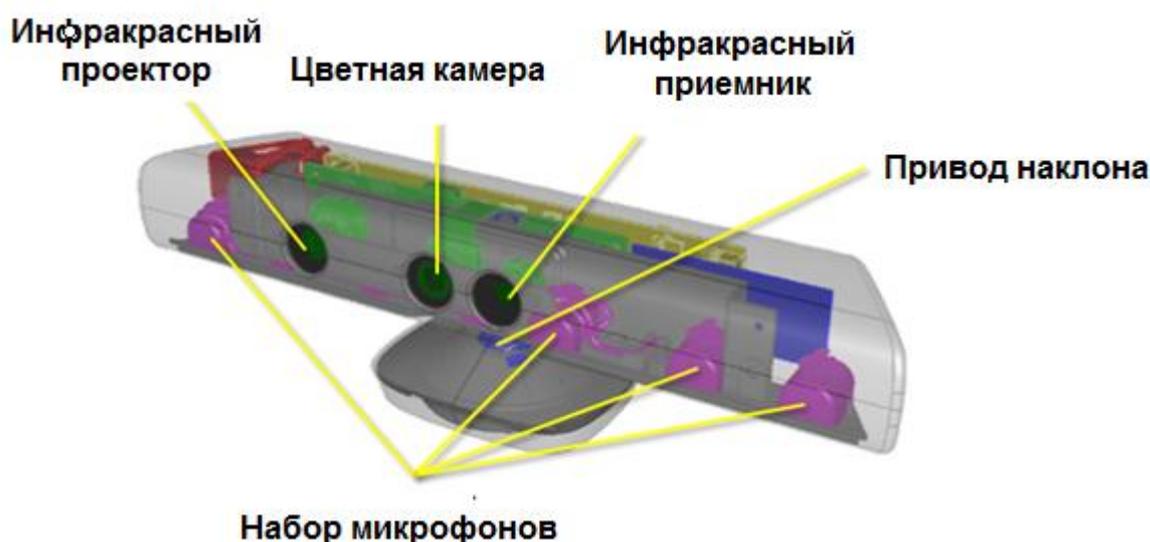


Рисунок 14. Внутреннее устройство Microsoft Kinect.

Программная часть позволяет полностью распознавать трехмерные движения тела (Skeletal Tracking), мимику лица (Face Tracking) и речь (Speech Recognition). Для доступа к возможностям устройства используется специальный инструмент разработчика Kinect for Windows SDK. Он включает в себя программные интерфейсы (API), драйвера для ОС Windows, примеры кода и документацию. Также используется Kinect Studio – инструмент для записи и просмотра видеопотока и данных датчика, а также отладки.

Kinect for Windows SDK предоставляет нам три потока данных: видеопоток (Color Stream), аудиопоток (Audio Stream) и данные датчика (Depth Stream), которые можно использовать с помощью библиотеки NUI Library. Для этого нужно выбрать сенсор и инициализировать требуемые потоки данных. Одновременно может быть подключено до четырех сенсоров, которые перебираются с помощью класса KinectSensor.

Видеопоток. SDK позволяет установить требуемый уровень качества и формат картинки при его инициализации. От этого зависит объем и скорость данных, передаваемых от сенсора. Пропускная способность ограничена интерфейсом USB 2.0. Для картинки с разрешением 1280x960 количество кадров не более 12 в секунду, а для разрешения 640x480 – 30 кадров в секунду. Цветовая модель изображения может быть RGB или YUV.

Данные дальномера. Поток состоит из кадров, каждая точка которых содержит расстояние (в миллиметрах) от сенсора до ближайшего объекта в поле зрения камеры. Для этого потока при инициализации можно установить разрешение кадра через переменную `DepthImageFormat`. Для частоты кадров 30 доступны разрешения 80x60, 320x240, 640x480.

Аудиопоток. Kinect включает в себя четыре микрофона, которые работают параллельно и используют 24-битный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), а также встроенный обработчик звукового сигнала, способный подавлять эхо и посторонние шумы. Каждый микрофон имеет определенную направленность и узкий диапазон прослушивания. Эхо- и шумоподавление могут быть включены при инициализации потока. Оптимальное расстояние между источником звука и микрофонами – 1-3 метра. Микрофоны могут быть задействованы для локации источника звука (определения положения), распознавания речи или простого захвата аудиосигнала.

Трекинг человеческой фигуры (Рис. 16). Функция, благодаря которой Kinect способен распознавать фигуру человека и его движения. Одновременно возможно отслеживание до шести человек в поле зрения устройства, но детальная информация может быть получена только для двух (поведение сенсора по умолчанию). В терминах инструментария разработчика, точки в построенном скелете называются `Joint`. Информация о фигурах в кадре может быть получена с помощью инициализации нужного потока данных и обработки события `SkeletonFrameReady`. Каждая фигура представляет собой объект класса `Skeleton`. Информация о состоянии

трекинга (построен ли полный скелет или известно только местоположение фигуры) находится в свойстве `TrackingState`, данные об узлах фигуры хранятся в свойстве `Joints`.

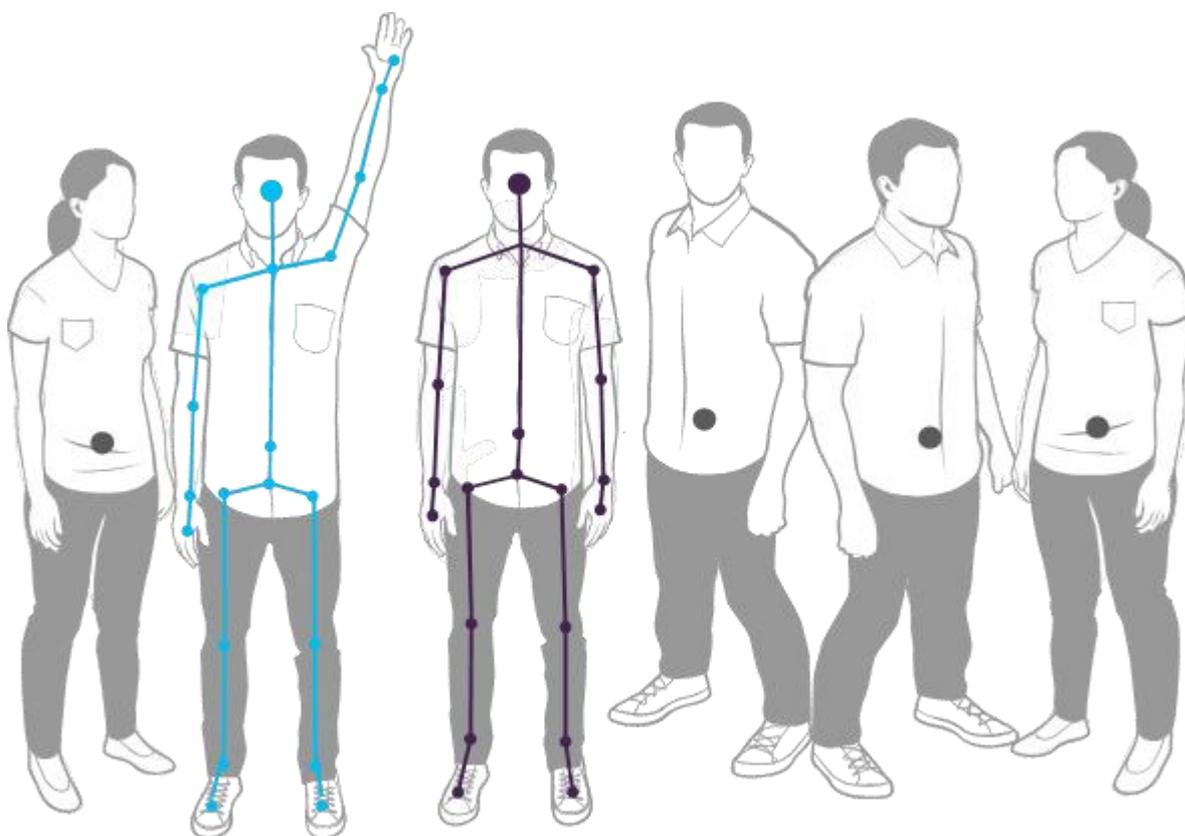


Рисунок 15. Трекинг человеческой фигуры в виде двадцатисегментной модели.

Трекинг сидящей фигуры (Рис. 17) . В данном режиме сенсор строит лишь верхнюю часть узлового скелета. Отслеживать также можно до шести фигур и получать детальную информацию только по двум. Этот режим более ресурсоемкий, поэтому при инициализации необходимо уменьшить частоту кадров.

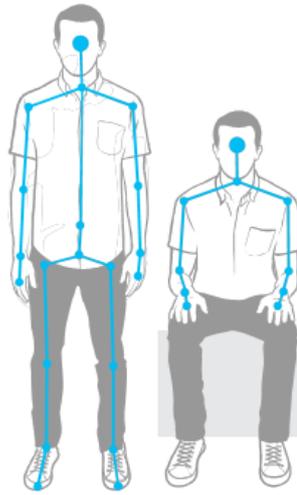


Рисунок 16. Трекинг сидящей фигуры.

## ГЛАВА 3.РЕЗУЛЬТАТЫ

### 3.1 Виртуальное окружение.

При помощи среды разработки Unity создана динамическая виртуальная среда с 3D объектами на базе, которой будут проводиться тренинги БОС. Виртуальная среда полностью программируемая, ее можно изменять под нужды заказчика и добавлять различные сценарии проведения исследований.

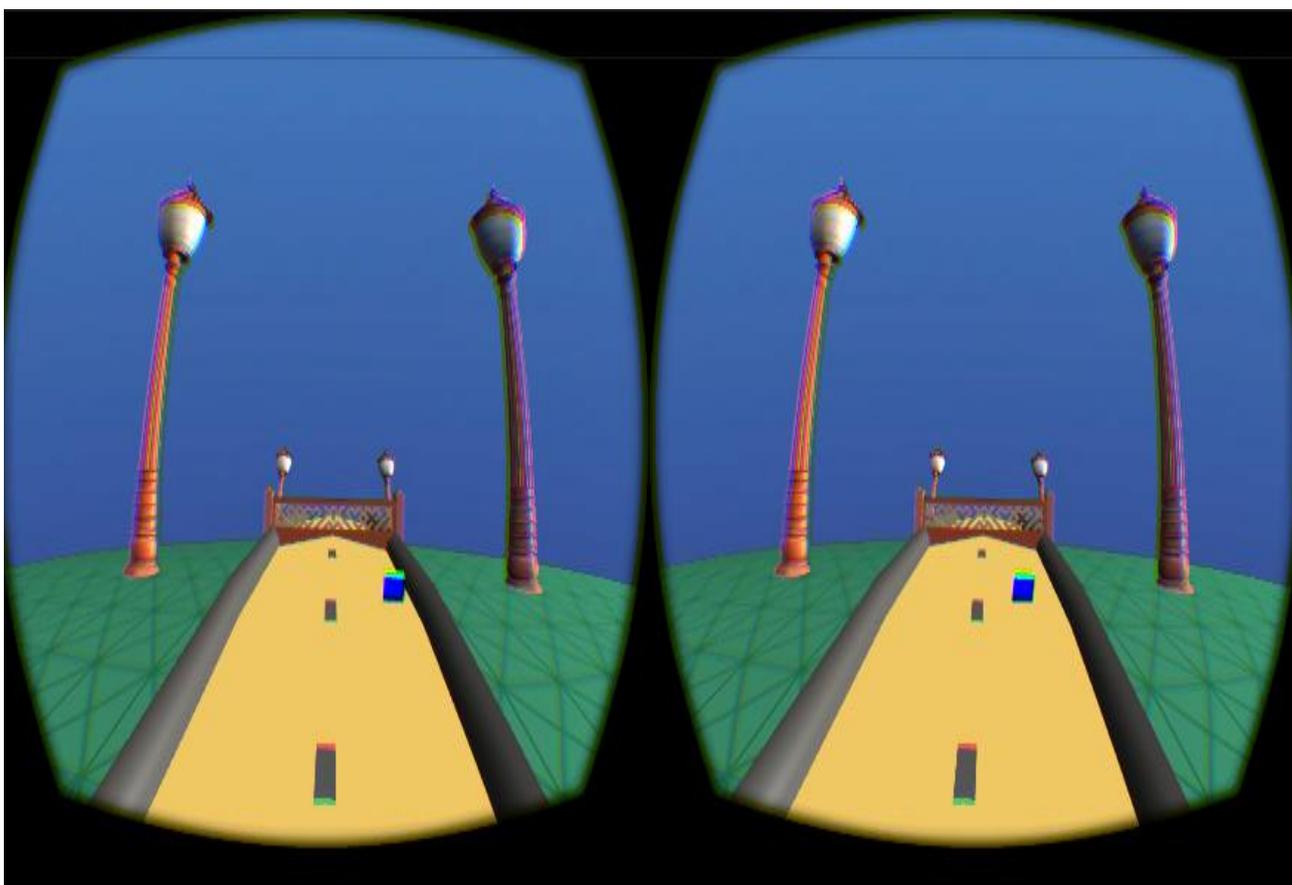


Рисунок 17. Виртуальное окружение «Формальный» вариант.

### 3.2 Интеграция среды виртуальной реальности с устройством безмаркерного захвата Microsoft Kinect.

В процессе работы среда виртуальной реальности была интегрирована с устройством безмаркерного захвата движений Microsoft Kinect (Рис.21). С помощью инфракрасного проектора и специальной матрицы это устройство позволяет получать информацию о движении человека в виде

двадцатисегментной модели - координат в пространстве по осям X, Y, Z двадцати опорных точек (Рис. 4). Данные регистрируются с частотой дискретизации 15Гц (т.е. 15 раз в секунду). Устройство записывает эти данные в специальный файл Nui\_skeleton. Таким образом, мы получаем данные об изменениях положения тела человека во время выполнения функциональных проб.

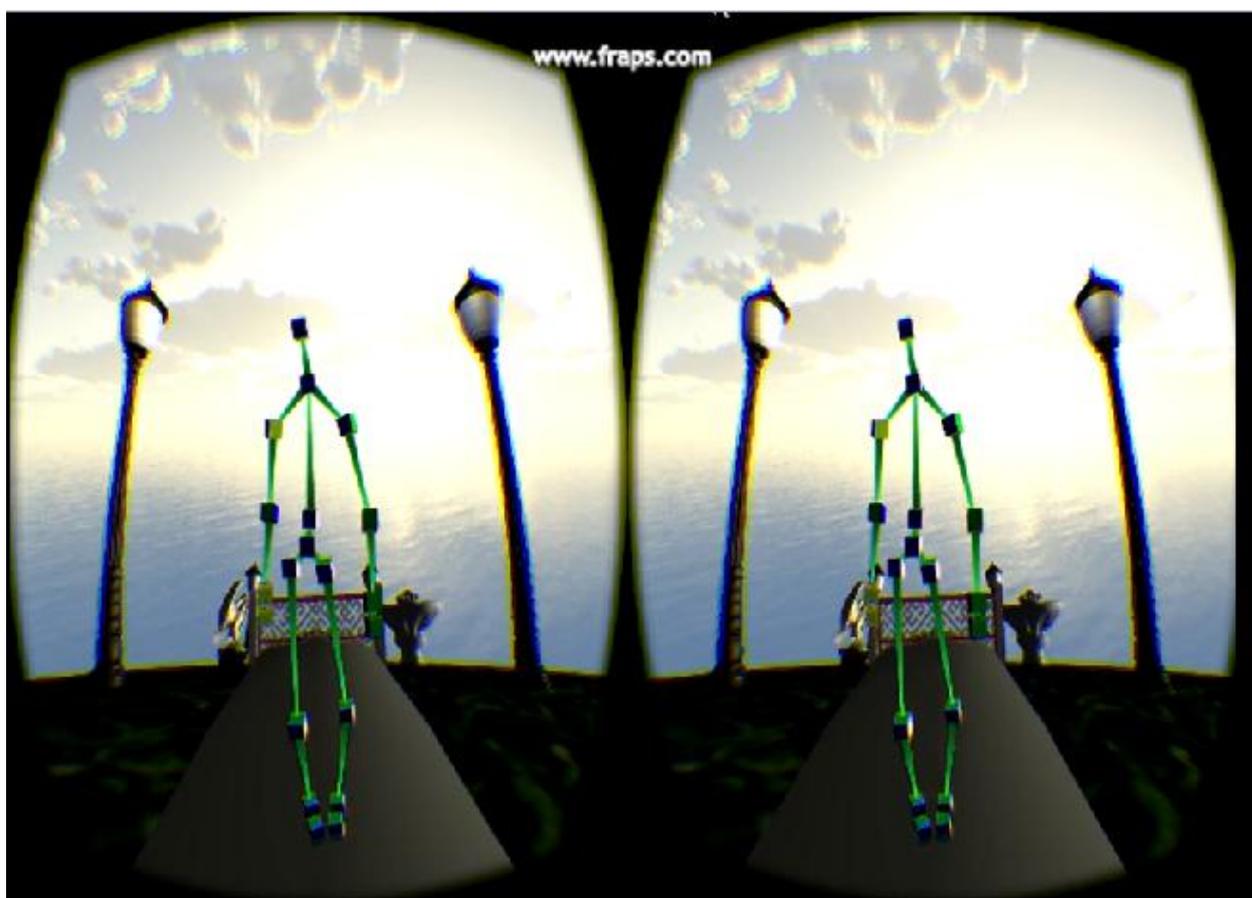


Рисунок 18. Интеграция виртуального окружения с Microsoft Kinect.

### **3.3 Порядок проведения исследования.**

На рис. 18 представлена структурная схема системы реабилитации пациентов с нарушениями функционального состояния вестибулярного аппарата. Она включает в себя динамическую стабильную платформу, устройство виртуальной реальности (Oculus Rift DK2), устройство безмаркерного захвата движений (Kinect for Windows) и персональный компьютер с набором специального программного обеспечения. Данная система используется для

«обучения» системы поддержания равновесия и управления состоянием испытуемого с помощью биологической обратной связи в условиях виртуальной реальности (приложение на основе Unity).

В ходе проведения тренинга с помощью очков Oculus Rift DK2 и программного приложения (виртуального окружения) происходит воздействие на зрительный анализатор пациента для рассогласования совместной работы компонентов системы поддержания равновесия и включения постуральных рефлексов, которые обеспечивают сохранность вертикального положения тела человека в пространстве. Параллельно с этим испытуемый находится на подвижной стабильной платформе, которая наклоняется в разных направлениях (одновременно с наклоном виртуального окружения) и позволяет задействовать проприоцептивность для подключения к работе мышц-стабилизаторов.

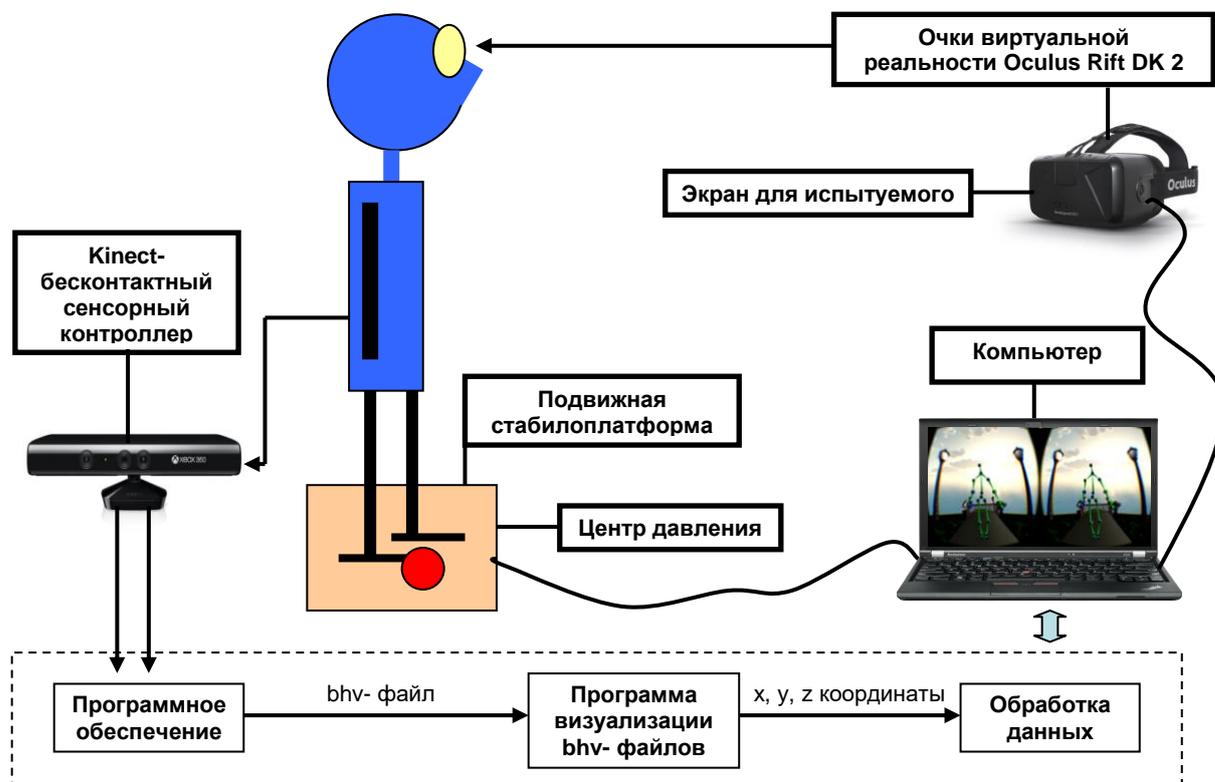


Рисунок 19. Структурная схема системы реабилитации пациентов с нарушениями функционального состояния вестибулярного аппарата.

### 3.4. Методика проведения исследования

С учетом вышесказанного разработан сценарий проведения тренинга для тренировки вестибулярного аппарата человека в условиях виртуальной реальности. Предложенная методика включает в себя несколько этапов:

Виртуальное окружение «Неформальный вариант».

#### Этап в очках виртуальной реальности без стабилоплатформы

1. Статическое положение тела пациента, привыкание к виртуальному окружению (Рис.20).

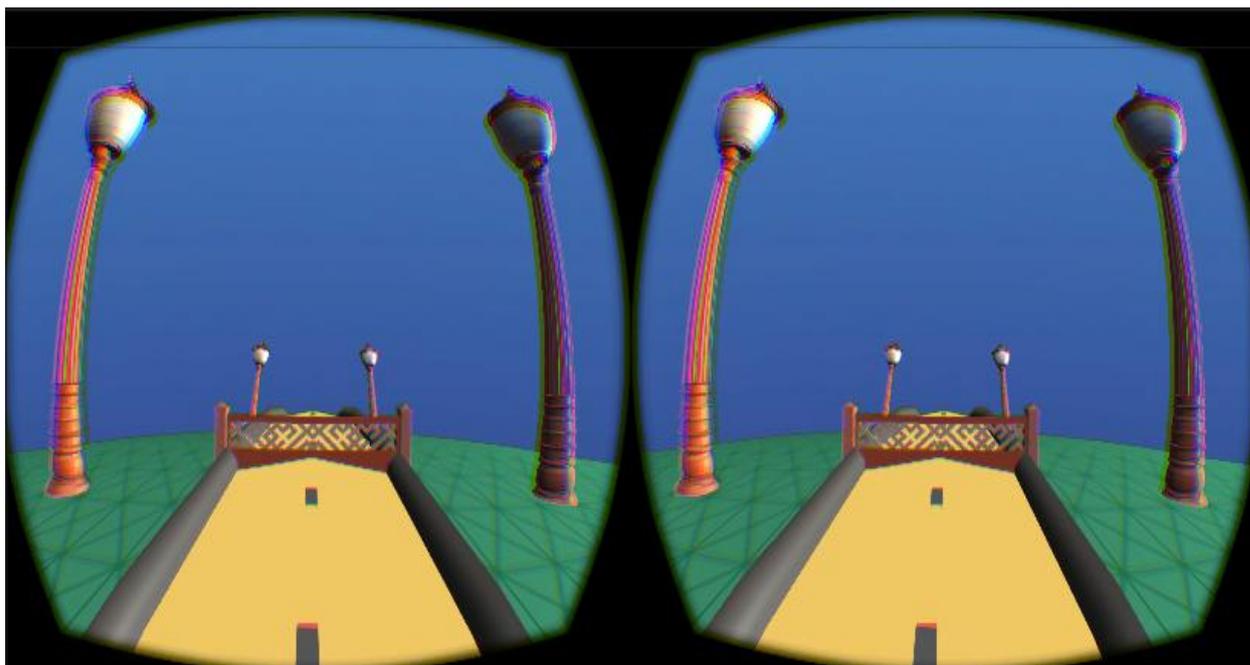


Рисунок 20. Виртуальное окружение без изменений.

2. Медленная ходьба по дорожке с преодолением препятствий 0.5 м/с, высота препятствия 0.3 м.
3. Ускоренная ходьба по дорожке с преодолением препятствий. 1 м/с, высота препятствия 0.3 м

#### Этап в очках виртуальной реальности с использованием динамической платформы

1. Медленная ходьба по дорожке с преодолением препятствий в условиях наклона виртуального окружения и платформы на  $15^{\circ}$  вправо 0.5 м/с, высота препятствия 0.3 м. (Рис.21).

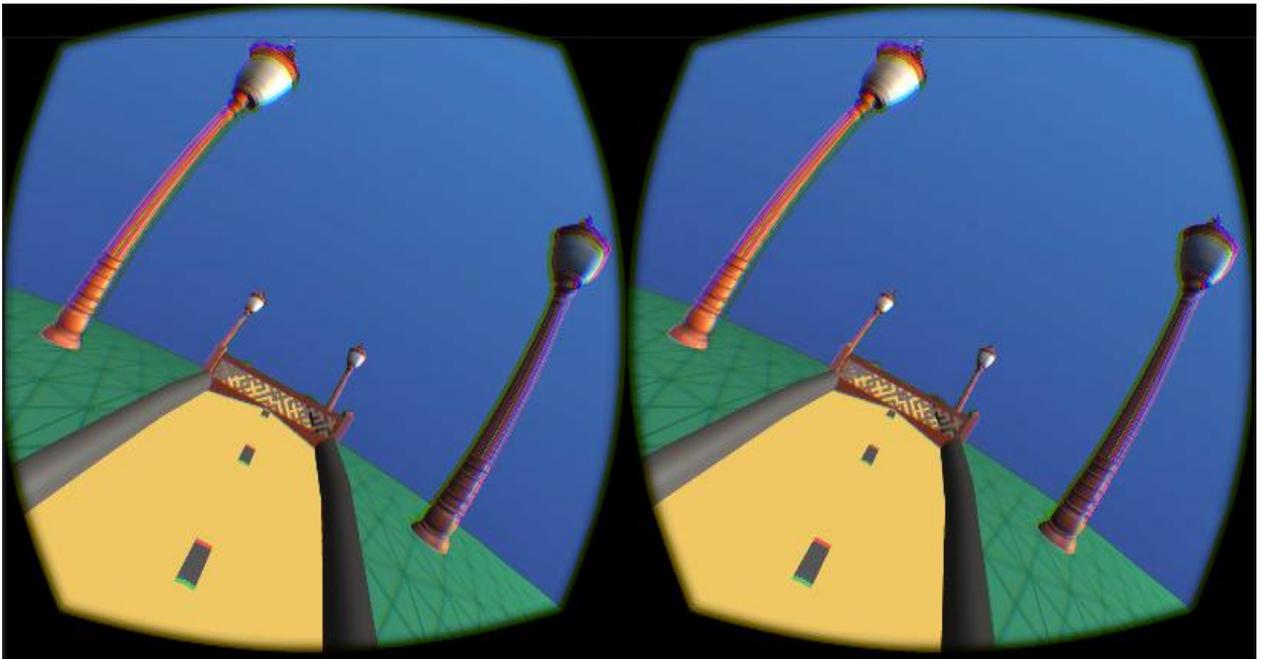


Рисунок 21. Наклон окружения вправо.

2. Медленная ходьба по дорожке с преодолением препятствий в условиях наклона виртуального окружения и платформы на  $15^{\circ}$  влево, скорость 0.5 м/с, высота препятствия 0.3 м. (Рис.22).

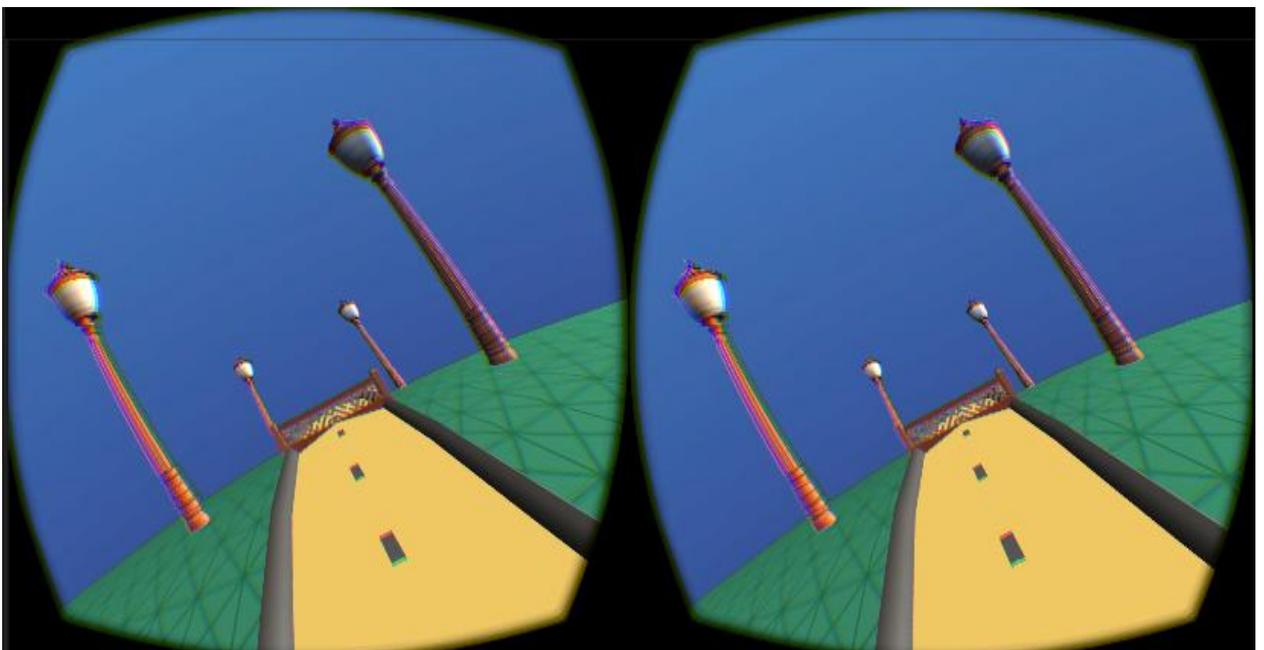


Рисунок 22. Наклон окружения влево.

3. Медленная ходьба по дорожке с преодолением препятствий в условиях наклона виртуального окружения и платформы на  $15^{\circ}$  вперед, скорость 0.5 м/с, высота препятствия 0.3 м (Рис.23).

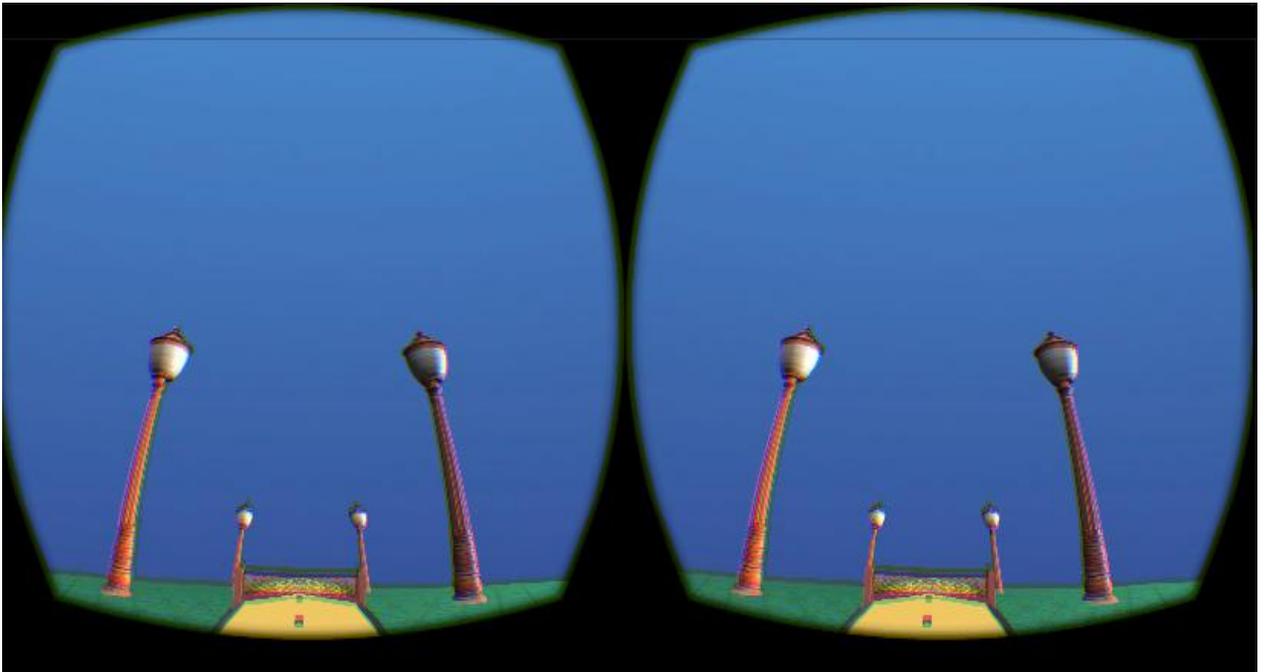


Рисунок 23. Наклон окружения вперед.

4. Медленная ходьба по дорожке с преодолением препятствий в условиях наклона виртуального окружения и платформы на  $15^{\circ}$  назад, скорость 0.5 м/с, высота препятствия 0.3 м (Рис.24).

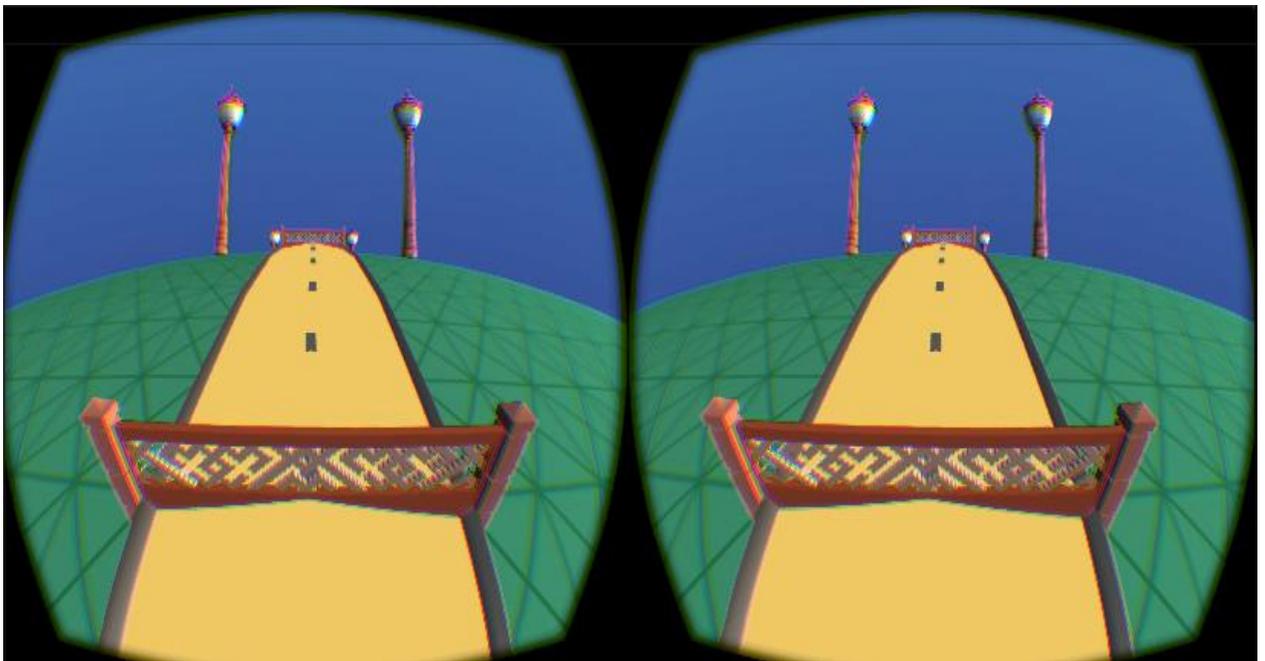


Рисунок 24. Наклон окружения назад.

### **3.5 Разработка скетча для управления динамической платформой.**

В качестве управляющего элемента в схеме используется Arduino Uno. Arduino Uno контроллер построен на ATmega328. Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера AC/DC или батареи.

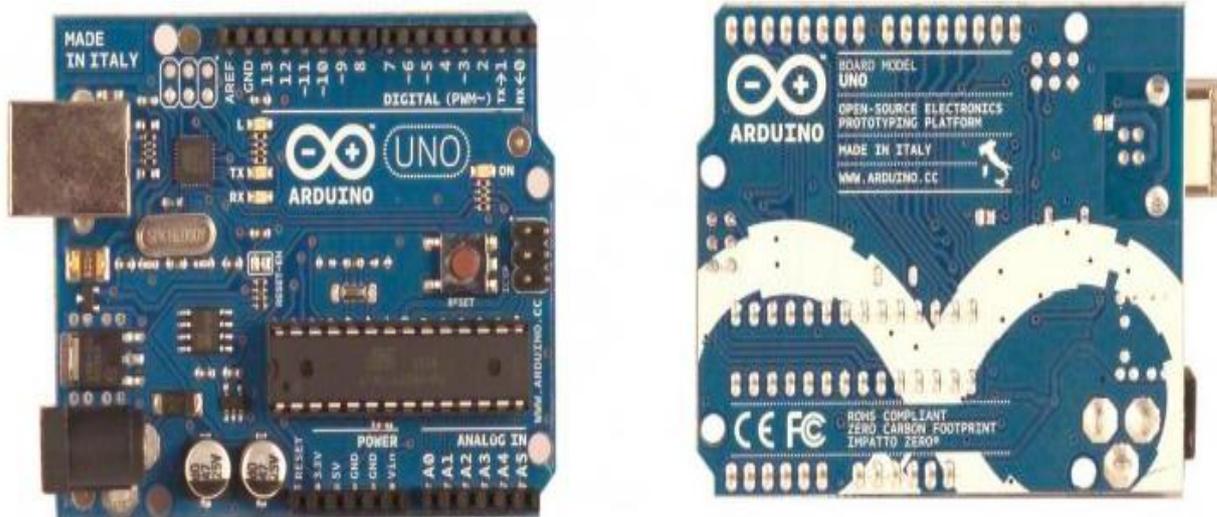


Рисунок 25. Внешний вид Arduino Uno.

### Характеристики

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через вход/выход	40 мА

Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 мА
Флеш-память	32 Кб
ОЗУ	2 Кб (ATmega328)
EEPROM	1 Кб (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц

Для управления двигателями робота необходимо устройство, которое бы преобразовывало управляющие сигналы малой мощности в токи, достаточные для управления моторами. Такое устройство называют **драйвером двигателей**.

Существует достаточно много самых различных схем для управления электродвигателями. Они различаются как мощностью, так и элементной базой, на основе которой они выполнены.

Мы остановимся на самом простом драйвере управления двигателями, выполненном в виде полностью готовой к работе микросхемы. Эта микросхема называется **L293D** и является одной из самых распространенных микросхем, предназначенных для этой цели.

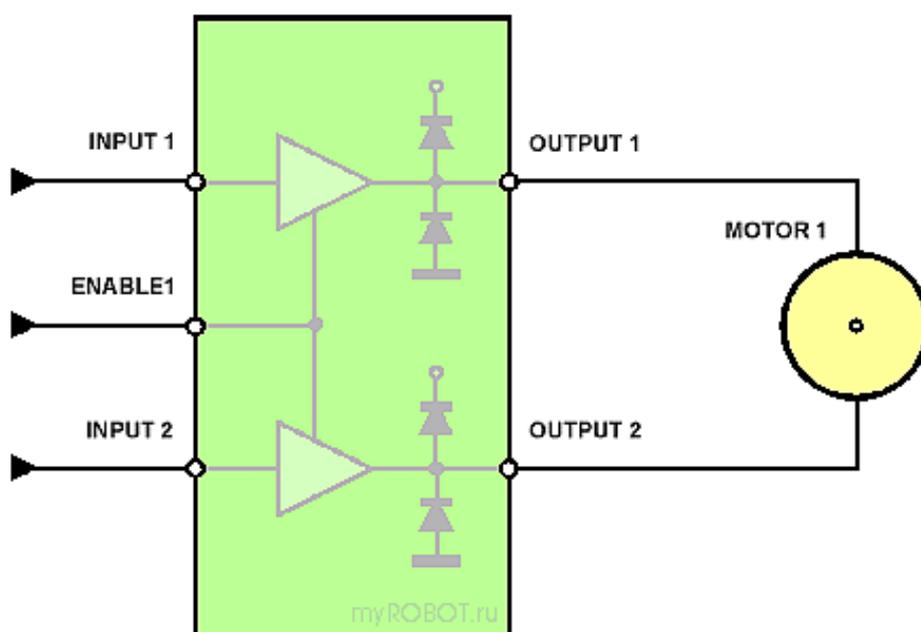


Рисунок 26. Структурная схема L293D

L293D содержит сразу два драйвера для управления электродвигателями небольшой мощности (четыре независимых канала, объединенных в две пары). Имеет две пары входов для управляющих сигналов и две пары выходов для подключения электромоторов. Кроме того, у L293D есть два входа для включения каждого из драйверов. Эти входы используются для управления скоростью вращения электромоторов с помощью широтно модулированного сигнала (ШИМ).

L293D обеспечивает разделение электропитания для микросхемы и для управляемых ею двигателей, что позволяет подключить электродвигатели с большим напряжением питания, чем у микросхемы. Разделение электропитания микросхем и электродвигателей может быть также необходимо для уменьшения помех, вызванных бросками напряжения, связанными с работой моторов.

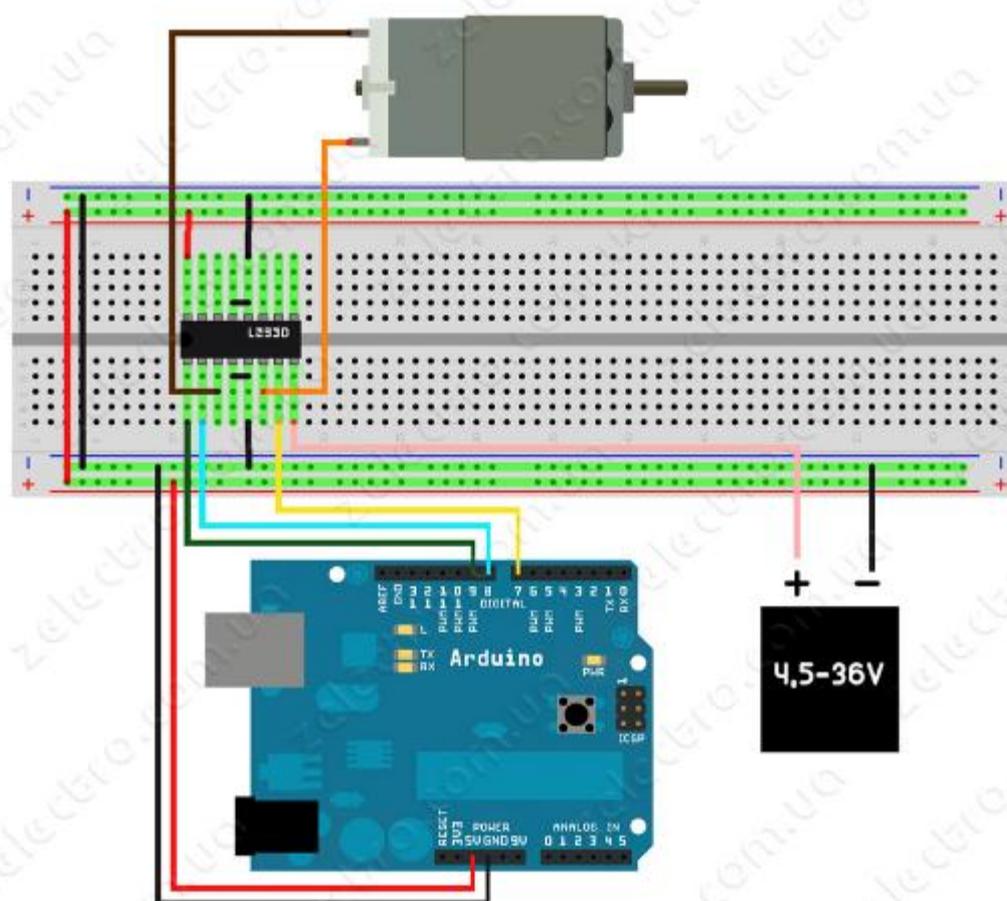


Рисунок 27. Структурная схема работы двигателя.

Пример программы:

```
int IN1 = 8; //input1 подключен к выводу 8
int IN2 = 7;
int IN3 = 2;
int IN4 = 4;
int EN1 = 9;
int EN2 = 6;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode (EN1, OUTPUT); //настройка портов на вывод
  pinMode (IN1, OUTPUT);
  pinMode (IN2, OUTPUT);
  pinMode (EN2, OUTPUT);
  pinMode (IN4, OUTPUT);
  pinMode (IN3, OUTPUT);
}
void loop(){
  while (Serial.available()){
    char val = Serial.read();

    if (val == 'R')
    {
      digitalWrite(IN1, HIGH); //крутим вправо первый двигатель при
отправке команды R
      digitalWrite(IN2, LOW);
      analogWrite(EN1, 50); //задаем скорость вращения двигателя
```

Delay(2000); // длительностью вращения можно задавать угол  
наклона платформы

```
}  
if (val == 'L')  
{  
    digitalWrite(IN1, LOW); //крутим влево первый двигатель  
    digitalWrite(IN2, HIGH);  
    analogWrite(EN1, 50);  
    Delay(2000);  
}  
if (val == 'D')  
{  
    digitalWrite(IN3, HIGH); //крутим вправо второй двигатель  
    digitalWrite(IN4, LOW);  
    analogWrite(EN2, 50);  
    Delay(2000);  
}  
if (val == 'K')  
{  
    digitalWrite(IN1, LOW); //крутим влево второй двигатель  
    digitalWrite(IN2, HIGH);  
    analogWrite(EN2, 50);  
    Delay(2000);  
}  
if (val == 'C')  
{  
    analogWrite(EN1, 0); //отключаем первый двигатель  
}  
if (val == 'A')  
{
```

```
    analogWrite(EN2, 0); //отключаем второй двигатель
  }
  if (val == 'S') // отключение обоих двигателей
  {
    analogWrite(EN1, 0); //отключаем первый двигатель
    analogWrite(EN2, 0); //отключаем второй двигатель
  }
} }
```

С помощью скетча-управления можно также задавать различные сценарии исследования людей с нарушением работы вестибулярного аппарата.

## **ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

### **4.1 Организация и планирование работ**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования. В нашем случае число исполнителей равно двум (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в таблицу типа приведенной ниже

Таблица 4.1

*Перечень работ и продолжительность их выполнения*

<b>Этапы работы</b>	<b>Исполнители</b>	<b>Загрузка исполнителей</b>
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%

Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 20%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 20%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 25% И – 100%
Разработка методики исследований	НР, И	НР – 100% И – 100%
Проведение исследований	НР, И	НР – 100% И – 100%
Разработка структурной схемы	И	И – 100%
Разработка принципиальной схемы	И	И – 100%
Разработка программного обеспечения для работы устройства	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%

#### 4.1.1 Продолжительность этапов работ

В данном пункте расчет продолжительность этапов работ будет осуществляться опытно-статистическим методом, который реализуется двумя способами:

- экспертный;
- аналоговый.

Экспертный способ предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн..

Для выполнения работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);

- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ОЖ}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}$$

где  $t_{ОЖ}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{ВН} = 1$ ;

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_{Д} = 1-1,2$ ; предположим, что  $K_{Д}=1,2$ .)

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{К} \cdot T_{РД}$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, рассчитываемый по формуле

$$T_{К} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (5)$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни ( $T_{КАЛ} = 366$ );

$T_{ВД}$  – выходные дни ( $T_{ВД} = 52$ );

$T_{ПД}$  – праздничные дни ( $T_{ПД} = 10$ ).

На 2016 год коэффициент календарности равен:

$$T_{К} = \frac{366}{366 - 52 - 10} = 1,204$$

В приложении А приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

#### 4.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (i-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TR_{\text{общ}}$  – общая трудоемкость проекта;
- $TR_i$  ( $TR_k$ ) – трудоемкость i-го (k-го) этапа проекта,  $i = \overline{1, I}$ ;
- $TR_i^H$  – накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении;
- $TR_{ij}$  ( $TR_{kj}$ ) – трудоемкость работ, выполняемых j-м участником на i-м этапе, здесь  $j = \overline{1, m}$  – индекс исполнителя, в нашем примере  $m = 2$ .

Степень готовности определяется формулой (5.5)

$$CG_i = \frac{TR_i^H}{TR_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TR_k}{TR_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TR_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TR_{km}}. \quad (5.5)$$

Применительно к таблице (5.2) величины  $TR_{ij}$  ( $TR_{kj}$ ) находятся в столбцах (6,  $j = 1$ ) и (7,  $j = 2$ ).  $TR_{\text{общ}}$  равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета  $TR_i$  (%) и  $CG_i$  (%) на основе этих данных содержится в таблице (4.4).

Таблица 4.4

*Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа*

Этап	$TR_i$ , %	$CG_i$ , %
Постановка задачи	2,71	2,71
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	3,88	6,6
Подбор и изучение материалов по тематике	11,08	17,69
Разработка календарного плана	3,26	20,955
Обсуждение литературы	6,46	27,418
Разработка методики исследований	29,7	52,15
Проведение исследований	35,5	78,33

Разработка структурной схемы	1,19	81,04
Разработка принципиальной схемы	2,04	85,117
Разработка программного обеспечения для работы устройства	8,52	93,6
Оформление расчетно-пояснительной записки	3,3	96,93

## **4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта**

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

### **4.2.1 Расчет затрат на материалы**

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами,

обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 ÷ 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах. Пример см. в табл. 5.5

Таблица 4.5

*Расчет затрат на материалы*

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
3D Kinect	5000	1 шт.	5000
Oculus Rift	60000	1 шт.	60000
Стабилан 01	250000	1 шт.	250000
Персональный компьютер	50000	1экз.	50000
<b>Итого:</b>			365000

Д

опустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны  $C_{\text{мат}} = 365000 * 1,05 = 383250$  руб.

#### 4.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Оклад инженера принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, где исполнитель проходил преддипломную практику. При отсутствии такового берется оклад инженера собственной кафедры (лаборатории).

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{\text{дн-т}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/24,83 \quad (5.6)$$

$ЗП_{\text{дн-т}} = 23264,86/24,83 = 936,97$  - среднетарифная ЗП научного руководителя

$ЗП_{\text{дн-т}} = 6713,65/24,83 = 270,38$  - среднетарифная ЗП инженер учитывающей, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,1$ ;  $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$ ;  $K_{\text{р}} = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$ .

Таблица 0.2

*Затраты на заработную плату*

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	<b>23 264,86</b>	936,97	65	1,699	<b>103474,28</b>
И	<b>6713,83</b>	270,38	60	1,699	<b>27562,54</b>
<b>Итого:</b>					<b>131036,82</b>

#### 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е.  $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$ . Итак, в нашем случае  $C_{\text{соц.}} = 131036,82 * 0,3 = 39311,046$  руб.

#### 4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}$$

где  $P_{\text{ОБ}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$\text{Ц}_{\text{Э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{ОБ}}$  – время работы оборудования, час.

$\text{Ц}_{\text{Э}} = 5,257$  руб./кВт·час (с НДС);

$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t$ , где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, выбирается самостоятельно (возьмем равным 0,7). Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2.2.1 для инженера ( $T_{\text{РД}}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Таблица 4.2.4.1 – Затраты на технологическую электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$ , час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$ , кВт	Затраты $\text{С}_{\text{эл.об.}}$ , руб.
Персональный компьютер	392	0,3	618,22
Oculus Rift	392	0,1	206,07
Kinect	392	0,1	206,07
Стабилан 01	392	0,3	618,22
<b>Итого:</b>			<b>1648,58</b>

#### 4.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула

$$C_{\text{АМ}} = \frac{N_A \cdot \text{Ц}_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{РФ}} \cdot n}{F_d}, \quad (5.10)$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку  $C_{\text{АМ}}$ . Для ПК в 2016 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять  $F_{\text{д}} = 298 * 8 = 2384$  часа;

$t_{\text{рф}}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для определения  $N_{\text{А}}$  воспользуемся постановлением правительства РФ «О классификации основных средств, включенных в амортизационные группы». Оно позволяет получить рамочные значения сроков амортизации (полезного использования) оборудования  $\equiv C_{\text{А}}$ . Для ПК это  $2 \div 3$  года. Зададим конкретное значение  $C_{\text{А}} = 2,5$  года. Далее определяется  $N_{\text{А}}$  как величина обратная  $C_{\text{А}}$ , в данном случае это  $1 : 2,5 = 0,4$ .

Стоимость ПК 50000 руб., время использования 392 часов, тогда для него  $C_{\text{АМ}}(\text{ПК}) = (0,4 * 50000 * 392 * 1) / 2384 = 3288$  руб. Стоимость Oculus Rift 60000 руб., его  $F_{\text{д}} = 596$  часа.;  $N_{\text{А}} = 0,4$ ; тогда его  $C_{\text{АМ}}(\text{ПС}) = (0,4 * 60000 * 392 * 1) / 596 = 15785$  руб. Стоимость Kinect 5000 руб., его  $F_{\text{д}} = 447$  часа.;  $N_{\text{А}} = 0,4$ ; тогда его  $C_{\text{АМ}}(\text{ПС}) = (0,4 * 5000 * 392 * 1) / 447 = 1753$  руб. Стоимость Стабилан 01 250000 руб., его  $F_{\text{д}} = 2384$  часа.;  $N_{\text{А}} = 0,15$ ; тогда его  $C_{\text{АМ}}(\text{ПС}) = (0,15 * 250000 * 392 * 1) / 2384 = 6166$  руб. Итого начислено амортизации 26992 руб.

#### 4.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.:

$$\begin{aligned} C_{\text{проч}} &= (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 \\ &= (365000 + 131036,82 + 39311,046 + 1648,58 + 26992) \cdot 0,1 \\ &= 56398,84 \end{aligned}$$

#### 4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели принципов КТ».

Таблица 4.3

*Смета затрат на разработку проекта*

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	365000
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	131036,82
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	39311,046
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1648,58
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	26992
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	56398,84
<b>Итого:</b>		<b>620387,28</b>

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 620387,28$ руб

#### 4.2.8 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не

располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере  $5 \div 20 \%$  от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет 124077,46 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

#### **4.2.9 Расчет НДС**

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это  $(620387,28 + 124077,46) * 0,18 = 134003,65$  руб.

#### **4.2.10 Цена разработки НИР**

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае  $C_{\text{НИР(КР)}} = 620387,28 + 124077,46 + 134003,65 = 878468,39$  руб.

### **4.3 Оценка экономической эффективности проекта**

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем задачи оценки экономической эффективности инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную социально-экономическую систему и т.п. (т.н. объекты инвестиций) с целью получения определенного результата в будущем. Данная система находит свое применение в области медицины, а конкретнее в диагностике работы вестибулярного аппарата. Сама разработка несет в себе в основном социальную эффективность. С помощью системы становится возможным диагностировать, а в последующем и реабилитировать людей с нарушением работы вестибулярного аппарата. Становится возможным избавиться от инвалидности, что позволяет государству не выплачивать пособия по инвалидности реабилитированным пациентам. Также реабилитированные люди смогут пополнить трудовые ресурсы государства.

## Глава 5. Социальная ответственность

Цель работы – разработка методики исследования неврологических заболеваний на основе оценки качества движения.

В результате исследования создан способ оценки постуральных тестов, позволяющий вычислять количественные параметры траектории движения точек тела человека в процессе поддержания равновесия и выявлять как индивидуальные, так и групповые особенности системы поддержания равновесия. В основе работы системы лежит метод безмаркерного видеозахвата с помощью камеры 3d Kinect, а также очки виртуальной реальности Oculus для воздействия на зрительный анализатор.

### 5.1. Техногенная безопасность

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Лабораторные исследования; 2) Паяльные работы	4) Нервно-эмоциональное напряжение; 5) Повышенная загазованность; 6) Брызги припоев и флюсов; 7) Недостаточная освещенность; 8) Отклонение параметров микроклимата; 9) Повышенные	5) Пожароопасность 6) Повышенная температура поверхности изделия; 7) Повышенное значение напряжения, замыкание которой может произойти через тело	1) СанПиН 952-72 2) СанПиН 2.1.3.2630 -10

	уровни ЭМП.	человека 8) Механическое травмирование 9) Брызги припоев и флюсов	
--	-------------	--	--

Анализ факторов рабочей зоны на предмет их опасных проявлений.

- механическое травмирование. Источником механического травмирвания при работе с разработанной системой может стать нарушение работы вестибулярного аппарата человека (головокружение) в процессе испытаний с виртуальной реальностью. Другими словами, существует риск падения человека, у которого плохо развит вестибулярный аппарат либо имеется неврологическое заболевание (например, болезнь Паркинсона или рассеянный склероз). В качестве средства защиты от таких случаев может стать использование специальных крепежных ремней безопасности, прикрепленных к потолку и поддерживающих испытуемого в случае падения. Другим вариантом защиты, который был использован нами в ходе исследований, может стать другой страхующий человек.

-электрический ток. Источником электропитания для системы видеозахвата может быть стандартная сеть переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц. В целях обеспечения электробезопасности необходимо использование следующих технических способов и средств: рабочая изоляция, знак безопасности около розетки, предохранительное приспособление.

Причины поражения электрическим током:

а) неисправное электрооборудование (провода, розетки); б) отсутствие или недостаточность защитного заземления; в) прикосновение к металлическим конструкциям и частям оборудования, находящимся под

током вследствие соприкосновения их с оголенными проводами, а также к самим оголенными проводам;

-пожаровзрывобезопасность. Причиной возгорания в рабочей зоне может стать нарушение техники безопасности при проведении паяльных работ. В качестве профилактических средства предотвращения пожаров могут выступать первичные средства пожаротушения (вода, песок земля, огнетушащие материалы), порошковый огнетушитель.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

а) рабочие и служащие, поступающие на работу, должны пройти противопожарный инструктаж;

б) сотрудники обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;

в) электрические паяльники должны быть обеспечены специальными термостойкими подставками;

г) необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы радиоэлектронной аппаратуры;

д) пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном и легко доступном месте;

е) своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования;

ж) запрещение курения в не установленном месте.

Для предупреждения пожаров от короткого замыкания, перегрузок, необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение установленного режима эксплуатации электрических сетей и средств автоматизации.

Анализ факторов рабочей зоны на предмет их вредных проявлений.

Психофизиологические факторы

По ГОСТ 12.0.003-74 [50] к группе психофизиологических факторов относят нервно-психические перегрузки, включающие в себя:

- умственное перенапряжение
- перенапряжение анализаторов
- монотонность труда
- эмоциональные перегрузки

Разработка принципиальной и структурной схем, а также технического задания требует переработки и анализа большого объема разнообразной информации, а также значительных умственных затрат. Работа предполагается за компьютером, где необходима усидчивость и долгое напряжение глаз.

Продолжительная умственная работа приводит к падению условных сосудистых рефлексов, изменению функций дыхательной системы и образованию парадоксальных реакций.

Напряженный умственный труд вызывает отклонения от нормы тонуса гладких мышц внутренних органов, кровеносных сосудов, в особенности сосудов мозга и сердца. С другой стороны, огромное количество импульсов, идущих от периферии и внутренних органов, от нескольких видов рецепторов, влияет на ход умственной работы. Установлено, что умственная работа тесно связана с работой органов чувств, в первую очередь глаз и ушей. Утомление этих органов приводит к их износу и ухудшению выполнению функций. Интенсивная работа может привести к утомлению и переутомлению.

Основой для возникновения переутомления служит несоответствие продолжительности и тяжести работы и времени отдыха. Кроме того, развитию переутомления может способствовать неудовлетворительная обстановка труда, неблагоприятные бытовые условия, плохое питание.

Симптомы переутомления – различные нарушения со стороны нервно-психической сферы, например ослабления внимания и памяти. На ряду с

этим у переутомленных людей наблюдаются головные боли, расстройства сна (бессонница), ухудшение аппетита и повышенная раздражительность.

Меры проводимые для профилактики утомления и усталости :

- Равномерное распределение нагрузки
- Рациональная система чередования периодов работы и перерывов между ними.
- Правильная организация времени ухода и прихода на работу Санитарное благоустройство производственных помещений.
- Рабочий день не превышает нормы.
- Соблюдение тишины на рабочем месте.

#### Недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность [51].

При проведении исследований должны применяться системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

Основными нормируемыми показателями являются освещенность на рабочем месте, общий индекс цветопередачи, коэффициент пульсаций освещенности. Лаборатории общего назначения с использованием электронных устройств имеют следующие нормы: освещенность 400 Лк по Российским нормам (СП 52.13330.2011).

Коэффициент пульсации освещенности  $K_p$  - критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током.

Постоянство освещенности во времени достигается стабилизацией питающего напряжения, жестким креплением светильников, применением специальных схем включения газоразрядных ламп. Например, снижение коэффициента пульсации освещенности люминесцентных ламп с 55 до 5% (при трехфазном включении) приводит к уменьшению утомления и повышению производительности труда на 15% для работ высокой точности.

Величина освещенности должна быть постоянной во времени. Колебания освещенности, вызванные резким изменением напряжения в сети, имеют большую амплитуду, каждый раз вызывая переадаптацию глаза, приводят к значительному утомлению. Пульсация освещенности связана также с особенностью работы газоразрядных ламп.

#### Повышенные уровни электромагнитных полей

Основными источниками электромагнитного поля на рабочем месте являются персональный компьютер и электропроводка.

Нормируемым параметром электрического поля является напряженность электрического поля ( $E$ ) в кВ/м, магнитного поля - напряженность магнитного поля ( $Я$ ) в А/м или индукция магнитного поля ( $B$ ) в мкТл, в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002-99 "ССБТ. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах" и СанПиН 2.2.1340-03. Напряжённость электрического поля в диапазоне частот 5Гц...2кГц -25В/м, в диапазоне частот 2кГц...400кГц - 2,5В/м Плотность магнитного потока в диапазоне частот 5Гц...2кГц - 250нТл, в диапазоне частот 2кГц...400кГц - 25нТл.

Для снижения действия электромагнитных полей соблюдать оптимальное устройство контура заземления; оптимальную разводку питающей сети; верно планировать помещения; проводить влажные уборки

помещения с ПЭВМ (вследствие чего увеличивается уровень электростатического поля); снизить наличие посторонних источников электромагнитных полей в помещении.

#### Отклонение параметров микроклимата при проведении исследований.

- Условия микроклимата в лаборатории зависят от ряда факторов: климатического пояса и сезона года;
- характера исследования и вида используемого оборудования; условий воздухообмена;
- размеров помещения;
- числа работающих людей и т.п.

Микроклимат в лаборатории может меняться на протяжении всего рабочего дня.

В лабораторных условиях характерно суммарное (сочетанное) действие параметров микроклимата: температуры, влажности, скорости движения воздуха.

В соответствии с СанПиНом 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» параметрами характеризующими микроклимат являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей (учитывается температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, потолок, пол), устройств (экраны и т.п.), а также технологического оборудования или ограждающих его устройств);
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Норма:

- холодный период года температура воздуха 22-24 °С, относительная влажность 60-49, скорость движения воздуха 0,1 м/сек;

- теплый период года температура воздуха 23-25 °С, относительная влажность 60-49, скорость движения воздуха 0,1 м/сек.

Для создания оптимального производственного микроклимата осуществляется с использованием технологических, санитарно-технических и медико-профилактических мероприятий.

Мероприятия по обеспечению оптимального и допустимого микроклимата:

- Установка и ремонт систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Системы кондиционирования воздуха в производственных помещениях осуществляют в основном с применением одного из двух типов сплит-систем: обычных (настенных, напольных, кассетных), которые размещаются непосредственно в каждом помещении, и канальных, требующих для подачи охлажденного воздуха в помещения наличия системы воздуховодов.
- Защита фасада здания (кроме северного) защитными устройствами от солнца. К ним относятся шторы, жалюзи, козырьки, навесы. Они более эффективны, когда расположены с внешней стороны фасада (снаружи). Также эффективной защитой от солнечных лучей является использование солнцезащитных стекол.
- Использование увлажнителей воздуха.
- Воздушное душирование рабочих мест. Воздушное душирование представляет собой подачу на рабочее место приточного прохладного воздуха в виде воздушной струи, создаваемой вентилятором. Могут применяться стационарные источники струи и передвижные в виде перемещаемых вентиляторов. Струя может подаваться сверху, снизу, сбоку и веером.

## **5.2. Экологическая безопасность**

Предполагаемых источников загрязнения окружающей среды, возникающих в результате реализации предлагаемых в ВКР конструкторских и технологических инноваций, нет.

## **5.3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности**

В разработанной системе присутствует большое количество проводных компонентов, в том числе компонентов, с которыми контактирует испытуемый человек. Следовательно, необходимо упорядочивание всех компонентов для удобства оператора и человека, проходящего исследование. Кроме этого, разработанная методика достаточно сложна для работы даже со здоровым человеком, поэтому необходимо предусмотреть паузы для отдыха испытуемого во время проведения исследования.

## **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.**

Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются пожар или взрыв на рабочем месте. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов [44].

Причины возникновения пожара электрического характера:

- а) пожары в результате некачественных проектных и строительно - монтажных работ;
- б) различные короткие замыкания;
- в) опасна перегрузка сети, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции;
- г) нередко пожары происходят при пуске оборудования после ремонта;
- д) пожары в результате нарушения противопожарного режима.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) рабочие и служащие, должны пройти противопожарный инструктаж;
- б) сотрудники обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;
- в) электрические паяльники должны быть обеспечены специальными термостойкими подставками;
- г) необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы радиоэлектронной аппаратуры;
- д) пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном и легко доступном месте;
- е) своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования;
- ж) запрещение курения в не установленном месте.

Для предупреждения пожаров от короткого замыкания, перегрузок, необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение установленного режима эксплуатации электрических сетей и средств автоматизации.

#### Обязанности и действия персонала при возникновении пожара.

В случае возникновения признаков пожара необходимо:

- сообщить о возникновении пожара в пожарную охрану по телефону 01 или 112 по сотовому телефону;
- поставить в известность руководство и дежурные службы университета;
- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя для этого имеющиеся силы и средства;
- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты (оповещения людей о пожаре, пожаротушения, противодымной защиты);
- при необходимости отключить электроэнергию (за исключением систем противопожарной защиты), остановить работу аппаратов, перекрыть газовые, паровые и водяные коммуникации, остановить

- работу систем вентиляции в горящем и смежных с ним помещениях, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;
- прекратить все работы в здании (если это допустимо по технологическому процессу производства), кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;
  - удалить за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара;
  - осуществить общее руководство по тушению пожара (с учетом специфических особенностей объекта) до прибытия подразделения пожарной охраны;
  - обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;
    - одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию людей и защиту материальных ценностей;
  - организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;
  - сообщать подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожаров и проведение связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ, сведения о перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных (взрывоопасных), взрывчатых, сильнодействующих ядовитых веществах, необходимые для обеспечения безопасности личного состава.

По прибытии пожарного подразделения руководитель организации (или лицо, его замещающее) информирует руководителя тушения пожара о конструктивных и технологических особенностях объекта, прилегающих строений и сооружений, количестве и пожароопасных свойствах хранимых и применяемых веществ, материалов, изделий и других сведениях, необходимых для успешной ликвидации пожара, а также организует привлечение сил и средств объекта к осуществлению

необходимых мероприятий, связанных с ликвидацией пожара и предупреждением его развития.

### 5.5. Освещение

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

На рисунке 28 представлен план размещения люминесцентных ламп в лаборатории, где проводятся эксперименты по данной теме.

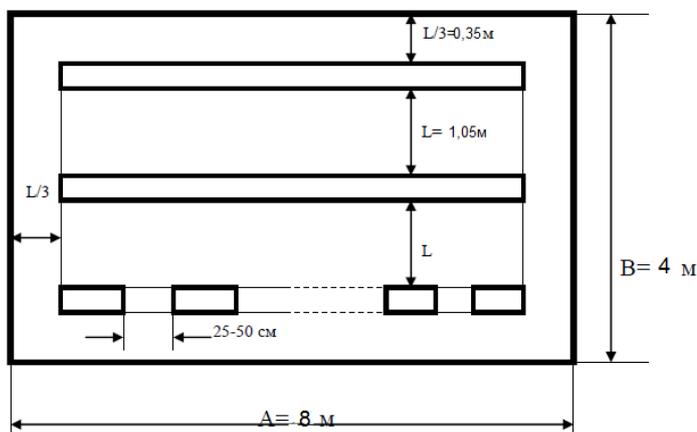


Рисунок 28 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами в лаборатории.

## **Заключение**

В ходе работы при взаимодействии с экспертами была разработана система с биологической обратной связью для оценки состояния вестибулярного аппарата. Была разработана полностью программируемая виртуальная среда, которую пользователь может менять самостоятельно. Также был разработан скетч для управления динамической платформой, которая применяется для создания различных сценариев проведения исследования над испытуемыми.

Предпроектный анализ разработанной системы показал высокую финансовую и ресурсосберегающую эффективность. Кроме этого было выявлено, что данная разработка является достаточно перспективной, а знания разработчиков достаточными для успешной ее коммерциализации. В рамках раздела «Социальная ответственность» было установлено, что разработанный метод удовлетворяет требованиям по охране окружающей среды. Устройство является экологически чистым, так как не выделяет вредных веществ в окружающую среду и не является источником сильного электромагнитного излучения.

## Список использованных источников

1. Никифоров, А. С. Общая неврология: учебное пособие / А.С. Никифоров, Е.И. Гусев. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2007. - 720 с.
2. Зайцева О. В. Нарушения равновесия при периферических вестибулярных расстройствах: клиника, диагностика, реабилитация [Электронный ресурс] - Науч. электрон. журн. «Лечащий врач». – 2010. - № 9. - Режим доступа к журн.:  
<http://www.lvrach.ru/2010/09/15435038>
3. Кочергин, Г. А. Реабилитация пациентов с вестибулярными нарушениями после симультанных риноотоларингических вмешательств / Г. А. Кочергин, В. В. Дворянчиков, Ф. А. Сыроежкин // Журнал «Российская ринология». – 2015. - № 4. – С. 29 - 33.
4. Луценко Е. В. Критерии реальности и принцип эквивалентности виртуальной и "истинной" реальности [Электронный ресурс] - Науч. электрон. журн. КубГАУ. – 2004. - № 6. - Режим доступа к журн.:  
<http://ej.kubagro.ru/2004/06/10/p10.asp>
5. Суворов, К. А. Системы виртуальной реальности и их применение / К. А. Суворов // Журнал «Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт». – 2013. - № 9. – С. 140 – 143.
6. Кузнецов, П. П. Медицина и виртуальная реальность 21 века: создание синтетических сред, тренды, инновации / П. П. Кузнецов, К. Ю. Чеботаев, Б. И. Узденов // Журнал «Врач и информационные технологии». – 2014. - № 3. – С. 72 – 80.
7. О вестибулярной тренировке летчиков [Электронный ресурс] / В. И. Воячек. - Электрон. дан. – Режим доступа :  
<http://medbe.ru/materials/voennaya-otolaringologiya/o-vestibulyarnoy-trenirovke-letchikov>
8. Реабилитация неврологических больных / А. С. Кадыков, Л. А. Черникова, Н. В. Шапаронова. – 3 - е изд. – М. : МЕДпресс - информ,

2014. – 560 с.

9. Замерград, М. В. Вестибулярная реабилитация / М. В. Замерград // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. – 2009. - № 2. – С. 19 – 22.
10. Физическая реабилитация: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по Государственному образовательному стандарту 022500 «Физическая культура для лиц с отклонениями в состоянии здоровья» (Адаптивная физическая культура) / Под общей ред. проф. С. Н. Попова. Изд. 3-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 608 с.
11. Кубряк О. В. Практическая стабилметрия. Статические двигательные – когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции / О. В. Кубряк, С. С. Гроховский. – М. : Маска, 2012. – 88 с.
12. Стабилметрическое исследование : краткое руководство / Д. В. Скворцов – М. : Маска, 2010. – 172 с.
13. Реабилитация вестибулярных расстройств с использованием стабилметрии [Электронный ресурс] / Электрон. дан. – Режим доступа: <http://st.asvomed.ru/php/content.php?id=377>
14. Шиффман, Х. Р. Ощущение и восприятие. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 928 с.
15. Влияние манипулирования зрительной обратной связью на постуральные реакции у человека при поддержании вертикальной позы / Б.Н. Сметанин, Г.В. Кожина, А.К. Попов // Нейрофизиология. — 2011. — Т. 43, № 1. — С. 36-45.
16. Пространственная ориентация, постуральный контроль и их значение в развитии головокружения [Электронный ресурс] / Электрон. дан. – Режим доступа: [http://meduniver.com/Medical/Neurology/orientacia\\_i\\_golovokrugenie.html](http://meduniver.com/Medical/Neurology/orientacia_i_golovokrugenie.html)
17. Вовк, О. Н. Адаптивная саморегуляция психоэмоционального состояния человека с применением видеокомпьютерной обратной связи / О. Н. Вовк, Ю. В. Балабанов, В. М. Клименко // Медицинский

- академический журнал : Официальное издание Северо-Западного отделения РАМН. - 2012. - т. 12, № 1. - С. 87-94.
18. Лихачев, С.А. Болезнь паркинсона: современные возможности терапии / С. А. Лихачев, В. В. Войтов, В. В. Ващилин // Неврология и нейрохирургия в Беларуси. - 2009. - № 2. - С. 23 – 38.
  19. Применение биоуправления в реабилитации пациентов с болезнью Паркинсона / Т. С. Гребышева, Н. Г. Бразовская, И. А. Жукова и др. //Бюллетень Сибирской медицины : научно-практический журнал. - 2014. - Том 13, № 4. - С. 38 – 42.
  20. Wickramasekera E. Clinical behavioral medicine // Plenum press. New York and London, 1988, pp. 155 — 184.
  21. Бицадзе, А. Н. Возможности применения БОС-терапии в немедикаментозной коррекции нарушений мозгового кровообращения больных хронической ишемией мозга / А. Н. Бицадзе // Известия ТРТУ / Таганрог. гос. радиотехн. ун-т. - 2006. - № 11. Мед. информ. системы. - С. 54 - 57.
  22. Захаров В.В. Клиника, диагностика и лечение дисциркуляторной энцефалопатии // Международный неврологический журнал. – 2009. – № 5 (27). – С. 51–55.
  23. Виртуальная реальность в медицине [Электронный ресурс] / Электрон. дан. – Режим доступа: <http://valkiriarf.livejournal.com/769462.html>
  24. Даминов, В. Д. Принципы организации высокотехнологичной нейрореабилитации на стационарном этапе / В. Д. Даминов // ДОКТОР.РУ. – 2008. - № 7 (44). – С. 51 – 59.
  25. Судаков, К. В. Нормальная физиология / К. В. Судаков. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2006. – 920 с.
  26. Wiener N. Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine. - New York: Technology press/John Wiley & Sons, 1948. - 360 p.

27. Сороко, С. И. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления / С. И. Сороко, В. В. Трубачев. - СПб.: Политехника-сервис, 2010. — 607 с.
28. Вартанова, Т. С. Очерк истории развития биологической обратной связи как метода медицинской реабилитации / Сборник статей «Общие вопросы применения методы БОС». – СПб.: ЗАО «Биосвязь», 2008. – 102 с. – С. 3 – 19.
29. Черникова, Л. А. Пластичность мозга и современные реабилитационные технологии / Л. А. Черникова // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. —2007. — № 2. —С. 40–47.
30. Mangina C.A., Sokolov E.N. Neuronal plasticity in memory and learning abilities: Theoretical position and selective review // Intern J. Psychophysiology. - 2006. - V. 60. Issue 3. - PP. 203-214.
31. Циркин, Г.М. Электроэнцефалографическое, электромиографическое биоуправление при реабилитации больных с повреждениями периферических нервов / Г. М. Циркин // Вестник НГУ. Серия: Биология, клиническая медицина. - 2007. - Т. 5. - вып.2. - С. 64-66.
32. Дёмин, Д. Б. Физиологические основы методов функционального биоуправления / Д. Б. Дёмин, Л. В. Поскотинова // Экология человека. - 2014. - № 9. – С.48 – 59.
33. Селиверстов, Ю. А. Ортостатическая артериальная гипотензия при неврологических заболеваниях: понятие, этиология, алгоритмы диагностики и лечения / Ю. А. Селиверстов // Атмосфера. Нервные болезни. - 2014. - № 3. - С. 7-16.
34. Голованов, А. И. Функциональное биоуправление с биологической обратной связью в реабилитации больных с дисциркуляторной энцефалопатией / А. И. Голованов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2004. – Т. 41. - №. 6. – С. 134 – 138.

35. Войскунский, А. Е. О применении систем виртуальной реальности в психологии / А. Е. Войскунский, Г. Я. Меньщикова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14, Психология. - 2008. - № 1. - С. 22 - 33.
36. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы / Ю.П. Зинченко, Г. Я. Меньщикова, Ю. М. А, М. Баяковский и др. // Национальный психологический журнал. – 2010. – Т. 2. - №. 4 – С. 64 – 71.
37. The potential for utilising the «mirror neurone system» to enhance recovery of the severely affected upper limb early after stroke: a review and hypothesis / V. Pomeroy [et al.] // Neurorehabil Neural Repair. - 2005. Vol 19, № 1. - P. 4–13.
38. Virtual environment-based telerehabilitation in patients with stroke / M.K. Holden [et al.] // Presence. 2005. Vol 14, № 2. - P. 214–233.
39. Holden M. Virtual environments for motor rehabilitation // CyberPsychology & Behavior. 2005. Vol. 8. № 3. P. 187–211.
40. Устинова, К. И. Виртуальная реальность в нейрореабилитации / К. И. Устинова, Л. А. Черникова // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. —2008. — Т. 2. - № 4. —С. 34–39.
41. Standardization in platform stabilometry being a part of posturography / T. S. Kapteyn, W. Bles, C. J. Njiokiktjien, L. Kodde et al. // Agressologie. – 1983. - Vol. 7, № 24. – Pp. 321-326.
42. Использование метода транслингвальной стимуляции для уменьшения вестибулярной дисфункции у пациентов в ранние сроки после стапедопластики / А. А. Вавилова, П. В. Киреев, Ф. А. Сыроежкин [и др.] // Военно-медицинский журнал. - 2014. - Т. 335, № 9. - С. 65-67 .
43. Медицинская реабилитация в спорте : Руководство для врачей и студентов / Под общ. ред. В.Н. Сокрута, В.Н. Казакова.— Донецк: «Каштан», 2011. — 620 с.

44. Прокопенко, В. Т. Психология зрительного восприятия : учеб. Пособие / В. Т. Прокопенко, В. А. Трофимов, Л. П. Шарок. - СПб: СПбГУИТМО, 2006. – 73 с.
45. Виртуальная реальность: стереоскопическое изображение, дисплейные системы / В. Холодкова // Мультимедиа [Электронный ресурс] – Электрон. журн. «Мир ПК». – 2008. - № 6. - Режим доступа к журн. : <http://www.osp.ru/pcworld/2008/06/5371423/>
46. Мещеряков Б. Г. Большой психологический словарь / под ред. Б. Г. Мещерякова, В. П. Зинченко. – М.: Прайм – ЕВРОЗНАК, 2003. – 672 с.
47. Авербух Н. В., Щербинин А. А. Феномен присутствия и его влияние на эффективность решения интеллектуальных задач в средах виртуальной реальности // Психология. Журнал Высшей Школы экономики. 2011. — № 4.— С. 102–119.
48. Huang M.P., Alessi N.E. Presence as an emotional experience // Medicine meets virtual reality: The convergence of physical and informational technologies options for a new era in healthcare / J.D. Westwood, H.M. Hoffman, R.A. Robb, D. Stredney (eds). Amsterdam: IOS Press, 1999. P. 148–153.
49. Motor physiology: a brain of two halves / Н. Johansen-Berg // Curr Biol. – 2003. - Vol. 13, № 20. – Pp 802- 804.
50. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация./ Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 3 с.
51. Методические указания по разработке раздела «Производственная и экологическая безопасность» выпускной квалификационной работы для студентов всех форм обучения /Сост. М.Э. Гусельников, В.Н. Извеков, Н. В. Крепша, В.Ф. Панин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 42 с.

## Приложение А

### Раздел 2. Материалы и методы

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ41	Мнайдаров Серик		

Консультант кафедры          ПМЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ПМЭ	Толмачев И.В.	к.м.н.		

Консультант – лингвист кафедры                          :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кобзева Надежда Александровна			

## MATERIALS AND METHODS

### Equipment and software selection for the virtual reality environment implementation.

It is necessary to make the substitution of information for a successful user immersion in virtual reality. This information is generated by a computer and is supplied to the senses. Thus, the output means are an integral part of the appliance. There are the so-called augmented reality glasses, that work on the principle of imposing images on a real image, but they can't immerse the person in a virtual space. Currently one of the main visualization tools are virtual glasses, characterized PSP imaging method. It's mean that separate display is built in a helmet for each eye. Thus each eye sees only its own stereopair frame. All errors are virtually eliminated, which maximizes the effect of immersion in the virtual world. Virtual reality glasses Oculus Rift dk2 (Figure 11) were used in the process, because of the best price - quality relationship. The table below shows a comparison between the leading representatives of the helmets of virtual reality (Table 1).

Table A.1

Feature comparison of the leading virtual reality helmets

	<b>Oculus Rift</b>	<b>Sony HMZ-T1</b>	<b>Silico MicroDisplay ST1080</b>
<b>Resolution</b>	1920×1080	1280×720	1920×1080
<b>Screen type</b>	LCD	OLED	LCoS
<b>Connector</b>	DVI/HDMI	HDMI 1.4	HDMI 1.4
<b>3D transmission method</b>	The individual screens for each eye	Frame Packaging	Frame Packaging
<b>Level review</b>	110 degrees diagonally	45 degrees diagonally	45 degrees diagonally
<b>Head tracking</b>	True	False	False



Figure A.1. Glasses of virtual reality Oculus Rift

What are the advantages of the Oculus Rift?

Visibility area.

*Visibility area* is the most important characteristic for a virtual reality helmet. The larger the area of the helmet review, the greater the immersion in virtual reality. The Oculus Rift view angle is 110 degrees (the human field of view of about 180 degrees horizontally). This allows us to consider the area is not only straight ahead, but also on the periphery.

*Tracking head movements.*

This is one of the main features that are unavailable in competitors' Oculus Rift. It uses one of the most sophisticated systems for the position tracking of 360 ° in space with a delay of 50 milliseconds. Built-in the glasses motion sensors monitor the rotation and twist of the user head with a frequency of 1000 Hz. The slightest head movement is instantaneously displayed in a virtual space due to their high sensitivity. That allows a person to inspect their surroundings, just as it does in the real world. At a resolution of 1280x800 pixels for each eye has to the size of 640 × 800 pixel image.

3D transfer with side-by-side.

Oculus Rift creates a stereoscopic 3D effect with a considerable depth, scale and parallax (change of apparent position of an object relative to the remote background depending on the observer's position).

This effect is achieved thanks to the Side-by-side: the images are shown on the corresponding display for each eye and then adjusted using the lens that allows you to create a stereoscopic 3D image with great depth (Fig. 12). This image transmission principle is based on the natural perception of the image of our eyes (binocular vision).



Figure A.2. Image in Oculus Rift virtual reality glasses.

In addition, the developers have taken care of short-sighted and far-sighted people and included 3 sets of interchangeable lenses in the kit.

#### *Safety for the eyes*

The use of Oculus Rift does not cause eye fatigue, because in the helmet Oculus Rift your eyes are constantly looking for different objects at different distances. They are not focused at the same distance. That's why the pupil is in a mode in which it is in real life.

#### *The portability and accessibility.*

Oculus Rift is a high class virtual reality glasses with affordable price. Lightweight and comfortable, they are specially designed for maximum comfort

during long gaming sessions. The weight of glasses version for developers is 369 g.

### *Software.*

Oculus Software Development Kit contains open source code, documentation and examples of work. Oculus SDK includes an engine for integration with the Unreal Development Kit, Unreal Engine 4 and Unity 4, which allows you to start developing games faster and easier than ever. Oculus Rift and Oculus SDK support Windows, Mac OS X and Linux.

In the course of work it was necessary to create a virtual three-dimensional scene for the pilot study. Accordingly, it required to select a set of tools for creating three-dimensional models and textures and to group them into the scene and create the final executable file for the virtual reality Oculus Rift helmet. Here are the requirements to the editor of 3D models:

1. Ability to create three-dimensional model of any complexity;
2. Export to one of the standard and widely used formats;
3. Availability of sufficient documentation and training literature;
4. The possibility of free access to the editor.

Two of the three-dimensional packages on the market can be picked out:

3. Autodesk 3ds Max;
4. Blender.

From a technical point of view these packages are equivalent for performing our objectives. However, Blender has a number of obvious advantages. Firstly, it weighs only a few dozen megabytes (due to the absence of bulky protection systems and registration, as well as preset scenes). Autodesk can't boast of this, which weighs about 2 GB. Secondly, you can use the package without installation (just run it from a flash card and start using any device). Thirdly, the Blender belongs to the free software. It is completely free for any use, it is

spread with the open source and free license. Fourthly, the package is translated into 26 languages, including Russian. It undoubtedly provides convenience in work and makes it more productive, because there is no difficulty with languages.

Therefore, a free cross-platform package is become available for three-dimensional modeling of the professional level. In addition, it allows using a ready-made model for the purpose of filling your own scenes due to the availability of Blender and its user's works. You can also create educational materials in the form of videos.

Requirements to scene layout package:

1. The ability to create three-dimensional scene using Blender model package;
2. Oculus Rift virtual reality device support;
3. Availability of sufficient documentation and training literature;
4. The possibility of free access to the package.

Game engines Unity3d and Unreal Engine meet these requirements (Unreal Engine has recently become a free due to the change of developer license). Unreal Engine has huge number of editors in the study of which can take months. We will use the game engine Unity3d because in our case massive scenes are not created with complex and in-depth configuration of objects. Unity3d is more convenient and easy to use, it allows the sufficient complexity construction of three-dimensional scenes, using the model in Blender package format and create executable files for Oculus Rift virtual reality device.

GIMP were used to create textures. GIMP is cross-platform (support for Windows systems, Linux, Mac OS X, and others.) free raster graphics editor with open source. There is no available alternatives with similar functionality, all the

competitors are either attached to operating system or have a high price, or lack of functionality.

Microsoft Kinect - markerless motion capture device.

Kinect is non-contact sensory game controller, developed by Microsoft for the Xbox 360 game console, later was adapted for computers running Windows (Fig. 14). It consists of hardware and software.



Figure 14. Microsoft Kinect

The hardware part is a horizontally elongated box size 23x4sm that connects to a computer via USB 2.0 cable. Kinect includes an infrared projector, an infrared receiver, a Color Sensor and microphone set (Fig. 15).

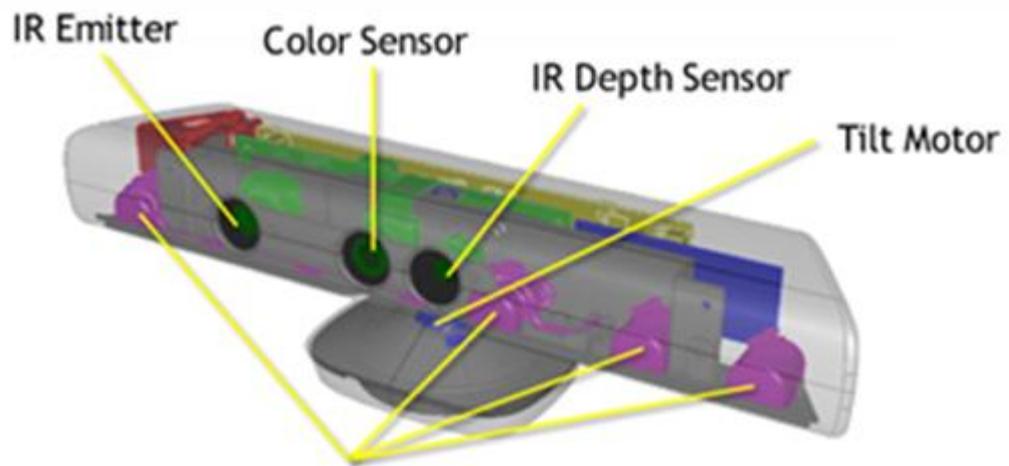
An infrared projector (IR Emitter) emits infrared rays that are reflected from objects and fall into the infrared receiver (IR Depth Sensor);

Infrared receiver (IR Depth Sensor) detects the reflected infrared light and the distance from the sensor to the objects and then creates a matrix of distances. The maximum resolution is 640x480 at 30 frames per second;

Color Sensor captures video with a resolution of 1280x960 at 12 frames per second. Vertical viewing angle is 43°, horizontal - 57°. The format of the image can be RGB or YUV.

Microphone Array includes four microphones that can produce sound localization (ie, to determine its source) and noise suppression.

Tilt Motor is mechanical actuator that allows adjusting the slope of the device on the vertical axis in a range of  $\pm 27^\circ$  using a



program.

Figure A.15. Microsoft Kinect.

The program part allows you to fully recognize the three-dimensional movement of the body (Skeletal Tracking), facial expressions (Face Tracking) and speech (Speech Recognition). A special developer toolkit Kinect for Windows SDK is used to access the device capabilities. It includes application programming interfaces (API), drivers for Microsoft Windows, code samples, and documentation. Also Kinect Studio is used, it is a tool for recording and viewing video and data rangefinder and debugging.

Kinect for Windows SDK provides three streams: the video stream (Color Stream), audio stream (Audio Stream) and rangefinder data (Depth Stream), which can be used via NUI Library library. Sensor should be selected and the required data streams initialized. It can be connected four sensors at the same time, which are moving with the help of KinectSensor class.

The video stream SDK allows setting the required level of quality and format of the picture when it's initialized. The volume and speed of data transmitted from the sensor depend on level of quality and format of the picture. The capacity is limited by USB 2.0 interface. Number of frames up to 12 per second are for pictures with a resolution of 1280x960, and for the resolution of 640x480 - 30 frames per second. The color image model can be RGB or YUV.

Rangefinder data (Depth Stream). The stream is made up of frames, each point contains the distance (in millimeters) from the sensor to the nearest object in the camera's field of view. Frame resolution can be set via the variable `DepthImageFormat` for the flow of initialization. For a frame rate of 30 resolutions available 80x60, 320x240, 640x480.

The audio stream. Kinect includes four microphones, which operate in parallel and use the 24-bit analog-to-digital converter (ADC), as well as a built-in sound processor, which is capable of suppressing the echo and background noise. Each microphone has a specific focus and a narrow range of listening. Echo and noise suppressing may be included at a flow initialization. The optimal distance between the sound source and microphones is 1-3 meters. Microphones can be employed to locate a sound source (positioning), speech recognition, or simple audio capture.

Tracking the human figure (Fig. 16). The function due to Kinect is able to recognize the figure of the man and his movement. At the same time it can monitor up to six people in a field of view of the device, but detailed information can be obtained for only two (the default behavior of the sensor). In terms of development tools built in the skeleton point are called `Joint`. Information of figures in the frame may be obtained by initializing a desired data flow and processing `SkeletonFrameReady` events. Each figure represents the object `Skeleton` class. Information about the status of tracking (skeleton is complete or only location of the figures is known) is in `TrackingState` property, the nodes figures data are stored in `Joints` property.

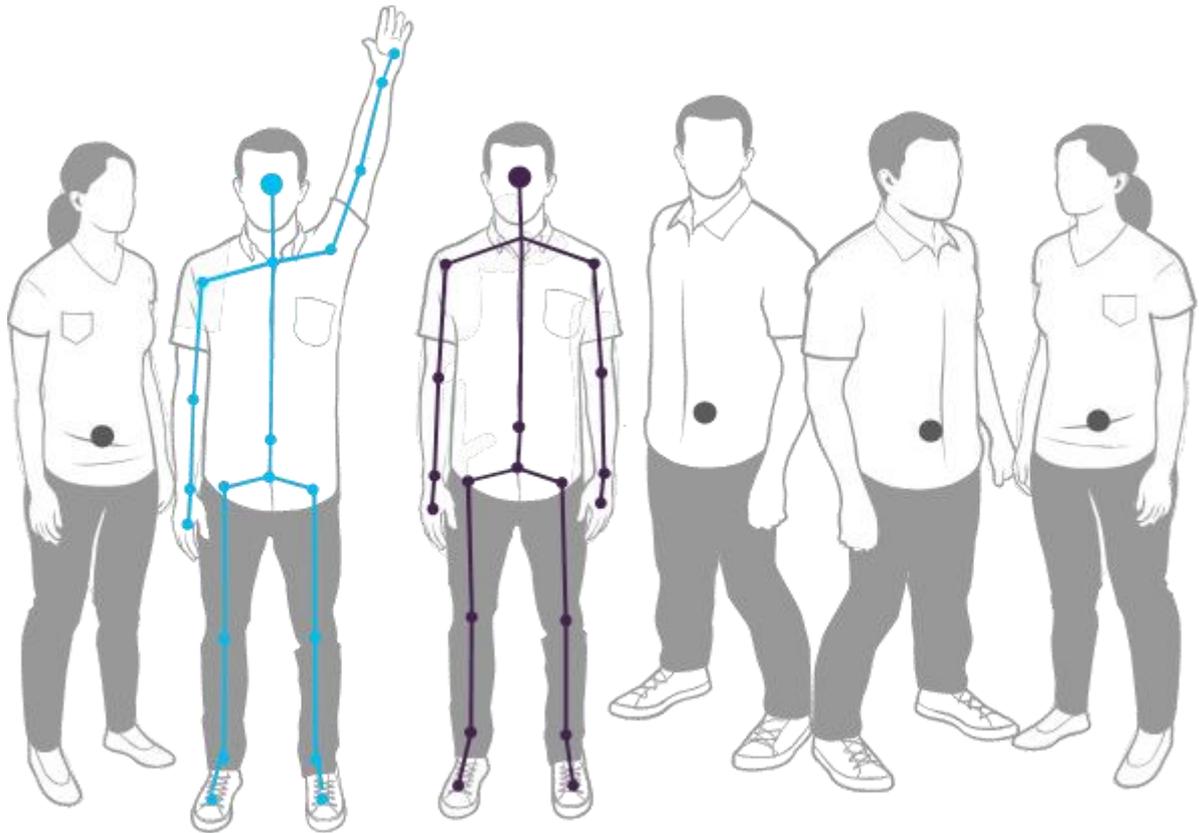


Figure A.16. Tracking the human figure in the form of twenty-segment model.

Tracking of seated figure (Fig. 17). In this mode, the sensor builds only the upper part of the node skeleton. Also up to six figures can be tracked and you can get detailed information about two figures. This mode is more resource-intensive, so it is necessary to reduce the frame rate during the initialization.

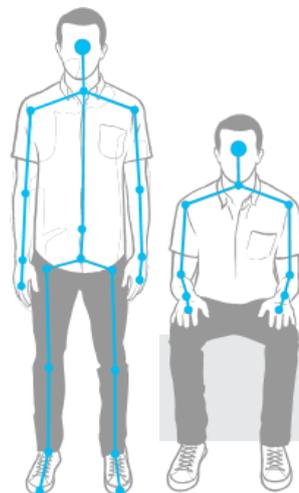


Figure A.17. Tracking of seated figure.

## Приложение Б

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Постановка задачи	НР	2	4	2,8	3,36	–	4,05	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	3	4	3,4	4,08	0,816	4,9	0,89
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	8	10	8,8	3,16	10,56	3,814	12,71
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,67	4,05	0,81
Обсуждение литературы	НР, И	5	8	6,2	0,558	7,44	0,67	8,96
Разработка методики исследований	НР, И	15	20	17	20,4	20,4	24,56	24,56
Проведение исследований	НР, И	20	22	20,8	24,96	24,96	30	30
Разработка структурной схемы	И	1	2	1,4	-	1,68	-	2,02
Разработка принципиальной схемы	И	2	4	2,8	-	3,36	-	4,05
Разработка программного обеспечения для работы устройства	И	8	10	8,8	–	10,56	–	12,7
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	3	4	3,4	–	4,08	–	4,9
<b>Итого:</b>				<b>78,2</b>	<b>59,878</b>	<b>84,526</b>	<b>72,044</b>	<b>97,44</b>

Таблица Б.1. Трудозатраты на выполнение проекта

Приложение В

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	4,05	-	■										
2	4,9	0,89	■	■									
3	3,814	12,71		■	■								
4	4,05	0,81			■								
5	0,67	8,96				■	■						
6	24,56	24,56				■	■	■					
7	30	30						■	■	■			
8	-	2,02										■	
9	-	4,05										■	
10	-	12,7										■	■
11	-	4,9											■

Таблица В.1. *Линейный график работ*

НР - ■ И - ■