

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

---

Институт кибернетики  
Направление 27.04.04 «Теория систем управления»  
Кафедра автоматизации и компьютерных систем

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Управление инвалидной коляской с использованием электрических сигналов головного мозга

УДК 629.312-056.24:681.586

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ5А	Дроганов Денис Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и  
ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента ИСГТ	Конотопский В.Ю.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Извеков Владимир Николаевич	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Суходоев М.С.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

## Планируемые результаты обучения

	Результаты
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности.

Р11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.
-----	---

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

Институт Кибернетики  
Направление подготовки (специальность) Управление в технических системах  
(27.04.04)  
Кафедра Автоматики и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Суходоев М.С.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b> (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
8AM5A	Дроганову Денису Игоревичу

Тема работы:

Управление инвалидной коляской с использованием электрических сигналов головного мозга
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Типы волн, вырабатываемых головным мозгом, распознавание и точность распознавания команд по измеряемым электрическим сигналам головного мозга, количество каналов управления инвалидной коляской</p>
<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>Нейрокомпьютерные интерфейсы, аппаратное и программное обеспечение проекта, аппаратно-вычислительная платформа Arduino UNO, сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT, программное обеспечение BrainBay, искусственные нейронные сети, разработка системы управления инвалидной коляской при помощи электрических сигналов головного мозга, финансовый менеджмент и ресурсоэффективность, социальная ответственность</p>

<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Цель работы, Задачи работы, Нейрокомпьютерные интерфейсы, Структурная схема системы, Аппаратное обеспечение проекта, Программное обеспечение проекта, Сверточная искусственная нейронная сеть, Convolutional Artificial Neural Network, Структурная схема системы, Типы волн, вырабатываемые головным мозгом, Измерение и запись электрических сигналов головного мозга, Обучение сверточной искусственной нейронной сети, Передача и исполнение команд аппаратно-вычислительной платформой Arduino UNO, Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность, Социальная ответственность, Заключение</p>
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
1, 2, 3	
Приложение КЗ	Конотопский В.Ю.
Приложение Л1	Извеков В.Н.
Приложение А	Денико Р.В.

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

На русском языке: введение, обзор литературы, аппаратура и программное обеспечение проекта, разработка системы, заключение.

На английском языке: приложение А

<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
Доцент кафедры АиКС	Фадеев А.С.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ5А	Дроганов Д.И.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8AM5A	Дроганову Денису Игоревичу

Институт	ИК	Кафедра	АИКС
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	Управление в технических системах

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	
<i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. Менеджмента ИСГТ	Конопотский В.Ю.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM5A	Дроганов Денис Игоревич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8AM5A	Дроганову Денису Игоревичу

<b>Институт</b>	<b>ИК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>АИКС</b>
Уровень образования	Магистрант	Направление/специальность	Управление в технических системах

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Управление инвалидной коляской с использованием электрических сигналов головного мозга и области ее применения
--	--

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– метеопараметры;</li> <li>– напряженность зрения;</li> <li>– напряженность труда;</li> <li>– освещенность;</li> <li>– электромагнитные излучения;</li> <li>– шум.</li> <li>– движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования;</li> <li>– электрический ток.</li> </ul> <p>Разработка организационных и технических мер по нормализации уровней факторов и защите от их действия</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС;</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- разработка решений по обеспечению экологической безопасности</li> </ul>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>• выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>• разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul> <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>Выбор и описание возможных ЧС;</p> <p>типичная ЧС – пожар.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>• разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны оператора.</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Извеков В.Н.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM5A	Дроганов Денис Игоревич		

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

---

Институт кибернетики  
Направление 27.04.04 «Теория систем управления»  
Уровень образования – магистр  
Кафедра автоматике и компьютерных систем  
Период выполнения – осенний/весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

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)
	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	15
	Обязательное приложение на иностранном языке	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Фадеев Александр Сергеевич	к.т.н		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС	Суходоев М.С.	к.т.н		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа выполнена на 113 с., содержит 27 рисунков, 17 таблиц, 30 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: управление инвалидной коляской, электрические сигналы головного мозга, искусственная нейронная сеть, электроэнцефалограмма.

Объектом исследования является процесс автоматической идентификации электрических сигналов головного мозга.

Цель работы - создание инвалидной коляски, управляемой электрическими сигналами головного мозга.

В процессе исследования проводилось измерение электрических сигналов головного мозга, обучение нейронной сети, написание программного кода для работы инвалидной коляски.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: созданная в данной работе система позволит создать улучшенную версию инвалидной коляски, которой смогут самостоятельно управлять люди с ограниченными возможностями здоровья. Данная система имеет высокое качество распознавания команд, достигаемое путем использования искусственной сверточной нейронной сети. Система не требует большого времени для обучения.

Степень внедрения: опытная эксплуатация.

Область применения: применение людьми с ограниченными возможностями с целью замены органов ручного управления движением инвалидной коляски.

Экономическая эффективность: не может быть оценена.

В будущем планируется создание версии системы, которая будет обрабатывать электрические сигналы головного мозга в реальном масштабе времени, с дальнейшим выходом на рынок.

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

Обозначения и сокращения:

- USB – Universal Serial Bus (универсальная последовательная шина);
- CNN – Convolutional Neural Network (сверточная нейронная сеть);
- СНН – сверточная нейронная сеть;
- ЭЭГ – электроэнцефалограмма;
- ПО – программное обеспечение;
- CNN – Convolutional Neural Network (сверточная нейронная сеть);
- ReLU – Rectification Linear Unit (слой линейной ректификации).

## Оглавление

Введение .....	17
1.  Нейрокомпьютерные интерфейсы .....	19
2.  Аппаратное и программное обеспечение системы распознавания электрических сигналов головного мозга .....	22
2.1.  Аппаратно-вычислительная платформа Arduino UNO .....	23
2.1.1.  Общие сведения о платформе Arduino UNO.....	23
2.1.2.  Характеристики платформы Arduino UNO .....	24
2.1.3.  Входы и выходы платформы Arduino UNO .....	24
2.1.4.  Программирование платформы Arduino UNO.....	25
2.2.  Сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT .....	26
2.2.1.  Общие сведения о сенсоре головного мозга Olimex EEG- SMT .....	26
2.2.2.  Характеристики сенсора головного мозга Olimex EEG- SMT .....	27
2.3.  Программное обеспечение Brain Bay.....	27
2.4.  Искусственная нейронная сеть .....	28
2.4.1.  Сверточная нейронная сеть.....	28
2.4.2.  Особенности изображений.....	29
2.4.3.  Слой свертки .....	30
2.4.4.  Слой субдискретизации.....	32
2.4.5.  Слой линейной ректификации.....	34
2.4.6.  Глубинное обучение .....	34
2.4.7.  Полносвязные слои.....	36
2.4.8.  Математическая модель работы сверточной нейронной сети .....	38
2.4.9.  Входы и выходы слоев сверточной нейронной сети.....	38
2.4.10.  Слой линейной ректификации.....	38
2.4.11.  Слой свертки .....	39

2.4.12. Слой субдискретизации.....	39
3. Разработка системы управления инвалидной коляской при помощи электрических сигналов головного мозга .....	40
3.1. Аппаратная часть системы.....	40
3.2. Работа системы распознавания электрических сигналов головного мозга.....	41
3.2.1. Измерение электрических сигналов головного мозга.....	41
3.2.2. Запись электрических сигналов головного мозга.....	43
3.2.3. Обучение сверточной искусственной нейронной сети .....	44
3.2.4. Передача и исполнение команд аппаратно-вычислительной платформой Arduino UNO .....	46
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	48
4.1. Организация и планирование работ .....	48
4.1.1. Продолжительность этапов работ .....	49
4.1.2. Расчет накопления готовности проекта.....	56
4.2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....	57
4.2.1. Расчет затрат на материалы .....	58
4.2.2. Расчет заработной платы.....	58
4.2.3. Расчет затрат на электроэнергию .....	60
4.2.4. Расчет затрат на социальный налог .....	60
4.2.5. Расчет амортизационных расходов.....	61
4.2.6. Расчет прочих (накладных) расходов .....	61
4.2.7. Расчет общей стоимости разработки .....	62
4.2.8. Расчет прибыли, НДС и цены разработки НИР.....	62
4.3. Оценка экономической эффективности проекта .....	62
4.3.1. Оценка научно-технического уровня НИР .....	63
5. Социальная ответственность .....	65
5.1. Аннотация.....	65

5.2. Введение .....	65
5.3. Производственная безопасность .....	66
5.3.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	66
5.3.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования .....	67
5.3.3. Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария).....	68
5.3.3.1. Механические опасности .....	68
5.3.3.2. Требования к помещениям для работы с ПЭВМ.....	70
5.3.3.3. Микроклимат.....	70
5.3.3.4. Освещение .....	72
5.3.3.5. Шум.....	77
5.3.3.6. Электромагнитные излучения .....	78
5.3.3.7. Психофизиологические факторы .....	79
5.3.3.8. Электрический ток.....	79
5.4. Экологическая безопасность .....	81
5.4.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	81
5.4.2. Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду .....	81
5.4.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .	81
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	82
5.5.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	82
5.5.2. Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований .....	84
5.5.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	85

5.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	87
5.6.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	87
5.6.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	91
5.6.2.1. Эргономические требования к рабочему месту оператора ПЭВМ.....	91
Заключение .....	97
Список использованных источников .....	99
Приложение А .....	102
Раздел ВКР на иностранном языке .....	102
Artificial neural network.....	103
General information about artificial neural networks.....	103
Convolutional neural network .....	103
Features .....	103
Convolution layer .....	104
Pooling layer .....	106
Rectified linear units.....	107
Deep learning.....	108
Fully connected layer.....	109
The math behind convolutional neural networks.....	110
Приложение Б .....	112
Программный код сверточной искусственной нейронной сети .....	112
Приложение В .....	113
Программный код для распознавания текста на языке Python .....	113
Приложение Г .....	114

Программный код для передачи команд на исполнительные устройства на языке Arduino .....	114
--	-----

## Введение

На протяжении многих лет создаются автоматизированные системы управления. Такие системы используются в различных областях: в промышленности, медицинском оборудовании, транспортных средствах. Сегодня трудно представить повседневную жизнь человека без таких систем.

Для управления системами применяют различные альтернативные методы, использующие в своей работе компьютерное зрение, искусственные нейронные сети и алгоритмы машинного обучения и др. Также все большее распространение получают системы, управляемые при помощи электрических сигналов головного мозга [1].

Целью данной работы является создание инвалидной коляски, управляемой электрическими сигналами головного мозга.

Такая инвалидная коляска поможет людям с ограниченными возможностями передвигаться самостоятельно, без посторонней помощи. Как следствие, это поможет людям с нарушением функций опорно-двигательного аппарата существенно повысить мобильность, кроме того, будет снижена нагрузка на социальных работников.

Для достижения поставленной цели в данной работе используется сенсор головного мозга для измерения электрических сигналов головного мозга, программно-аппаратный комплекс для распознавания команд на основе поступающих сигналов мозга, формирования и передачи управляющих команд на исполнительные устройства объекта управления..

На рисунке 1 представлена структурная схема системы:

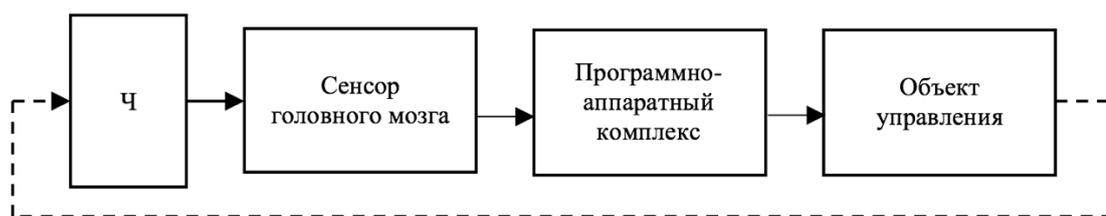


Рисунок 1 – Структурная схема системы,

где Ч – человек, к поверхности кожи головы которого подключены электроды сенсора головного мозга;

программно-аппаратный комплекс включает в себя цифровой сигнальный процессор (компьютер), искусственную нейронную сеть, хранилище обучающей выборки сигналов головного мозга, микропроцессорное устройство, вырабатывающее управляющие сигналы для управления приводами колес инвалидной коляски;

объект управления – инвалидная коляска, оснащенная электрическими приводами колес.

## 1. **Нейрокомпьютерные интерфейсы**

Со стремительным развитием технологий появляется спрос на новые способы управления различными системами. Сегодня такие компании как Google и Tesla Motors, делают успешные попытки в создании самоуправляемых автомобилей, производители квадрокоптеров добавляют функции в свои продукты, позволяющие им самостоятельно обходить препятствия и производить экстренную посадку при низком заряде источника питания [2, 3].

Наряду с этим все большую популярность набирают нейрокомпьютерные интерфейсы: системы управления различными объектами при помощи электрических сигналов мозга; подобные технологии применяются для управления квадрокоптерами, автомобилями, протезами, инвалидными колясками и др. [4]. Такие системы при помощи датчиков, установленных на поверхности головы, измеряют электрический сигнал, вырабатываемый мозгом, который впоследствии обрабатывается цифровым сигнальным процессором. Полученный сигнал используется для выработки управляющего воздействия.

Студенты Университета Флориды, используя сенсор головного мозга Emotiv EPOC, разработали нейрокомпьютерный интерфейс – систему, позволяющую проводить обмен информации между мозгом и электронным устройством [5]. В качестве электронного устройства был выбран квадрокоптер, которым студенты управляют при помощи силы мысли. Подобную задачу решают студенты Университета Миннесоты [6]. Для управления так же используются обработанные сигналы, измеренные при помощи электродов. Чтобы квадрокоптер «понял», какие задачи ему требуется выполнить, в соответствие каждому возможному действию ставится образ, создаваемый управляющим человеком в голове: например, для того, чтобы квадрокоптер двигался вправо, человеку необходимо представить правую руку сжатую в кулак, для движения вверх – обе руки сжатые в кулаки.

О растущей популярности нейрокомпьютерных интерфейсов говорит финансирование со стороны Министерства обороны США программ по изучению возможностей управления объектами мозгом. Техасский Университет в Сан Антонио получил два гранта в размере 300000 и 400000 долларов США для проведения исследований с целью управления нейросигналами мозга человека несколькими квадрокоптерами одновременно [7].

Другой сферой применения управления с помощью электрических сигналов мозга является управление автомобилем. Студенты Нанькайского Университета создали систему, предназначенную для парализованных и пожилых людей [8]. В настоящий момент система, состоящая из сенсора головного мозга и компьютера, позволяет автомобилю двигаться вперед и назад, делать остановку, а также открывать и закрывать замки. Конечной целью студенты ставят перед собой интеграцию подобной системы в самоуправляемый автомобиль, что позволит в случае необходимости вносить корректировку в действия автомобиля.

Нейрокомпьютерный интерфейс находит применение в управлении инвалидными колясками. Подобные системы необходимы для людей, неспособных двигаться и управлять коляской самостоятельно. Исследователи Федеральной Политехнической Школы Лозанны разработали систему управления коляской, использующую сигналы мозга и искусственный интеллект [9]. Чтобы управлять коляской, человеку необходимо проходить обучение несколько часов в день в течение пяти дней. Управление производится путем представления в мыслях движения какой-либо частью тела. Однако люди не в состоянии концентрироваться на одной мысли в течение длительного времени, также долгая концентрация создает помехи, что затрудняет работу компьютера при интерпретации сигналов. Поэтому для приведения коляски в движение достаточно подумать о команде лишь однажды. Коляска также оборудована двумя веб-камерами для обнаружения препятствий. Подобная задача была выполнена многими другими

исследователями, включая совместное исследование TOYOTA и научно-исследовательского института RIKEN в Японии [10].

Системы управления инвалидными колясками достаточно популярны, о чем говорят многочисленные инструкции по созданию собственных устройств, которые можно найти в интернете. Такие системы, наряду с системами, управляющими квадрокоптерами и автомобилями, несмотря на свои положительные качества, имеют один серьезный недостаток: необходимость наличия цифрового сигнального процессора, в качестве которого в большинстве случаев выступает ноутбук. Применение ноутбука для управления инвалидной коляской не позволяет ей работать в течение длительного времени из-за необходимости периодически заряжать аккумулятор.

## **2. Аппаратное и программное обеспечение системы распознавания электрических сигналов головного мозга**

Для работы инвалидной коляски, управляемой электрическими сигналами головного мозга, требуется ряд устройств и программное обеспечение:

- сенсор головного мозга для измерения электрических сигналов;
- искусственная нейронная сеть для интерпретации электрических сигналов и выработки команд;
- аппаратно-вычислительная платформа для передачи команд на исполнительные устройства.

Сегодня на рынке имеется два популярных сенсора головного мозга: Emotiv EPOC и Olimex EEG-SMT. [11,12]. В данном проекте выбор был сделан в пользу последнего по следующим причинам:

- низкая стоимость;
- отсутствие необходимости использования электропроводящего геля;
- широкий набор программного обеспечения для отображения и записи сигналов головного мозга.

Для интерпретации электрических сигналов головного мозга и выработки соответствующих команд используется искусственная сверточная нейронная сеть. Нейронные сети такого типа показывают хорошие результаты обучения, а также являются простыми в работе [13].

Для передачи команд на исполнительные устройства необходима аппаратно-вычислительная платформа. Наиболее популярными сегодня являются Arduino и Raspberry Pi [14, 15]. В данном проекте используется платформа Arduino в связи с ее низкой стоимостью, высокой надежностью и простотой в эксплуатации.

## 2.1. Аппаратно-вычислительная платформа Arduino UNO

### 2.1.1. Общие сведения о платформе Arduino UNO

Arduino UNO – это платформа, которая построена на базе микроконтроллера ATmega328. Данная платформа может применяться для различных задач автоматизированного управления.

Внешний вид устройства представлен на рисунке 2.1.1.1:

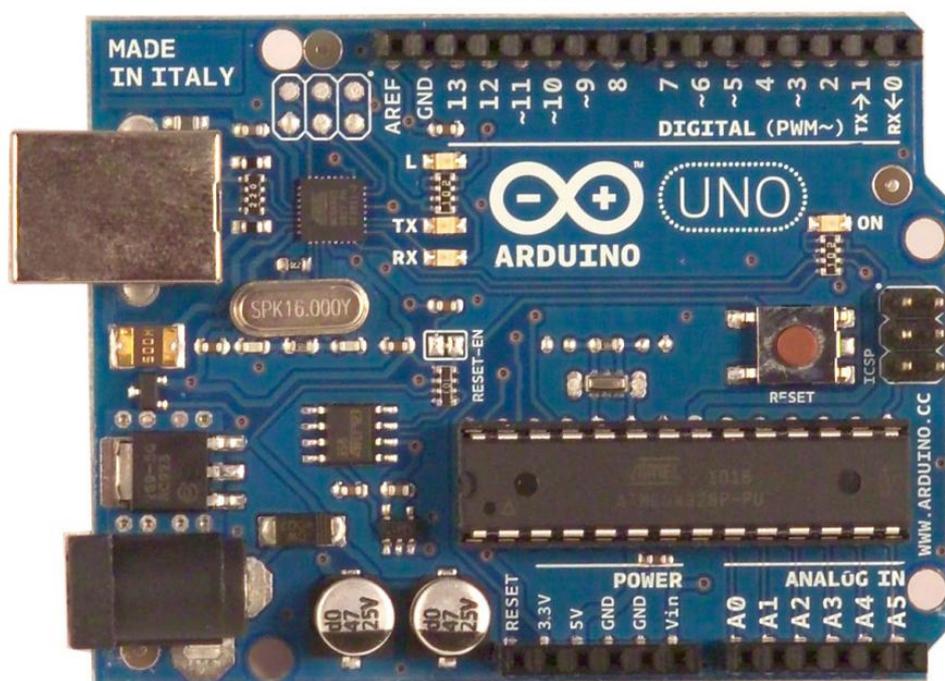


Рисунок 2.1.1.1 – Внешний вид платформы Arduino UNO

Данная платформа имеет 6 аналоговых входов, 14 цифровых входов/выходов (6 из них могут быть использованы как выходы ШИМ), разъем ICSP (In-Circuit Serial Programming или внутрисхемное программирование), силовой разъем, разъем USB (Universal Serial Bus или универсальная последовательная шина), кварцевый генератор 16 МГц, и кнопку перезагрузки.

Для работы платформу необходимо подключить к компьютеру при помощи кабеля USB или подать питание, используя источник постоянного питания или батареи автономных элементов питания [15].

### **2.1.2. Характеристики платформы Arduino UNO**

Платформа Arduino UNO обладает следующими характеристиками:

- Микроконтроллер: ATmega 328;
- рабочее напряжение: 5 В;
- входное напряжение (рекомендуемое): 7-12 В;
- входное напряжение (предельное): 6-20 В;
- цифровые входы/выходы: 14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ);
- аналоговые входы: 6;
- постоянный ток через вход/выход: 40 мА;
- постоянный ток для вывода 3,3 В: 50 мА;
- флеш-память: 32 Кб (ATmega328), из которых 0,5 Кб используются для загрузчика;
- ОЗУ: 2 Кб (ATmega328);
- EEPROM: 1 Кб (ATmega328);
- Тактовая частота: 16 МГц.

Платформа Arduino UNO может получать питание от внешнего источника или через подключение USB. Выбор источника питания производится автоматически.

Внешнее питание может подаваться батареей автономных элементов питания или через источник питания постоянного тока. Провода от батареи подключаются к выводам GND и VIN разъема питания. Подключение преобразователя напряжения происходит при помощи разъема диаметром 2,1 мм с центральным положительным полюсом [15].

### **2.1.3. Входы и выходы платформы Arduino UNO**

Каждый цифровой вывод платформы Arduino UNO может быть настроен как вход или как выход при помощи функций `digitalWrite()`, `pinMode()` и `digitalRead()`. Данные выводы работают при напряжении, равном 5 В. Для

каждого из выводов имеется нагрузочный резистор 20-50 кОм, который может пропускать ток до 40 мА.

Программы, установленные на компьютере, производят общение с платформой Arduino UNO через виртуальный порт COM. Прошивкой ATmega8U2 используются стандартные драйверы USB COM [16].

#### **2.1.4. Программирование платформы Arduino UNO**

Микроконтроллер ATmega328 оснащен загрузчиком, который позволяет записывать новые программы без использования внешних программаторов. Связь осуществляется при помощи протокола STK500.

Язык программирования устройств Arduino основан на языках C и C++ [16]. Программирование платформы Arduino UNO производится посредством среды разработки Arduino, которая состоит из встроенного текстового редактора, окна вывода текста, области сообщений, панели инструментов, содержащей кнопки часто используемых команд и ряд меню. Среда разработки подключается к аппаратной части платформы Arduino UNO с целью загрузки программ и связи.

Программа, которая была написана в среде разработки Arduino, называется скетч. В текстовом редакторе происходит написание скетча. Текстовый редактор обладает инструментами вырезки/вставки и поиска/замены текста. При сохранении и экспорте проекта в области сообщений появляются пояснения и возникающие ошибки. Окно вывода текста отображает сообщения, включающие в себя полные отчеты об ошибках. Кнопки, расположенные на панели инструментов, позволяют проверить программу на ошибки и записать ее, открыть окно мониторинга последовательной шины. создать, открыть и сохранить скетч.

Среда разработки Arduino также обладает различными библиотеками, которые добавляют функциональность скетчам. Для использования библиотек их необходимо импортировать в скетч. Ряд библиотек по умолчанию включен в среду разработки Arduino, дополнительные библиотеки могут быть загружены отдельно [17].

Аппаратно-вычислительная платформа Arduino UNO будет использоваться для передачи команд на исполнительные устройства. Данная платформа отвечает требованиям проекта по надежности и быстродействию.

## **2.2. Сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT**

### **2.2.1. Общие сведения о сенсоре головного мозга Olimex EEG-SMT**

Сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT предназначен для снятия электроэнцефалограммы (ЭЭГ - электрической активности головного мозга). Устройство построено на базе микроконтроллера ATmega16 [18].

Внешний вид устройства представлен на рисунке 2.2.1.1:



Рисунок 2.2.1.1 – Внешний вид сенсора головного мозга Olimex EEG-SMT

Для работы устройство необходимо подключить к компьютеру при помощи кабеля USB.

Сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT имеет четыре разъема диаметром 3.5 мм для подключения активных электродов и один разъем – для подключения пассивного электрода. Отличие активных электродов от пассивных заключается в том, что для их использования не требуется нанесение жидкостей и паст на поверхность кожи головы для их корректной работы, т.к. в активных электродах установлены усилители сигнала.

Для снятия ЭЭГ два или четыре активных электрода необходимо установить на поверхности кожи головы, а пассивный электрод – на ухе человека, электрические сигналы головного мозга которого будут измеряться, для заземления. Получаемые данные в режиме реального времени передаются в компьютер при помощи кабеля USB.

Передача данных в компьютер производится на частоте 256 Гц, используя 1 стартовый бит, 8 бит данных, 1 стоп бит, без паритета. В секунду передается 57600 бит. Для передачи данных используется кодировка ASCII (American standard code for information interchange – американский стандартный код для обмена информацией).

### **2.2.2. Характеристики сенсора головного мозга Olimex EEG-SMT**

Сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT обладает следующими характеристиками:

- Микроконтроллер: ATmega16;
- рабочее напряжение: 5В;
- количество каналов: 2;
- входы для активных электродов: 4 шт;
- входы для пассивных электродов: 1 шт;
- флеш-память: 16 кб (ATmega 16);
- тактовая частота: 16 МГц (ATmega 16).

Питание устройство получает через подключение USB.

Сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT применяется для измерения электрических сигналов головного мозга и передачи их на цифровой сигнальный процессор (компьютер). Данный сенсор имеет высокую точность измерения и не требует применения электропроводящих гелей при работе.

### **2.3. Программное обеспечение Brain Bay**

Для отображения и записи получаемой ЭЭГ в проекте используется программное обеспечение (ПО) Brain Bay.

Brain Bay – это свободно распространяемое ПО, предназначенное для отображения, обработки и записи биологических сигналов, к которым

относятся электрические сигналы головного мозга, измеряемые при помощи различных измерительных устройств и передаваемые в компьютер при помощи подключения USB [19].

В данном ПО производится запись электрических сигналов головного мозга в текстовые файлы, которые в дальнейшем используются для построения графиков в Matlab.

## **2.4. Искусственная нейронная сеть**

Искусственная нейронная сеть – математическая модель, ее программное или аппаратное воплощение, которая строится на основе работы нейронных сетей нервных клеток [20].

Искусственная нейронная сеть – это система искусственных нейронов, которые соединены и взаимодействуют между собой.

Нейронные сети используются для решения различных задач, решение которых требует вычислений схожими с теми, которые делает человеческий мозг [21].

В данной работе будет использоваться сверточная искусственная нейронная сеть.

### **2.4.1. Сверточная нейронная сеть**

В данной работе для распознавания электрических сигналов головного мозга будет использоваться искусственная нейронная сеть. Так как сигналы мозга будут храниться в виде изображений по 2000 точек каждое, в данной работе используется сверточная искусственная нейронная сеть, применяемая для распознавания изображений.

Сверточная нейронная сеть – архитектура нейронных сетей, которая применяется для распознавания изображений. Такая сеть имеет однонаправленную многослойную структуру. Сверточные сети имеют множество чередующихся сверточных и субдискретизирующих слоев [22].

Рассмотреть принцип работы сверточной нейронной сети проще всего на примере сравнения изображений двух символов: X и O. Каждый раз, когда

в нейронную сеть будет загружено изображение, она должна определить, изображен на нем символ X или O [23].

Для компьютера изображение будет выглядеть как двухмерный массив пикселей с цифрой в каждом пикселе. В данном примере черному пикселю соответствует -1, а белому – 1. Пример изображений, загружаемых в нейронную сеть, представлен на рисунке 2.4.1.1:

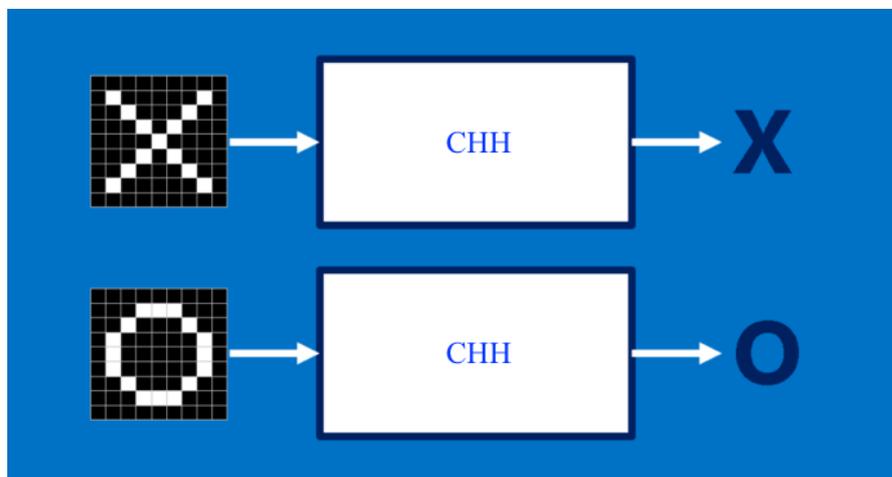


Рисунок 2.4.1.1 – Пример изображений, загружаемых в нейронную сеть,

где CNN - сверточная нейронная сеть.

#### 2.4.2. Особенности изображений

Сверточные нейронные сети сравнивают изображения по частям. Участки изображений, которые ищут нейронные сети, называются особенностями. Пример особенностей изображений представлен на рисунке 2.4.2.1:

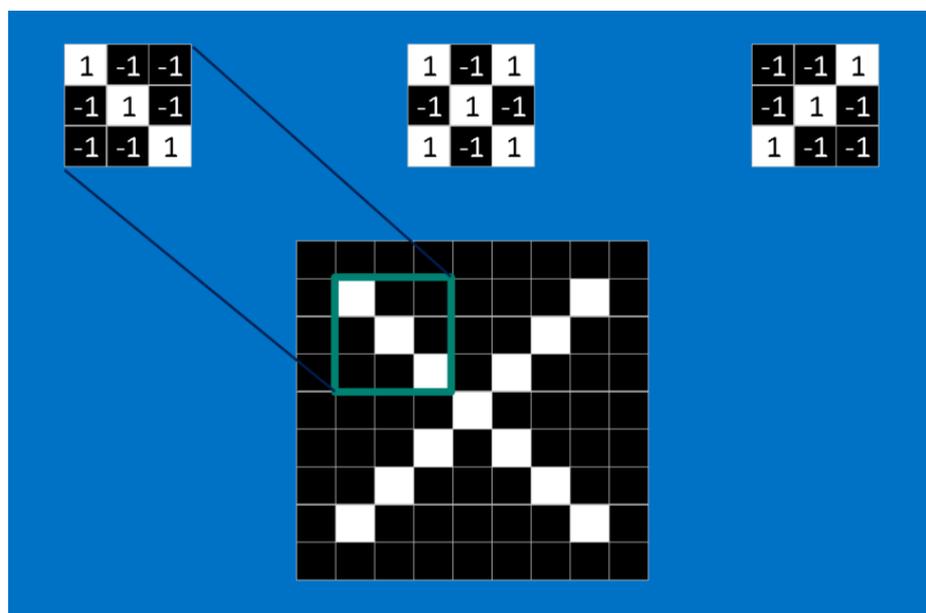


Рисунок 2.4.2.1 – Особенности изображений

Каждая особенность как и изображения является двумерным массивом. Особенности изображений являются похожими частями разных изображений. В данном примере особенностями являются диагональные и пересекающиеся линии. Пример похожих особенностей двух изображений представлен на рисунке 2.4.2.2:

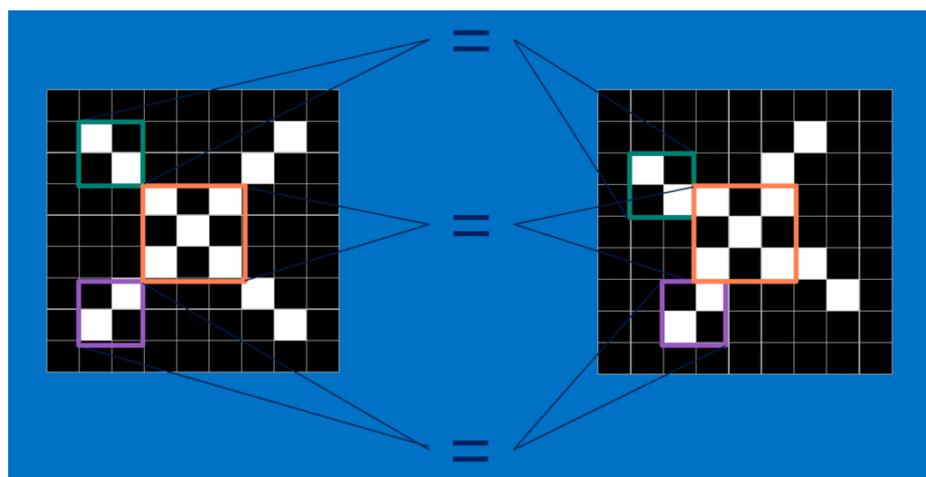


Рисунок 2.4.2.2 – Особенности двух изображений

### 2.4.3. Слой свертки

Когда в нейронную сеть загружается новое изображение, она не знает, в какой части изображения искать особенности, поэтому она ищет их во всех возможных позициях. Математическая основа, которая лежит в поиске особенностей, называется сверткой.

Для расчета совпадения особенностей каждый пиксель особенности умножается на соответствующий пиксель загруженного изображения. В результате, если особенности совпадают, то получается 1, в противном случае – -1. Процесс поиска особенностей представлен на рисунке 2.4.3.1:

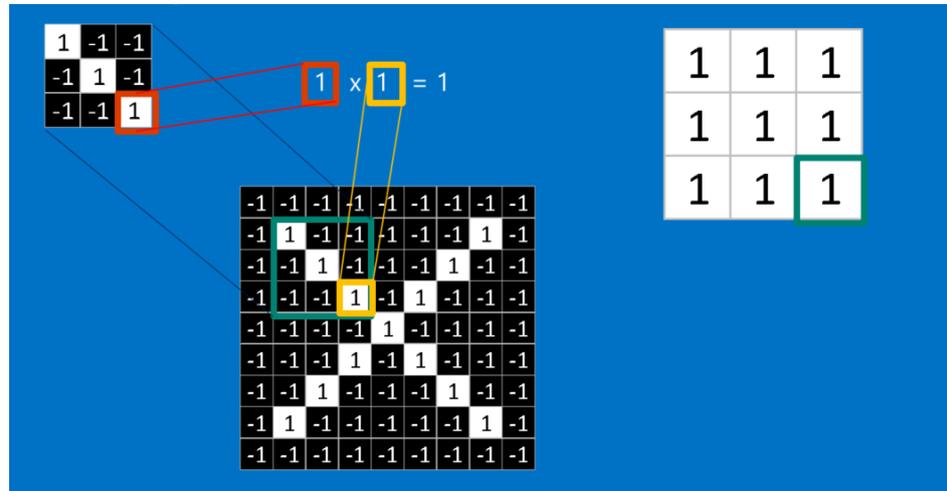


Рисунок 2.4.3.1 – Процесс поиска особенностей

Для завершения свертки, этот процесс повторяется, сравнивая особенность с каждым участком изображения. Взяв ответ по результатам каждой свертки, можно создать новый двухмерный массив. Такой массив будет своеобразной картой участков изображений, на которых были найдены особенности. Значения, близкие к 1, показывают высокий уровень совпадения, значения, близкие к -1 – низкий уровень, а значения, близкие к 0, - отсутствие совпадения. Таким образом изображение «фильтруется». Карта совпадений представлена на рисунке 2.4.3.2:

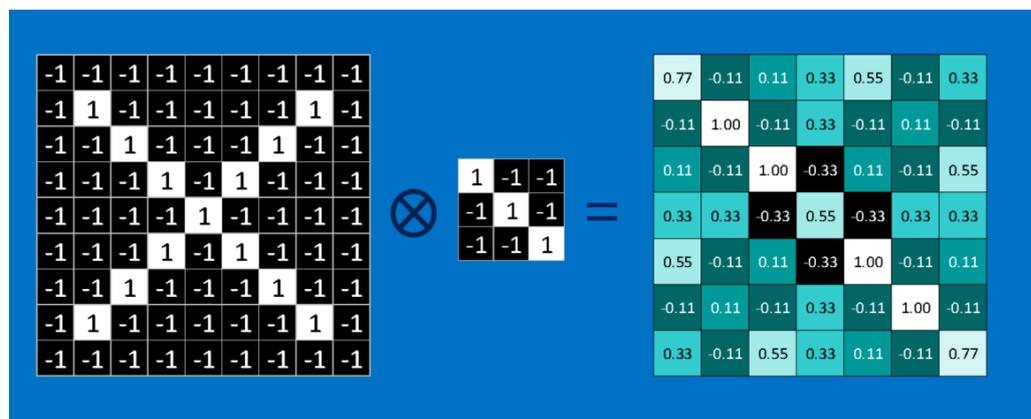


Рисунок 2.4.3.2 – Карта совпадений

Следующим шагом является повторение свертки для всех других особенностей. В результате будут получены карты совпадений для всех особенностей. На рисунке 2.4.3.3 представлены карты совпадений для всех особенностей:

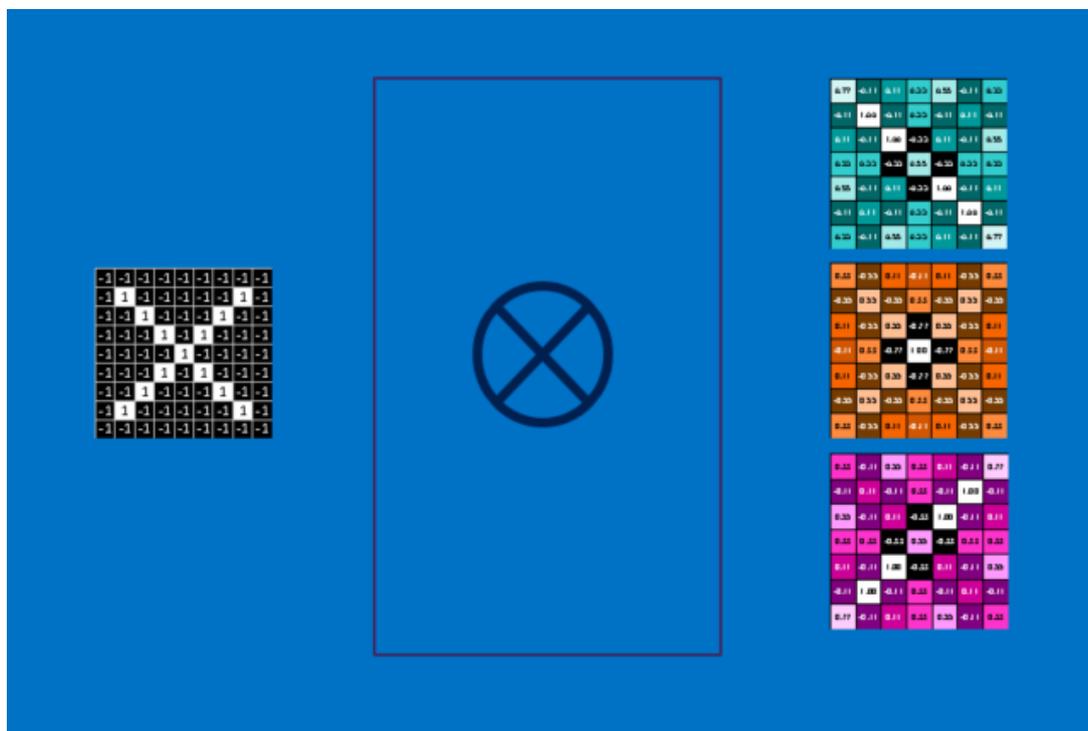


Рисунок 2.4.3.3 – Карта совпадений для всех особенностей

#### 2.4.4. Слой субдискретизации

Субдискретизация – это процесс уменьшения изображений в размере, сохраняя при этом важную информацию этих изображений. Группа пикселей (обычно размером 2x2) уплотняется до одного пикселя путем выбора максимального значения группы пикселей и записи его в один пиксель. Процесс субдискретизации представлен на рисунке 2.4.4.1:

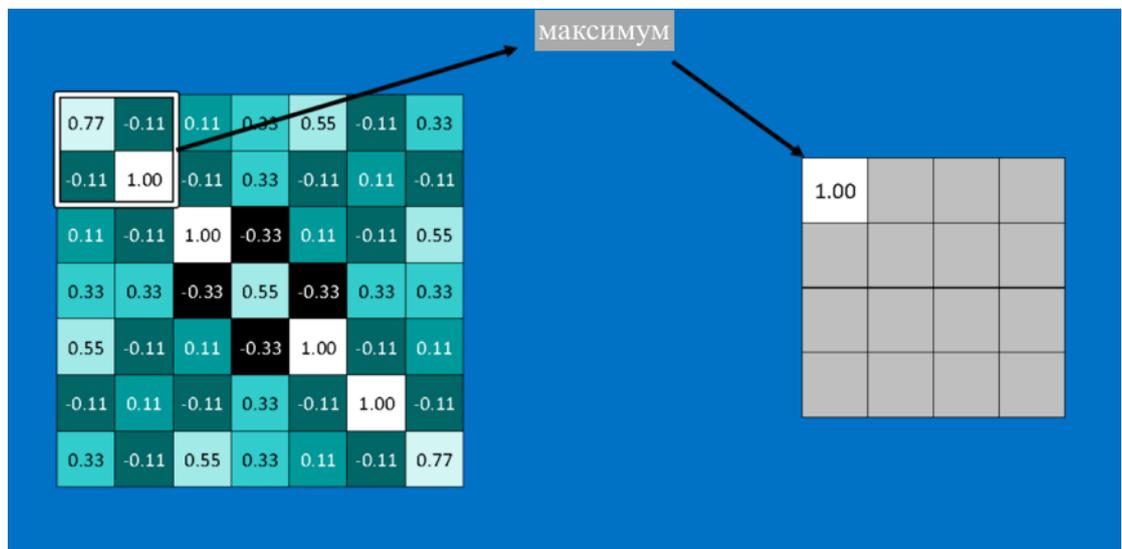


Рисунок 2.4.4.1 – Процесс субдискретизации

После субдискретизации изображение становится примерно на 75% меньше изначального. Благодаря тому, что полученные изображения содержат максимальные значения каждой группы пикселей, они выделяют наиболее совпадающие с особенностями участки изображений. Таким образом сверточная нейронная сеть не берет во внимание расположение особенностей, а проверяет изображения на наличие или отсутствие этих особенностей, что позволяет ускорить работу нейронной сети. Результат работы слоя субдискретизации представлен на рисунке 2.4.4.2:

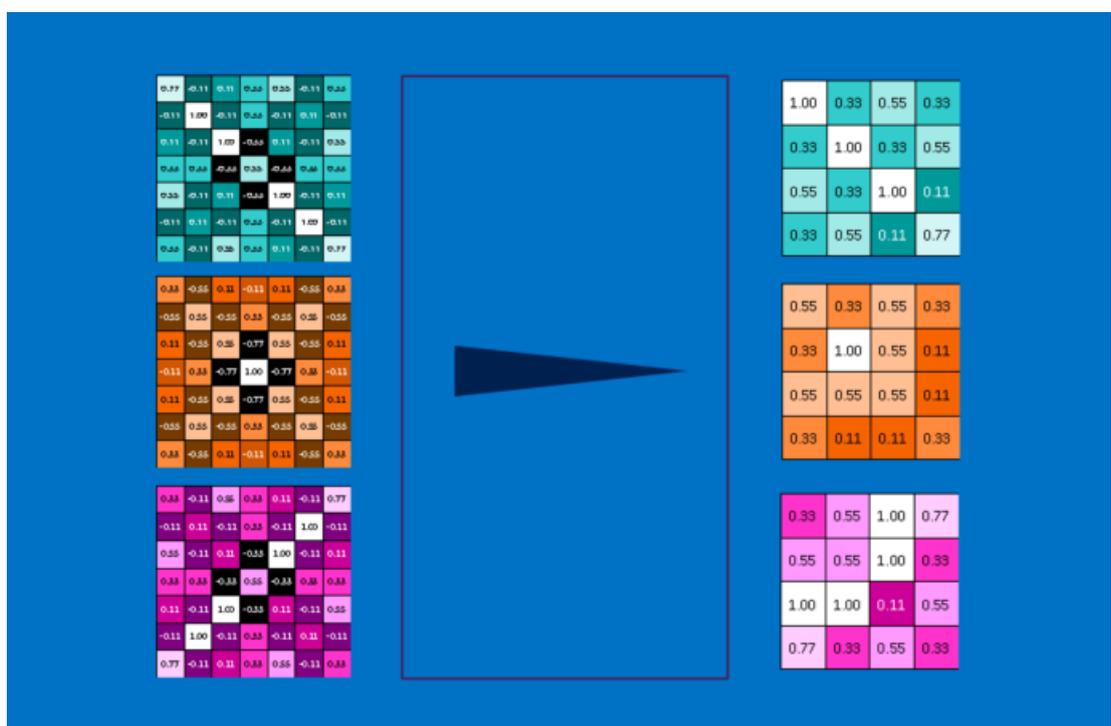


Рисунок 2.4.4.2 – Результат работы слоя субдискретизации

## 2.4.5. Слой линейной ректификации

Слой линейной ректификации работает по формуле:

$$f(x) = \max(0, x)$$

Данный слой отвечает за поиск отрицательных значений и замену их на 0, что помогает нейронным сетям показывать хорошие результаты обучения и удаляет ненужные детали. Результат работы слоя линейной ректификации представлен на рисунке 2.4.5.1:

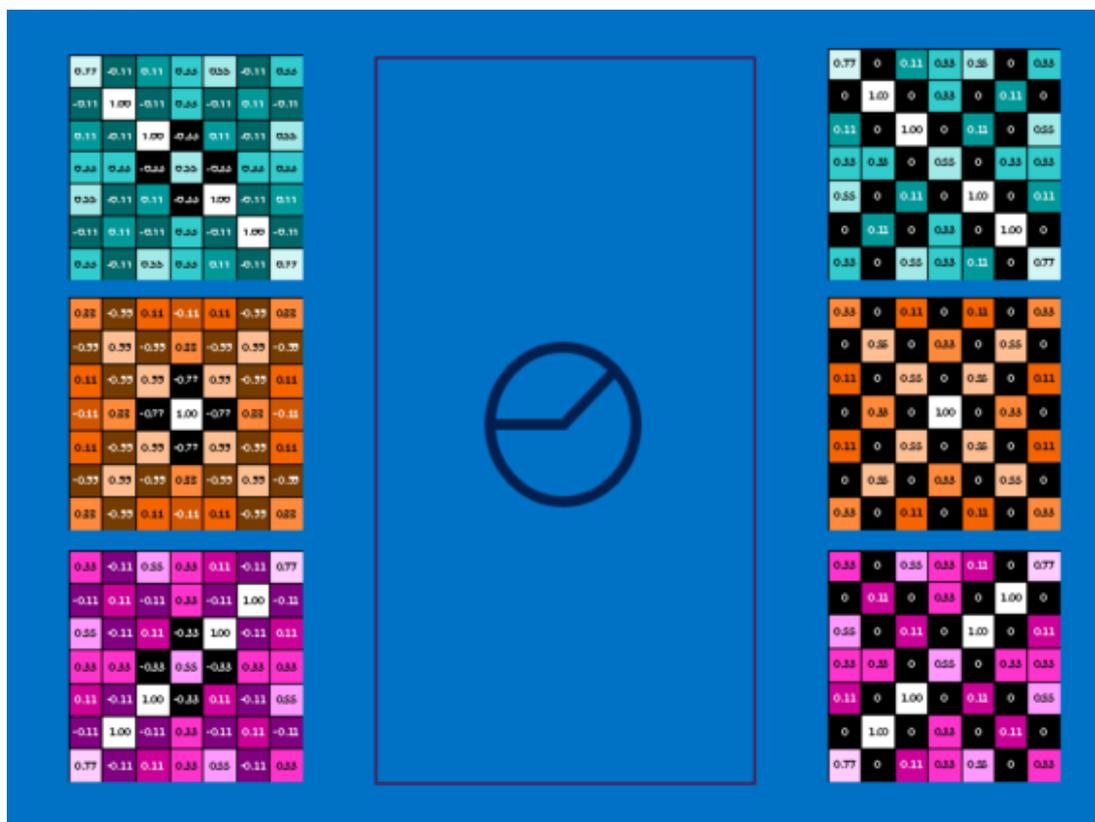


Рисунок 2.4.5.1 – Результат работы слоя линейной ректификации

## 2.4.6. Глубинное обучение

Глубинное обучение – класс алгоритмов машинного обучения, который:

- использует множество слоев для нахождения особенностей. Каждый слой использует выход предыдущего слоя в качестве входа;
- основаны на обучении без учителя (использование только входных образов, без выходных эталонных образов. Особенности высокого уровня получаются на основе особенностей низших уровней, создавая иерархическую систему [24].

В сверточных нейронных сетях изображения, используемые в качестве данных для обучения, могут «фильтроваться», субдискретизироваться и ректифицироваться неограниченное количество раз. Схема процесса глубинного обучения представлена на рисунке 2.4.6.1:



Рисунок 2.4.6.1 – Схема процесса глубинного обучения, где Свертка – слой свертки, Рект. – слой линейной ректификации, Суб. – слой субдискретизации.

С каждой итерацией особенности изображений становятся больше и сложнее, а сами изображения уменьшаются в размере. Это позволяет низшим уровням отвечать за простые детали изображений, такие как края объектов или светлые участки. Высшие уровни отвечают за более сложные детали изображений, такие как формы. К примеру, нейронные сети, обученные на изображениях человеческих лиц, на низших уровнях распознают края объектов, на средних – детали лиц, например, глаза и носы, а на высших уровнях – лица. Пример результатов работы слоев такой нейронной сети представлен на рисунке 2.4.7.2:

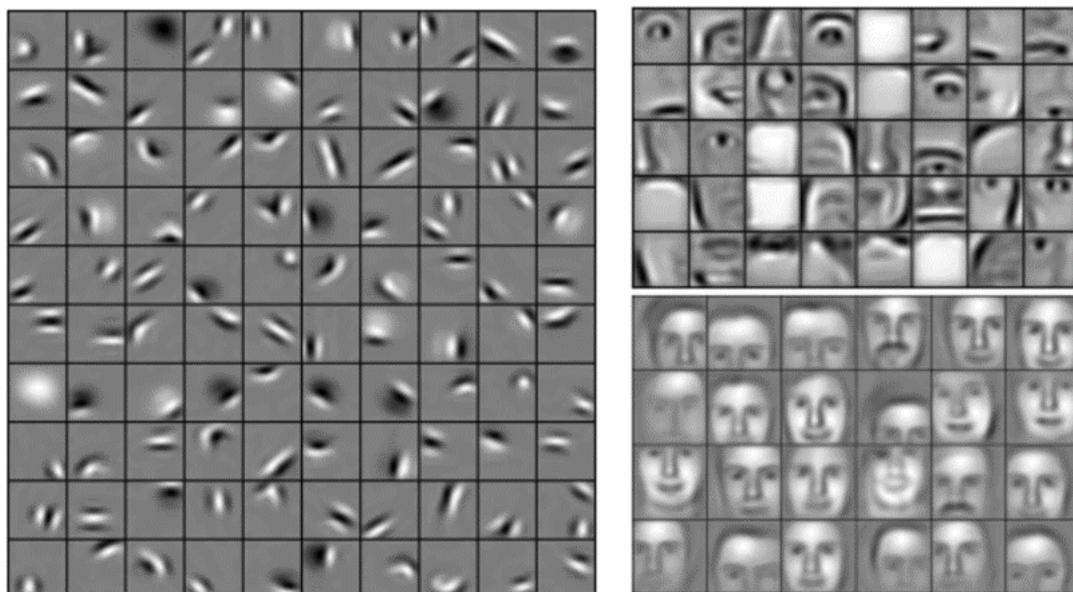


Рисунок 2.4.7.2 – Результаты работы слоев сверточной нейронной сети, обученной на изображениях человеческих лиц

На рисунке 2.4.7.2 слева показан результат работы низших слоев нейронной сети, в правом верхнем углу – средних слоев, в правом нижнем углу – высших слоев.

#### **2.4.7. Полносвязные слои**

Полносвязные слои сверточных нейронных сетей переводят изображения высоких уровней после «фильтрации» в голоса. Голосами являются значения, получаемые на выходе полносвязного слоя. В рассматриваемом примере каждое значение имеет свой голос при решении о том, является загруженное в сеть изображение символом X или O. Пример «голосования» представлен на рисунке 2.4.7.1:

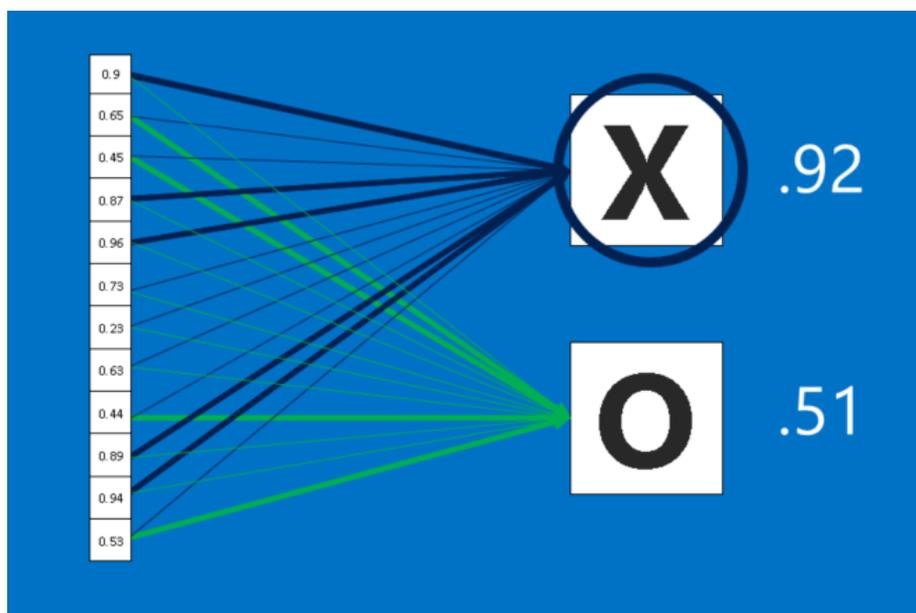


Рисунок 2.4.7.1 – Пример «голосования» сверточной нейронной сети

Как видно из рисунка 2.4.7.1, загруженное на вход нейронной сети изображение с вероятностью 92% является символом X. Линии, изображенные на рисунке, являются голосами. Столбец содержит значения, полученные на выходе полносвязного слоя. Из рисунка следует, что голоса с высокими значениями (свыше 80%) определяют загруженное на вход нейронной сети изображение как символ X, тогда как символ O имеет низкие значения голосов.

В сверточной нейронной сети может быть несколько полносвязных слоев, так как их выходы имеют схожий вид как и их входы – вектор значений. Каждый дополнительный полносвязный слой увеличивает точность работы сверточной нейронной сети. В результате схема работы сверточной сети выглядит, как показано на рисунке 2.4.7.2:



Рисунок 2.4.7.2 – Схема процесса работы сверточной нейронной сети, где Полн. – полносвязный слой.

#### 2.4.8. Математическая модель работы сверточной нейронной сети

Тензор – геометрический объект, описывающий линейные взаимосвязи между скалярами, векторами, матрицами и другими тензорами [25].

Частными случаями тензора являются, например, векторы (тензоры первого порядка), матрицы (тензоры второго порядка) и изображения (тензоры третьего порядка), которые описываются следующим образом:

- $x \in R^D$  – вектор, содержащий  $D$  элементов;
- $X \in R^{H \times W}$  – матрица, содержащая  $H$  строк и  $W$  столбцов;
- $x \in R^{H \times W \times D}$  – тензор третьего порядка, содержащий  $D$  каналов, каждый из которых является матрицей размера  $H \times W$ ;
  - $x \in R^{H \times W \times 3}$  – частный случай тензора третьего порядка: изображение, т.к. у цветного изображения, хранящегося в формате RGB (Red Green Blue – красный зеленый синий), имеется три канала (R, G и B, соответственно) [26].

Элементы  $H$ ,  $W$  и  $D$  могут быть описаны переменными  $i$ ,  $j$  и  $d$ , лежащими в промежутках:

$$0 \leq i < H$$

$$0 \leq j < W$$

$$0 \leq d < D$$

#### 2.4.9. Входы и выходы слоев сверточной нейронной сети

Допустим, рассматривается  $l$ -й слой сети, на вход которого поступает тензор третьего порядка  $x^l \in R^{H^l \times W^l \times D^l}$ . Для определения местонахождения любого элемента в  $x^l$  используются три переменные  $i^l$ ,  $j^l$  и  $d^l$ . Следовательно, элемент находится в канале  $d^l$  в  $i^l$ -ом ряду и  $j^l$ -ом столбце.

В  $l$ -ом слое сеть преобразует входной тензор  $x^l$  в выход  $y$ , который будет являться входом для следующего слоя:  $x^{l+1} = y \in R^{H^{l+1} \times W^{l+1} \times D^{l+1}}$ , элементы которого будут описываться тремя переменными  $i^{l+1}$ ,  $j^{l+1}$  и  $d^{l+1}$ .

#### 2.4.10. Слой линейной ректификации

Слой линейной ректификации работает по формуле:

$$y_{i,j,d} = \max\{0, x_{i,j,d}^l\},$$

где  $y_{i,j,d}$  – выход слоя линейной ректификации;

$x_{i,j,d}^l$  – вход слоя линейной ректификации.

Как было написано выше, слой линейной ректификации отвечает за поиск отрицательных значений и замену их на 0.

#### 2.4.11. Слой свертки

Предположим, что входом слоя свертки  $l$  будет тензор третьего порядка с размерами  $H^l \times W^l \times D^l$ , а размер особенности будет  $H \times W \times D^l$ . В процессе сравнения входа и особенности будут рассчитаны значения всех точек во всех каналах  $D^l$  входа после свертки.

В работе слоев свертки используются особенности разных размеров. Тогда можно записать все особенности как  $f$ .  $f$  – тензор четвертого порядка в области  $R^{H \times W \times D^l \times D}$ . Тогда математически процедура свертки может быть описана формулой:

$$y_{i^{l+1},j^{l+1},d} = \sum_{i=0}^H \sum_{j=0}^W \sum_{d^l=0}^{D^l} f_{i,j,d^l,d} \cdot x_{i^{l+1}+i,j^{l+1}+j,d^l}^l$$

#### 2.4.12. Слой субдискретизации

Слой субдискретизации работает по формуле, находящей максимальное значение в группе пикселей заданного размера:

$$y_{i^{l+1},j^{l+1},d} = \max_{0 \leq i < H, 0 \leq j < W} x_{i^{l+1}+i \cdot H, j^{l+1}+j \cdot W, d}^l$$

Сверточные искусственные нейронные сети широко применяются для распознавания изображений. Такие сети являются простыми в работе, а также обладают высокой степенью обучаемости и сравнительно высокой скоростью обучения. Характеристики таких сетей отвечают задачам данного проекта.

### 3. Разработка системы управления инвалидной коляской при помощи электрических сигналов головного мозга

#### 3.1. Аппаратная часть системы

Аппаратную часть системы составляют:

- Аппаратно-вычислительная платформа Arduino UNO;
- сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT;
- цифровой сигнальный процессор (персональный компьютер).

Сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT, измеряющий электрические сигналы на поверхности кожи головы, подключается к компьютеру при помощи подключения USB. Также через подключение USB к компьютеру подключается аппаратная платформа Arduino UNO. При помощи макетной платы к Arduino UNO подключаются три светодиода и кнопка для имитации работы двигателей, вращающих колеса инвалидной коляски. Питание сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT и Arduino UNO получают от компьютера через подключение USB.

На рисунке 3.1.1 представлена структурная схема системы:

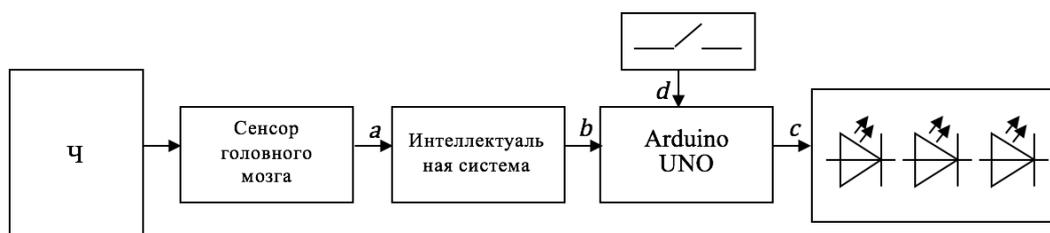


Рисунок 3.1.1 – Структурная схема системы,

где Ч – человек, к поверхности кожи головы которого подключены электроды сенсора головного мозга;

интеллектуальная система включает в себя цифровой сигнальный процессор (компьютер), сверточную искусственную нейронную сеть и хранилище обучающей выборки сигналов;

a – электрический сигнал головного мозга, передаваемый в цифровом виде;

$b$  – числовое значение, соответствующее определенному действию систем;

$c$  – команда, вырабатываемая аппаратной платформой Arduino UNO, и передаваемая на исполнительные устройства;

$d$  – сигнал остановки, вырабатываемый кнопкой.

Электрические сигналы, измеряемые сенсором головного мозга, поступают на цифровой сигнальный процессор (компьютер) в виде ASCII-символов, которые затем записываются в текстовый файл в виде числовых значений. По полученным значениям строятся графики по 2000 точек каждый, которые в дальнейшем загружаются в искусственную нейронную сеть в виде трех наборов изображений для ее тренировки.

В случае, если в результате работы нейросети содержится информация о том, что с наибольшей вероятностью в нейросеть был загружен график определенного набора данных, то платформе Arduino UNO передается цифра, соответствующая этому набору данных: 2, 3 или 4.

Когда платформе передается цифра 2, 3 или 4, загорается соответствующий полученному значению светодиод. В случае, когда нажата кнопка, все светодиоды гаснут.

Светодиоды имитируют работу двигателей, вращающих колеса инвалидной коляски, кнопка отвечает за формирование сигнала на остановку вращения двигателей (выключение светодиодов):

- светодиод 2 – поворот налево;
- светодиод 3 – поворот направо;
- светодиод 4 – движение прямо;
- кнопка – остановка.

## **3.2. Работа системы распознавания электрических сигналов головного мозга**

### **3.2.1. Измерение электрических сигналов головного мозга**

При измерении электрических сигналов головного мозга очень важна правильная установка электродов на поверхности кожи головы. При работе с

нейрокомпьютерными интерфейсами (системы, использующие для управления сигналы мозга) зачастую электроды устанавливают над проекционной зоной коры головного мозга, показанной на рисунке 3.2.1.1 [25]:

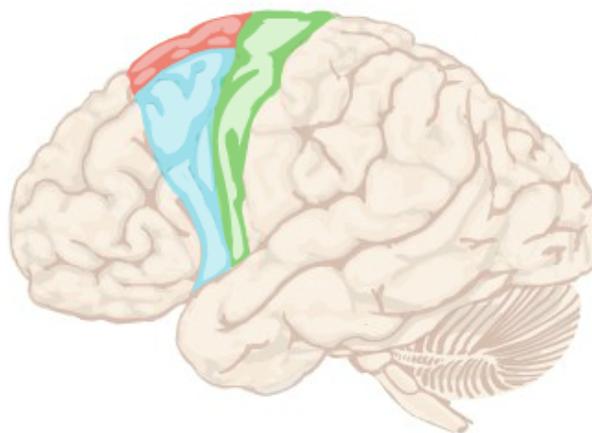


Рисунок 3.2.1.1 – Проекционная зона коры головного мозга

Проекционная зона коры головного мозга отвечает за движение: когда человек двигается или думает о движении, нейроны проекционной зоны вырабатывают слабые электрические сигналы.

Человеческий мозг вырабатывает волны различной частоты и амплитуды. Самыми распространенными являются альфа и бета волны. Когда мозг находится в состоянии покоя, нейроны вырабатывают сигналы частотой от 8 до 12 Гц (альфа волны), при высоком уровне концентрации и активных мыслительных процессах частота сигнала изменяется в пределах от 12 до 27 Гц (бета волны) [27].

Для правильного размещения электродов на поверхности кожи головы используется международная система размещения электродов «10-20». Согласно этой системе поверхность кожи головы может быть представлена в виде карты, представленной на рисунке 3.2.1.2 [28]:

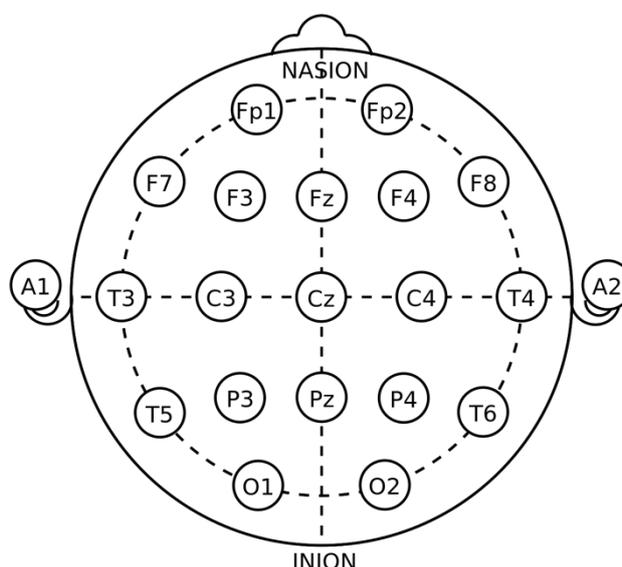


Рисунок 3.2.1.2 – Карта размещения электродов по системе «10-20»

В данном проекте электроды, измеряющие электрические сигналы головного мозга, устанавливались в точках C3 и C4, находящиеся над проекционной зоной коры головного мозга.

Сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT предназначен для снятия электроэнцефалограммы. Электроэнцефалография основана на измерении разности потенциалов между двумя точками поверхности кожи головы, на которых установлены электроды [29].

Сенсор измеряет разность потенциалов в Вольтах, после чего полученное значение поступает на контроллер ATmega16 сенсора головного мозга, где это значение преобразуется при помощи аналогово-цифрового преобразователя и уже дискретное значение передается в компьютер при помощи подключения USB.

### 3.2.2. Запись электрических сигналов головного мозга

В данном проекте для управления объектом используются три набора данных, состоящих из волн, вырабатываемых головным мозгом: два набора данных бета волн и набор данных альфа волн. Как было сказано выше, бета волны вырабатываются при активных мыслительных процессах. Также было сказано, что электроды в данном проекте устанавливались над проекционной корой головного мозга. Поэтому для записи двух наборов бета волн человеком, на поверхности кожи головы которого были установлены

электроды, производилось представление двух различных движений: сжатие левой руки в кулак – для записи первого набора данных бета волн и сжатие правой руки в кулак - для записи второго набора данных бета волн, соответственно. Набор данных альфа волн записывался при низком уровне концентрации.

Процесс записи электрических сигналов головного мозга производился при помощи программного обеспечения BrainBay. Получаемые сигналы записывались в текстовые файлы, которые в дальнейшем загружались в Matlab. В Matlab на основе данных текстовых файлов строились графики по две тысячи точек каждый, на которых были изображены волны, вырабатываемые головным мозгом. Графики затем сохранялись в виде изображений для дальнейшей загрузки в искусственную нейронную сеть. Пример графика бета волны представлен на рисунке 3.2.1.3:

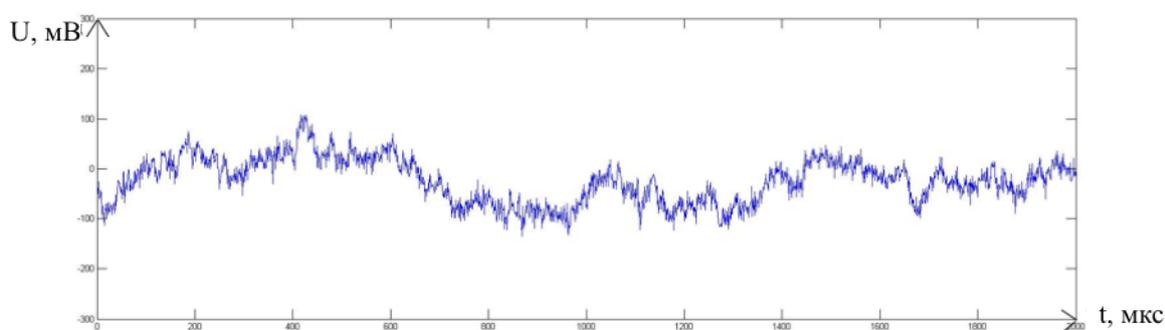


Рисунок 3.2.1.3 - Пример графика бета волны

В результате для каждого из трех наборов данных было получено по сто графиков, которые в дальнейшем использовались для тренировки сверточной искусственной нейронной сети.

### 3.2.3. Обучение сверточной искусственной нейронной сети

Сверточная искусственная нейронная сеть в данном проекте применяется для определения, к какому из трех наборов данных волн принадлежит поступающее на ее вход изображение.

В данном проекте использовалась сверточная нейронная сеть TensorFlow – открытая библиотека, созданная инженерами Google, которая была обучена на миллионе изображений [30].

Данная сверточная сеть имеет 8 слоев:

- два слоя свертки;
- два слоя линейной ректификации;
- два слоя субдискретизации;
- два полносвязных слоя.

Первый слой свертки в своей работе использует 32 фильтра размером  $5 \times 5$ . Затем в работу вступает слой линейной ректификации, удаляющий отрицательные значения. Далее в работу вступает слой субдискретизации, использующий фильтр размером  $2 \times 2$ .

Второй слой свертки в своей работе использует 64 фильтра размером  $5 \times 5$ . Затем в работу вступает слой линейной ректификации, удаляющий отрицательные значения. Далее в работу вступает слой субдискретизации, использующий фильтр размером  $2 \times 2$ .

Первый полносвязный слой переводит изображения высоких уровней после «фильтрации» в голоса. На втором полносвязном слое вырабатывается решение о том, к какому из наборов принадлежит загруженное изображение.

Данная сверточная искусственная нейронная сеть реализована на компьютере.

У библиотеки TensorFlow были обучены только низшие и средние уровни, отвечающие за распознавание краев объектов загружаемых изображений.

При работе с TensorFlow указывался путь к папке, содержащей наборы данных волн:

```
docker run -it -v $HOME/tf_files:/tf_files  
gcr.io/tensorflow/tensorflow:latest-devel
```

Затем загружался программный код для обучения нейронной сети:

```
cd /tensorflow  
git pull
```

Загружаемый код представлен в приложении Б.

Далее вводились команды для запуска процесса обучения нейронной сети:

```
python tensorflow/examples/image_retraining/retrain.py \  
--bottleneck_dir=/tf_files/bottlenecks \  
--model_dir=/tf_files/inception \  
--output_graph=/tf_files/retrained_graph.pb \  
--output_labels=/tf_files/retrained_labels.txt \  
--image_dir /tf_files/plots
```

Перед началом обучения указывается, в какой папке хранятся наборы для обучения нейронной сети. Указанная папка содержит вложенные папки, в каждой из которых хранятся изображения, соответствующие записанным волнам. Названия данных папок используются при проверке результатов обучения: загруженное в сеть изображение будет определено как принадлежащее одному из трех наборов данных с соответствующим названием.

Обучение нейронной сети проходит в четыре тысячи итераций и занимает в среднем около одного часа.

После обучения нейронной сети можно загрузить в нее изображение альфа или беты волны, которое не участвовало в процессе обучения сети с целью проверки результатов ее обучения.

Для этого необходимо ввести команду:

```
python /tf_files/label_image.py /tf_files/plots/left_hand/1.jpg &> file.txt
```

В результате в текстовый файл file.txt был записан следующий результат работы нейросети:

```
left_hand (score = 0.80995)  
right_hand (score = 0.12805)  
alpha (score = 0.04176)
```

Из полученного результата следует, что с вероятностью 80% в нейросеть было загружено изображение графика бета волны, полученного при представлении движения левой рукой.

### **3.2.4. Передача и исполнение команд аппаратно-вычислительной платформой Arduino UNO**

Следующим этапом работы системы является передача команд в аппаратную платформу Arduino UNO. Для этого используется код на языке Python, отвечающий за распознавание текста в текстовых файлах и передачи результата распознавания в аппаратную платформу Arduino UNO.

Программный код на языке Python, осуществляющий распознавание текста и передачу его в Arduino UNO, представлен в приложении В. При проверке результатов обучения сеть не показывала точность выше 80% на любом из наборов данных, поэтому представленный код ищет результаты с точностью от 80%. Также, значения выше 80% позволяют не учитывать результаты работы низкой точности, что снижает риск выполнения неверной команды.

В случае, если в результате работы нейросети содержится информация о том, что с наибольшей вероятностью в нейросеть был загружен график определенного набора данных, то платформе Arduino UNO передается цифра, соответствующая этому набору данных: 2, 3 или 4.

Программный код для выполнения команд аппаратной платформой Arduino UNO представлен в приложении Г.

Когда платформе передается цифра 2, 3 или 4, загорается соответствующий полученному значению светодиод. В случае, когда нажата кнопка, все светодиоды гаснут.

В результате была разработана и протестирована система управления инвалидной коляской при помощи электрических сигналов головного мозга.

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

##### 4.1. Организация и планирование работ

Для реализации любого проекта следует планировать работу каждого участника и сроки проведения работ. Этапы работ и исполнители представлены в таблице 4.1.1:

Таблица 4.1.1 – Этапы работ и исполнители

Этапы работы	Исполнители	Загруженность исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	НР – 80% С – 20%
2. Обзор научных материалов	С	С – 100%
3. Разработка технического задания (ТЗ)	НР, С	НР – 20% С – 80%
4. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	НР – 30% С – 70%
5. Выбор измерительного устройства	НР, С	НР – 15% С – 85%
6. Выбор аппаратной платформы	НР, С	НР – 15% С – 85%
7. Измерение сигналов головного мозга	НР, С	НР – 10% С – 90%
8. Обработка полученных данных	С	НР – 15% С – 85%
9. Разработка программного обеспечения	НР, С	НР – 20% С – 80%
10. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	С – 100%
11. Подведение итогов	НР	НР – 100%

Первый этап работы включает в себя постановку целей и задач проекта: разработки инвалидной коляски, управляемой при помощи электрических сигналов головного мозга. Тема проекта выбирается руководителем совместно со студентом.

Второй этап работы включает в себя поиск и изучение научных материалов по заданной теме, которые будут использоваться при разработке устройства.

Третий этап работы включает в себя разработку технического задания. Этот документ определяет дальнейшие действия по исследованию и разработке устройства.

Четвертый этап работ включает в себя реализацию календарного плана выполнения работ.

Пятый этап работ включает в себя студентом производится выбор измерительного устройства. Студентом исследуются различные устройства, представленные на рынке, и выбирается наиболее подходящее для задач проекта.

Шестой этап работ включает в себя выбор аппаратной платформы, соответствующей задачам проекта.

Седьмой этап работ включает в себя измерение сигналов головного мозга при помощи выбранного измерительного устройства.

Восьмой этап работ включает в себя обработку данных, полученных на предыдущем этапе. Студент переводит полученные данные в графические изображения для дальнейшего использования.

Девятый этап работ включает в себя разработку программного обеспечения для интерпретации полученных графических изображений и формировании управляющих команд для аппаратной платформы на основе полученных данных.

Десятый этап работ включает в себя производится оформление расчетно-пояснительной записки.

Одиннадцатый этап работ включает в себя подведение итогов по проделанной студентом работе научным руководителем.

#### **4.1.1. Продолжительность этапов работ**

Для оценки продолжительности работ будет использоваться экспертный метод в связи с отсутствием нормативной базы по проводимым работам.

Для начала необходимо рассчитать максимальное и минимальное время выполнения каждого этапа работы. Ожидаемое время работ рассчитывается по формуле:

$$t_{ож_i} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5},$$

где  $t_{ож_i}$  – ожидаемое время выполнения  $i$ -го этапа работ в чел.-дн.;

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

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

Ожидаемое, минимальное и максимальное время выполнения работ рассчитываются в рабочих днях на человека. Данные величины необходимо перевести в календарные дни по формуле 4.1.1.1:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (4.1.1.1)$$

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

$T_{РД}$  – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий произвести переход от рабочих дней к календарным, который рассчитывается по формуле 4.1.1.2:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (4.1.1.2)$$

где  $T_{КАЛ} = 365$  – календарные дни;

$T_{ВД} = 92$  – выходные дни;

$T_{ПД} = 26$  – праздничные дни.

Подставив числовые значения в формулу 1, можно получить:

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 92 - 26} = 1.48$$

Рабочие дни рассчитываются по формуле:

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

где  $K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, который учитывает влияние внешних факторов на соблюдение установленной длительности выполнения работ.  $K_{ВН}$  может быть равен 1;

$K_d$  – коэффициент, который учитывает дополнительное время, необходимое для компенсации непредвиденных задержек и согласования работ. Границы коэффициента  $K_d = 1 \div 1.2$ . Значение в заданных границах выбирает исполнитель.

Значения  $K_{вн}$  и  $K_d$  будут приняты равными 1. Тогда формула 4.1.1.1 примет вид:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_k = t_{ож} \cdot T_k = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \cdot 1.48$$

Используя данные таблицы 1, будет рассчитана продолжительность выполнения работ в календарных днях. Результаты расчетов представлены в таблице 4.1.1.1:

Таблица 4.1.1.1 – Расчет трудозатрат на выполнение работ проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, д.			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	3	4	3.4	2.72	0.68	4.0256	1.0064
2. Обзор научных материалов	С	6	9	7.2	0	7.2	0	10.656
3. Разработка технического задания (ТЗ)	НР, С	25	35	29	5.8	23.2	8.584	34.336
4. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	5	8	6.2	1.55	4.65	2.294	6.882
5. Выбор измерительного устройства	НР, С	10	15	12	1.2	10.8	1.776	15.984
6. Выбор аппаратной платформы	НР, С	4	6	4.8	0.48	4.32	0.7104	6.3936
7. Измерение сигналов головного мозга	НР, С	15	20	14	1.4	12.6	2.072	18.648
8. Обработка полученных данных	С	6	9	7.2	1.08	6.12	1.5984	9.0576

Продолжение таблицы 4.1.1.1

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, д.			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
9. Разработка программного обеспечения	НР, С	25	45	33	6.6	26.4	9.768	39.072
10. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	16	20	17.6	0	17.6	0	26.048
11. Подведение итогов	НР	3	4	3.4	3.4	0	5.032	0
<b>Итого</b>				<b>137.8</b>	<b>24.23</b>	<b>113.57</b>	<b>35.8604</b>	<b>168.0836</b>
							<b>203.944</b>	

На рисунке 4.1.1.1 представлена диаграмма проекта, основанная на данных из таблицы 4.1.1.1:

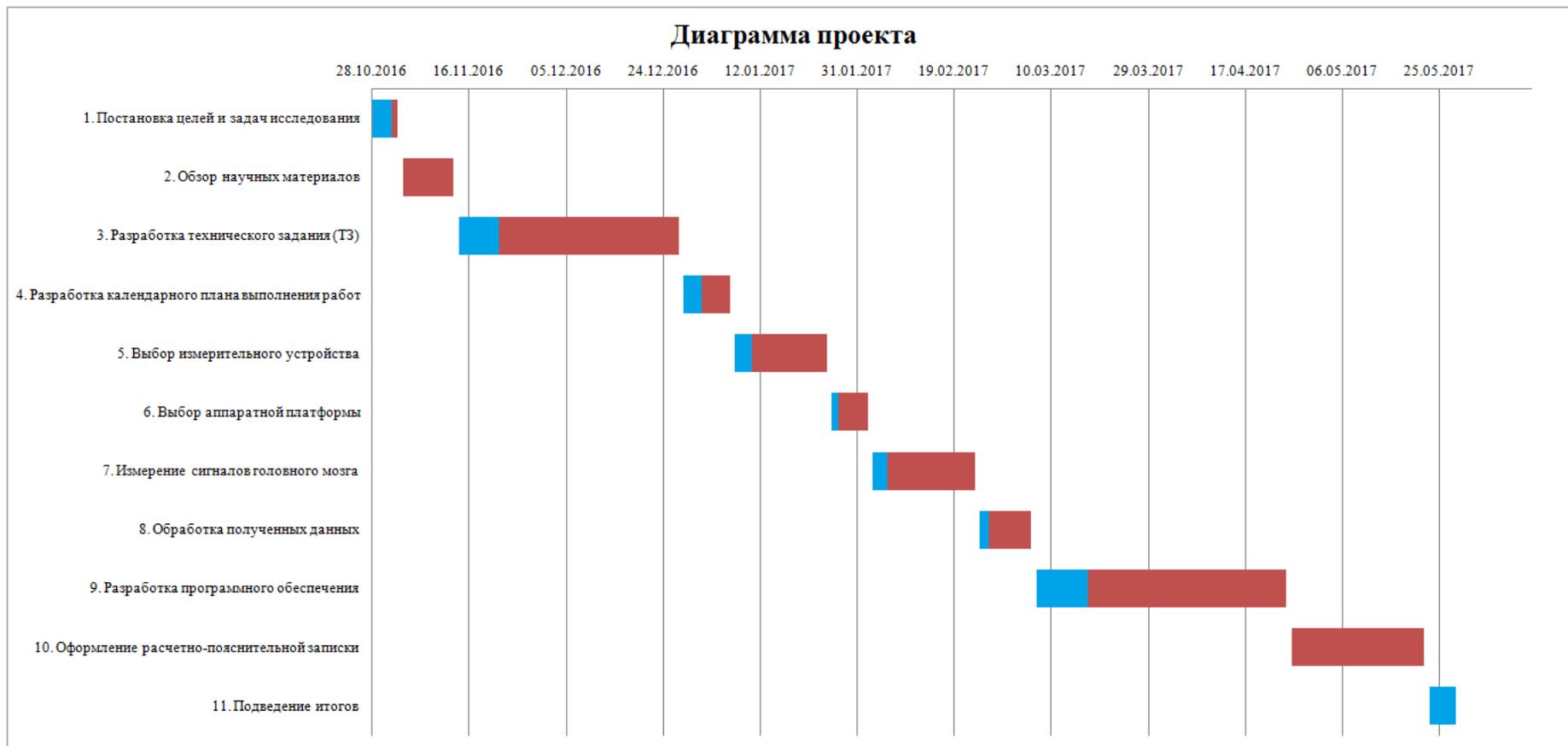


Рисунок 4.1.1.1 – Диаграмма проекта

#### 4.1.2. Расчет накопления готовности проекта

Далее будет производиться оценка текущих результатов работы над проектом. Степень готовности отражает, на сколько будет выполнен проект в конце текущего этапа в процентном соотношении, которая рассчитывается по формуле:

$$СГ_i = \frac{ТР_i^H}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i ТР_k}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m ТР_{km}}{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m ТР_{km}}$$

где  $ТР_i^H$  – накопленная трудоемкость  $i$ -го этапа проекта по его завершению;

$ТР_{общ.}$  – общая трудоемкость проекта;

$ТР_{ij}$  ( $ТР_{kj}$ ) – трудоемкость работ, которые выполняются  $j$ -м участником на  $i$ -м этапе, где  $j = \overline{1, m}$  – индекс исполнителя.  $m = 2$ .

В таблице 4.1.2.1 представлены нарастание технической готовности проекта и удельный вес каждого этапа:

Таблица 4.1.2.1 - Нарастание технической готовности проекта и удельный вес каждого этапа

Этапы работы	$ТР_i, \%$	$СГ_i, \%$
1. Постановка целей и задач исследования	2.46734398	2.46734398
2. Обзор научных материалов	5.22496372	7.6923077
3. Разработка технического задания (ТЗ)	21.0449927	28.7373004
4. Разработка календарного плана выполнения работ	4.49927431	33.2365747
5. Выбор измерительного устройства	8.70827286	41.9448476
6. Выбор аппаратной платформы	3.48330914	45.4281567
7. Измерение сигналов головного мозга	10.1596517	55.5878084
8. Обработка полученных данных	5.22496372	60.8127721

Продолжение таблицы 4.1.2.1

Этапы работы	ТР <sub>i</sub> , %	СГ <sub>i</sub> , %
9. Разработка программного обеспечения	23.9477504	84.7605225
10. Оформление расчетно-пояснительной записки	12.7721335	97.532656
11. Подведение итогов	2.46734398	100

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

Затраты на выполнение проекта включают в себя все расходы, которые необходимы для реализации всех работ, входящих в данный проект. Расчет сметной стоимости выполнения проекта производится по статьям затрат, представленным ниже:

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

В данный проект не входят расходы на услуги связи и сторонних организаций, арендная плата и расходы на командировочные. Следовательно, основными расходами данного проекта являются:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;

- прочие (накладные) расходы.

#### 4.2.1. Расчет затрат на материалы

К данному разделу относятся стоимость материалов и покупных изделий.

На начальном этапе проекта следует провести теоретические исследования. Для этого будут использоваться программные пакеты Matlab, BrainBay и Arduino, которые распространяются свободно или предоставляются бесплатно Томским Политехническим Университетом. Следовательно, на начальном этапе затраты включают в себя расходы на бумагу и тетради. На следующем этапе будут проводиться исследования на персональном компьютере.

В материальные затраты также включены транспортно-заготовительные расходы (ТЗР), обусловленные затратами на совершение покупок и доставку материалов. ТЗР составляют от 5 до 20% от всей стоимости материалов. В данном проекте норма ТЗР выбрана равной 10%. Затраты на материалы представлены в таблице 4.2.1.1:

Таблица 4.2.1.1 – Затраты на материалы

Наименование материала	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Бумага для принтера	240	1	240
Тетрадь общая	40	2	80
<b>Итого</b>			<b>320</b>
<b>Итого (с учетом ТЗР)</b>			<b>352</b>

#### 4.2.2. Расчет заработной платы

В данном разделе происходит расчет заработной платы (ЗП) научного руководителя и студента и размер премии, входящей в фонд ЗП.

Расчет ЗП производится на основе трудоемкости выполнения каждого из этапов проекта и величины месячного оклада исполнителя. Оклад студента принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, в который выполняются подобные виды работ, соответствующие месту прохождения преддипломной практики студентом.

Для расчета ЗП исполнителя величина месячного оклада будет принят оклад младшего научного сотрудника на половину ставки. Таким образом зарплата студента будет равной  $MO_C = 14874.45$  руб., зарплата научного руководителя будет равной  $MO_{НР} = 27484.86$  руб.

Далее необходимо вычислить среднедневную ставку с учетом среднего количества рабочих дней в месяце. В 2017 году 247 рабочих дней, следовательно, количество рабочих дней в месяце равно 20.6. Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн} = \frac{MO}{20.6}$$

Для студента эта величина составит примерно 361 рубль, а для научного руководителя 1334.22 рубля в день. Далее будет произведен расчет основной ЗП. Затем с учетом премий, дополнительной ЗП и районного коэффициента будет рассчитана полная ЗП по формуле:

$$ЗП_{полн} = ЗП_{дн} \cdot T_{рд} \cdot K_{пр} \cdot K_{доп} \cdot K_r,$$

где  $T_{рд}$  - трудоемкость проекта для сотрудника в рабочих днях;

$K_{пр} = 1.1$  – коэффициент премирования;

$K_{доп} = 1.13$  – коэффициент дополнительной ЗП для пятидневной рабочей недели, 1.188 – для шестидневной;

$K_r = 1.3$  – районный коэффициент.

В таблице 4.2.2.1 представлены затраты на ЗП:

Таблица 4.2.2.1 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23264.86	1129.36	36	1.699	69076.18
С	14874.45	361	168	1.62	98249.76
<b>Итого</b>					<b>167325.94</b>

### 4.2.3. Расчет затрат на электроэнергию

В данном разделе рассчитываются затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием в течение работы над проектом. Затраты на электроэнергию рассчитываются 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;

$Ц_{\text{э}}$  – тариф на 1 кВт·час ( $Ц_{\text{э}} = 5.782$  руб/кВт·ч);

$t_{\text{об}}$  – время работы оборудования.

Время работы оборудования рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t,$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{\text{рд}}$ , определяемый исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение  $t_{\text{об}}$  путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Для выполнения работ студентом использовался персональный компьютер и учебный стенд. В таблице 4.2.3.1 представлены затраты на потребленную оборудованием электроэнергию:

Таблица 4.2.3.1– Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность оборудования, кВт	$K_t$	Время работы оборудования, ч	Затраты на электроэнергию
Персональный компьютер	0.35	0.9	1125.8	2013.41
Принтер	0.25	0.001	0.7	2.76
<b>Итого</b>				<b>2016.17</b>

### 4.2.4. Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 27% от полной заработной платы по проекту и рассчитывается по формуле  $C_{\text{соц}} = C_{\text{эл}} \cdot 0.27$ . Для проведения исследования затраты налог составляют  $C_{\text{соц}} = 167325.94 \cdot 0.27 = 45178.00$  руб.

#### 4.2.5. Расчет амортизационных расходов

Расчет амортизационных расходов производится по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{N_A * C_{OB} * t_{pф} * n}{F_D},$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{OB}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, который берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

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

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Персональный компьютер и принтер входят в группу вычислительная техника, следовательно, они имеют срок полезного использования 2-3 года.

Так как к сроку начала работ компьютер и принтер эксплуатировались более 5 и 10 лет соответственно, то срок их полезного использования истек, следовательно, амортизационные

Следовательно, амортизационные расходы на использование оборудования составят:

$$C_{AM} = \frac{N_A * C_{OB} * t_{pф} * n}{F_D} = 0.00 \text{ руб.}$$

#### 4.2.6. Расчет прочих (накладных) расходов

В данном разделе рассчитываются расходы на выполнение проекта, не учтенные в предыдущих разделах. Данные расходы принимаются равными 10% от суммы всех расходов:

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам}) \cdot 0.1 = (352 + 167325.94 + 2016.17 + 45178.00 + 0) \cdot 0.1 = 21487.21 \text{ руб.}$$

#### 4.2.7. Расчет общей стоимости разработки

В данном разделе производится расчет общей стоимости проекта. Результаты расчетов представлены в таблице 4.2.7.1:

Таблица 4.2.7.1 – Общая стоимость проекта

Статья затрат	Обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	352
Заработная плата	$C_{\text{зн}}$	167325.94
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	45178.00
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	2016.17
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	0.00
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	21487.21
<b>Итого</b>		<b>236359.32</b>

#### 4.2.8. Расчет прибыли, НДС и цены разработки НИР

Так как информация для применения сложных методов расчетов прибыли отсутствует, то прибыль может варьироваться в пределах от 5 до 20% от себестоимости продукта. В данном проекте прибыль будет заложена равной 12% от себестоимости, следовательно:

$$P = 236359.32 \cdot 0.12 = 28363.12 \text{ руб.}$$

НДС будет рассчитан в размере 18% от суммы затрат на разработку и заложенной прибыли:

$$\text{НДС} = (P + C) \cdot 0.18 = 47650.04 \text{ руб.}$$

Цена разработки НИР – это сумма трех составляющих: полной себестоимости проекта, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = 236359.32 + 28363.12 + 47650.04 = 312372.48 \text{ руб.}$$

#### 4.3. Оценка экономической эффективности проекта

Результатом проведения НИР является создание инвалидной коляски, управляемой электрическими сигналами головного мозга, которая позволит людям с ограниченной возможностью жить более полноценной жизни.

Для получения количественной оценки экономической эффективности разработанного проекта необходимо проведение специального комплексного исследования, которое выходит за рамки представленной работы.

Результатом данной работы является проект, предназначенный для продажи и коммерциализации.

#### 4.3.1. Оценка научно-технического уровня НИР

В данном разделе производится оценка научно-технического уровня разработки при помощи вычисления интегрального индекса научно-технического уровня  $I_{НТУ}$ . Расчет данного индекса производится как взвешенная сумма количественных оценок НИР по трем признакам: уровень новизны, теоретический уровень и возможность реализации.

В таблице 4.3.1.1 представлены критерии оценки уровня новизны НИР:

Таблица 4.3.1.1 – Критерии оценки уровня новизны НИР

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны – $n_1$	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

В таблице 4.3.1.2 представлены критерии оценки теоретического уровня НИР:

Таблица 4.3.1.2 – Критерии оценки теоретического уровня НИР

Теоретический уровень полученных результатов – $n_2$	Баллы
Установка закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

В таблице 4.3.1.3 представлены критерии оценки возможности реализации НИР по времени:

Таблица 4.3.1.3 – Критерии оценки возможности реализации НИР по времени

Время реализации – $n_3$	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Разрабатываемая система по оценке таблицы 8 имеет уровень новизны равный 4, т.к. подобные системы существуют, однако не создавались при помощи используемых измерительных устройств и аппаратной платформы.

Критерии оценки теоретического уровня НИР однозначно равен 6, т.к. результатом данной работы является алгоритм работы контроллера, организующего работу установки.

Критерий оценки возможности реализации НИР по времени равен 10, т.к. реализация разработки имеет ограниченный срок 2 года.

Далее будет произведен расчет интегрального индекса НТУ НИР:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 k_i \cdot n_i = 0.4 \cdot 6 + 0.1 \cdot 6 + 0.5 \cdot 10 = 8$$

Так как индекс НТУ равен 8 баллов, это означает, что НТУ соответствует высокому уровню проведенной НИР.

## **5. Социальная ответственность**

### **5.1. Аннотация**

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) IC CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».

В соответствии с МС - Социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этичное поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

### **5.2. Введение**

В данной ВКР представлена разработка инвалидной коляски, управляемой электрическими сигналами головного мозга. Основными устройствами, используемыми в работе, являются сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT и аппаратная платформа Arduino UNO. Электроды сенсора устанавливаются на поверхность кожи головы человека и измеряют электрические сигналы, которые впоследствии обрабатываются компьютером, а затем формируются команды, поступающие на аппаратную платформу.

В текущем разделе указаны основные вредные и опасные факторы рабочей зоны, их анализ и способы защиты от них, аспекты охраны окружающей среды, защиты от чрезвычайных ситуаций, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

### 5.3. Производственная безопасность

#### 5.3.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-74 делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в таблице 5.3.1.1:

Таблица 5.3.1.1 – Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Управление механизмами поста управления, работа с ПЭВМ; Выполнение визуальных осмотров всех основных и вспомогательных механизмов до начала их использования при выполнении работ;	Повышенная температура; Повышенная влажность; Высокая скорость движения; Повышенная напряженность зрения; Повышенная напряженность труда в течение смены;	Движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования; Электрический ток.	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96; Нормы естественного и искусственного освещения предприятий, СНиП 23-05-95; Допустимые уровни шумов в производственных помещениях. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ;

Продолжение таблицы 5.3.1.1

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Ведение технологического процесса приема и укладки металла в приемные карманы (стеллажи), склады цеха.	Отсутствие или недостаток естественного и искусственного света; Электромагнитные излучения; Повышенный уровень шума.		Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; Защитное заземление, зануление, ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ.

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

### **5.3.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования**

В условиях современного интенсивного использования ЭВМ важное значение имеет изучение психофизиологических особенностей и возможностей человека с целью создания вычислительной техники, обеспечивающей максимальную производительность труда и сохранение здоровья людей. Игнорирование эргономики может привести к довольно серьезным последствиям.

При внедрении усовершенствованной системы управления технологическим процессом важную роль играет планировка рабочего места. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени оператора.

Основным документом, определяющим условия труда на персональных ЭВМ, являются «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Санитарные нормы и правила СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, которые были введены 30 июня 2003 года.

В Правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. Исходя из анализа состояния помещения, пост управления №8 по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности (согласно ПУЭ).

Основным опасным производственным фактором на рабочем месте оператора поста управления является высокое напряжение в сети, от которой запитана система управления.

### **5.3.3. Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)**

#### **5.3.3.1. Механические опасности**

Механическое травмирование человека в производственных условиях и в быту возможно в следующих случаях:

при несанкционированном взаимодействии с различными устройствами и механизмами;

падении человека и различных предметов;

поражении потоками вещества, ударной волной, фрагментами разрушающихся систем повышенного давления, тепловых и иных сетей и т.п.;

контакте с режущими и колющими предметами, с шероховатыми и рваными поверхностями.

Основные последствия механических опасностей:

- защемление или раздавливание;
- порезы;

- отрезание или разрубание;
- захват или наматывание;
- затягивание или задерживание;
- попадание под удар;
- местный укол или полное прокалывание;
- поверхностное повреждение наружных тканей под действием трения.

К средствам защиты работающих от механического травмирования (физического опасного фактора) относятся:

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);
- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);
- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами.
- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

Сигнализация является одним из звеньев непосредственной связи между машиной и человеком. Она способствует облегчению труда, рациональной организации рабочего места и безопасности работы. Сигнализация может быть звуковая, световая, цветовая и знаковая. Сигнализация должна быть расположена и выполнена так, чтобы сигналы, предупреждающие об опасности, были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым может угрожать опасность.

ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими

определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки.

### **5.3.3.2. Требования к помещениям для работы с ПЭВМ**

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) эти помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup> и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) 4,5 м<sup>2</sup>.

Для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ должны использоваться диффузионно-отражающие материалы с коэффициентом отражения от потолка – 0.7 - 0.8; для стен – 0.5 - 0.6; для пола – 0.3 - 0.5.

### **5.3.3.3. Микроклимат**

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, производимых сидя и не требующих систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в таблице 5.3.3.3.1, в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 и СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 5.3.3.3.1 – Нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

<b>Период года</b>	<b>Категория работы</b>	<b>Температура, С</b>	<b>Относительная влаж. воздуха, %</b>	<b>Скорость движения воздуха, не более м/с</b>
Холодный	Ia	22-24	40-60	0,1
Теплый	Ia	23-25	40-60	0,1

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах представлены в таблице 5.3.3.3.2.

Таблица 5.3.3.3.2 – Допустимые величины показателей микроклимата

<b>Период года</b>	<b>Категория работы</b>	<b>Температура, С</b>	<b>Относительная влаж. воздуха, %</b>	<b>Скорость движения воздуха, не более м/с</b>
Холодный	Ia	20-25	15-75	0,1
Теплый	Ia	21-28	15-75	0,1-0,2

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели.

Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. Применение таких решеток способствует также повышению электробезопасности в помещениях. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли.

#### **5.3.3.4. Освещение**

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза.

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное. Совмещенное сочетает оба вида освещения.

На посту управления, где расположено рабочее место оператора, используется совмещенное освещение.

Для определения приемлемого уровня освещенности в помещении необходимо:

- определить требуемый для операторов уровень освещенности внешними источниками света;
- если требуемый уровень освещенности не приемлем для других операторов, работающих в данном помещении, надо найти способ сохранения требуемого контраста изображения другими средствами.

Рекомендуемые соотношения яркостей в поле зрения следующие:

- между рабочими поверхностями не должно превышать 1:3 – 1:5;
- между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 1:10.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы, который определяется наименьшим размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк (СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03). Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>. Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Согласно СНИП 23-05-95 нормы на освещение для оператора поста управления берутся для производственных помещений. Эти нормы представлены в таблице 5.3.3.4.1.

Таблица 5.3.3.4.1 – Нормы на освещение для оператора

Характер зрительной работы	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение		Естественное освещение КЕО е <sub>н</sub> , % при боковом
			Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент пульсации, К <sub>п</sub> , %	
Различение объектов высокой точности	Б	1	300	15	1,0

Расчет системы искусственного освещения проводится для прямоугольного помещения, размерами: длина А = 4 (м), ширина В = 3 (м), высота Н = 2,4 (м), количество ламп N = 4 (шт).

Вычисления будут, производится по методу светового потока, предназначенного для расчета освещенности общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Согласно отраслевым нормам освещенности

уровень рабочей поверхности над полом составляет 0,8 (м) и установлена минимальная норма освещенности  $E = 300$  (Лк).

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100 / (n \cdot \eta),$$

Где:  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, (Лк);

$S$  – площадь освещаемого помещения, ( $m^2$ );

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма), пыли;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным  $Z = 1,1$ ;

$n$  – число светильников;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока, (%);

$\Phi$ – световой поток, излучаемый светильником.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен ( $\rho_{ст}$ ) и потолка ( $\rho_{п}$ ).

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}$$

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно.

Произведем расчет:

$$h = H - 0,8 = 2,4 - 0,8 = 1,6 \text{ (м)},$$

где  $h$  – расчетная высота подвеса светильников над рабочей поверхностью.

Экономичность осветительной установки зависит от отношения, представленного в формуле:

$$l = \frac{L}{h},$$

где  $L$  – расстояние между рядами светильников, м.

Рекомендуется размещать люминесцентные лампы параллельными рядами, принимая  $l = 1,4$ , отсюда расстояние между рядами светильников:

$$L = l \cdot h = 1,4 \cdot 1,6 = 2,24 \text{ (м)}$$

Два ряда светильников будут расположены вдоль длинной стены помещения. Расстояние между двумя рядами светильников и стенами вычисляется по формуле:

$$L = \frac{(B - L)}{2} = \frac{(3 - 2,24)}{2} = 0,38 \text{ (м)}$$

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{12}{(4 + 3) \cdot 1,6} = 1,07$$

Найдем коэффициенты отражения поверхностей стен, пола и потолка.

Так как поверхность стен окрашена в серый цвет, свежепобеленные с окнами без штор, то коэффициент отражения поверхности стен  $P_{ст} = 50\%$ . Так как поверхность потолка светлый окрашенный, то коэффициент отражения поверхности потолка  $P_{п} = 30\%$ .

Учитывая коэффициенты отражения поверхностей стен, потолка и индекс помещения  $i$ , определяем значение коэффициента  $\eta = 36\%$ .

Подставив все значения в формулу (1), по которой рассчитывается световой поток одного источника света, получаем:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,36} = \frac{5940}{1,44} = 4125 \text{ (лм)}$$

По полученному световому потоку подбираем лампу, наиболее подходящей является лампа ЛБР-80-1 со световым потоком 4160 (лм).

Выразим  $E$ :

$$E = \frac{(F \cdot N \cdot \eta)}{(k)} = \frac{(4160 \cdot 4 \cdot 0,36)}{(1,5 \cdot 12 \cdot 1,1)} = \frac{5990,4}{19,8} = 302,5 \text{ (лм)}$$

Как видно из расчета, минимальная освещенность в пределах нормы.

Для того чтобы доказать, что использование люминесцентной лампы ЛБР-80-1 является наиболее рациональным, рассчитаем необходимое количество светильников по формуле:

$$N = \frac{(E \cdot k \cdot S \cdot Z)}{(n \cdot \eta \cdot F)},$$

где E – норма освещенности E = 300 (Лк);

k – коэффициент запаса учитывающий старение ламп и загрязнение светильников, k = 1,5;

S – площадь помещения;

Z – коэффициент неравномерности освещения, Z = 1,1;

n – число рядов светильников, n = 2;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока,  $\eta = 0,36$ ;

F – световой поток, излучаемый светильником.

Подставим численные значения в формулу (5.8), получим количество светильников в одном ряду:

$$N = \frac{(300 \cdot 1,5 \cdot 12 \cdot 1,1)}{(2 \cdot 4160 \cdot 0,36)} = \frac{5940}{2995,2} \approx 1,98 \approx 2(\text{шт})$$

Длина одного светильника равна 1,5 (м), в одном светильнике 2 лампы ЛБР-80-1.

Так как в рассматриваемом помещении количество ламп 4 (шт), по одному светильнику в двух рядах, следовательно, нормы безопасности по искусственному освещению в данном случае соблюдены.

План размещения светильников представлен на рисунке 5.3.3.4.1:



Для оценки соблюдения ПДУ шума необходим производственный контроль (измерения и оценка). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия по защите от действия шума (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

### 5.3.3.6. Электромагнитные излучения

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет серьезную опасность для человека, по сравнению с другими вредными производственными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы).

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 5.3.3.6.1 и таблице 5.3.3.6.2, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 5.3.3.6.1 – Временные допустимые ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Таблица 5.3.3.6.2 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		В/м

Для оценки соблюдения уровней необходим производственный контроль (измерения). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

### 5.3.3.7. Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;
- соблюдать эстетичность производства.

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

### 5.3.3.8. Электрический ток

Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;
- условий внешней среды.

Согласно ПУЭ пост управления №8 по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

Основными мероприятиями по защите от электропоражения являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- согласно ГОСТ 12.1.013-78:
  - защитного заземления;
  - защитного зануления;
  - защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Контроль выполнения требований электробезопасности должен проходить на следующих этапах:

- проектирование;
- реализация;
- эксплуатация.

Согласно НПБ 105-03 к организационно-техническим мероприятиям относится первичный инструктаж по технике безопасности. Первичный инструктаж по технике безопасности является обязательным условием для допуска к работе.

## **5.4. Экологическая безопасность**

### **5.4.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

В результате выполнения ВКР было разработано устройство, которое функционирует на основе микрокомпьютера. Рассмотрим влияние микрокомпьютера на окружающую среду.

Увеличение производства находится в прямой зависимости от состояния энергетики. Развитие энергетики оказывает существенное влияние на природную среду, являясь источником различных видов загрязнений воздуха, воды, земной поверхности и ее недр, а также основным потребителем топливных ресурсов, определяющим уровень его добычи.

### **5.4.2. Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду**

Аппаратные платформы Arduino UNO спроектированы для использования в стационарных, защищенных от внешних воздействий условиях. Условия эксплуатации превосходят требования DIN IEC 60721-3-3:

- класс 3М3 (механические требования);
- класс 3К3 (климатические требования).

Платформы Arduino UNO и их компоненты соответствуют требованиям стандартов ГОСТ Р МЭК 60950-2002, ГОСТ 26329-84 (п. п. 1.2; 1.3), ГОСТ Р 51318.22-99, ГОСТ 51318.24-99, ГОСТ Р 51317.3.2-99, ГОСТ Р 51317.3.3-99. Основное влияние на окружающую среду заключается в образовании и поступлении твердых отходов в виде отработанных ПК, их компонентов и содержащихся в них вредных веществ.

### **5.4.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

Снижение загрязнения возможно за счет совершенствования оборудования, производящего электроэнергию, применения более экономичных и результативных технологий, использования новых методов получения электроэнергии и внедрения современных методов и способов очистки и обезвреживания отходов производства. Кроме того, эта проблема должна решаться и за счет эффективного и экономного использования

электроэнергии самими потребителями, а это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Аппаратные платформы Arduino UNO могут утилизироваться, так как не содержат токсических материалов. Для безопасной с точки зрения охраны окружающей среды утилизации и удаления старых устройств необходимо обратиться к компании фирмы Arduinio, имеющей сертификат на утилизацию и удаления лома электронного оборудования.

Организация, в которой предполагается использовать разработанную систему, влияет на окружающую среду как потребитель электроэнергии, поскольку здесь работает большое количество электрооборудования и осветительных приборов.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

В современных компьютерах, повсеместно используются режимы с пониженным потреблением электроэнергии при длительном простое.

## **5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.5.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Чрезвычайные ситуации, классифицируются по различным параметрам, выделяют следующие типы:

- преднамеренные и непреднамеренные;
- техногенные: взрывы, пожары, обрушение помещений, аварии на системах жизнеобеспечения;
- природные: наводнения, ураганы, бури, природные пожары;
- экологические: загрязнения биосферы, разрушение озонового слоя, кислотные дожди;
- биологические: эпидемии, эпизоотии, эпифитотии;

- антропогенные: последствия ошибочных действий людей;
- комбинированные.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций являются:

- внутренние: сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина.
- внешние: это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов, терроризм, войны.

По скорости развития чрезвычайные ситуации могут быть: взрывные, внезапные, скоротечные, плавные. По масштабам распространения последствий: локальные, местные, территориальные. По возможности предотвращения: неизбежные (например, природные) и предотвращаемые (например, техногенные, социальные).

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций являются, во-первых, внутренние, к которым относятся: сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина. Во-вторых, внешние чрезвычайные ситуации: это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов, терроризм, войны.

Наиболее типичной ЧС для данного объекта является пожар, вызванный коротким замыканием.

Данная система является портативным электронным устройством, работающим от постоянного напряжения. Для данного устройства вероятна ситуация короткого замыкания.

Для предупреждения ЧС на объекте приняты следующие меры:

- защитное заземление;

- изоляция контактов;
- регулярная проверка целостности контактов и дорожек на плате.

Для повышения устойчивости объекта к данной ЧС приняты следующие меры: используется внешний стабилизатор напряжения.

В случае возникновения на объекте ЧС будут произведены следующие действия:

- немедленное аварийное отключение устройства;
- обесточивание всей лаборатории во избежание короткого замыкания.

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС - пожар, определение категории помещения по пожаровзрывобезопасности в котором происходит управление технологическим процессом, то есть пост управления №8 и регламентирование мер противопожарной безопасности.

Рабочее место оператора поста управления, должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

По пожарной, взрывной, взрывопожарной опасности помещение (ПУ№8) относится к категории В – горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

### **5.5.2. Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований**

Пожар в помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании.
- старение изоляции.
- увлажнение изоляции.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

Пожарная опасность переходных сопротивлений – возможность воспламенения изоляции или других близлежащих горючих материалов от тепла, возникающего в месте аварийного сопротивления (в переходных клеммах, переключателях и др.).

### **5.5.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т.к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Для тушения пожаров на участке производства необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

Помещение оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре. В качестве пожарных извещателей в помещении устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1.

Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации.

План эвакуации представляет собой заранее разработанный план (схему), в которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации по п. 3.14 ГОСТ Р 12.2.143-2002.

Согласно Правилам пожарной безопасности, в Российской Федерации ППБ 01-2003 (п. 16) в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара.

План эвакуации людей при пожаре из помещения, где расположен диспетчерский пункт (пост управления), представлен на рисунке 5.5.3.1

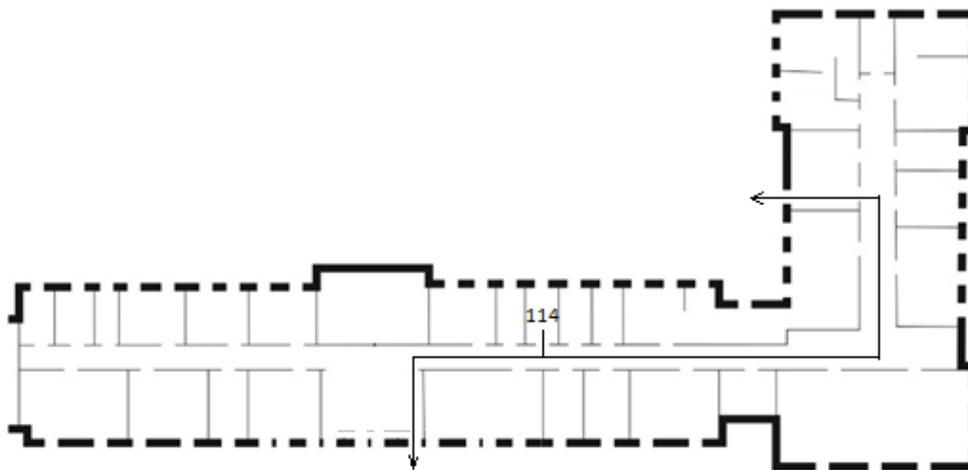


Рисунок 5.5.3.1 - План эвакуации при пожаре

Ответственность за нарушение Правил пожарной безопасности, согласно действующему федеральному законодательству, несет руководитель объекта.

## **5.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.6.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Нормы трудового права – это правила трудовых отношений, установленные или санкционированные государством посредством законодательных актов.

Нормы трудового права регулируют любые отношения, связанные с использованием личного труда.

Формы их реализации разнообразны:

- собственно, трудовые отношения;
- организация труда и управление им;

- трудоустройство работников;
- социальное партнерство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;
- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;
- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;
- социальная и правовая защита работников, решение трудовых споров;
- деятельность профессиональных союзов;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

Рассмотрим регулирование коллективных отношений.

Настоящий коллективный договор является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения работников ФГАОУ НИ ТПУ с работодателем.

Основной задачей коллективного договора является создание необходимых организационно-правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений.

По заключенному коллективному договору работодатель обязан:

- соблюдать трудовое законодательство и иные нормативные правовые акты, содержащие нормы трудового права, локальные нормативные акты, условия коллективного договора, соглашений и трудовых договоров;
- предоставлять работникам работу, обусловленную трудовым договором;

- обеспечивать безопасность и условия труда, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда;
- обеспечивать работников оборудованием, инструментами, технической документацией и иными средствами, необходимыми для исполнения ими трудовых обязанностей;
- обеспечивать работникам равную оплату за труд равной ценности, постоянно совершенствовать организацию оплаты и стимулирования труда, обеспечить материальную заинтересованность работников в результатах их труда;
- выплачивать в полном размере причитающуюся работникам заработную плату в сроки, установленные в соответствии с ТК РФ, коллективным договором, настоящими Правилами, трудовыми договорами;
- вести коллективные переговоры, а также заключать коллективный договор в порядке, установленном ТК РФ;
- знакомить работников под роспись с принимаемыми локальными нормативными актами, непосредственно связанными с их трудовой деятельностью;
- создавать условия, обеспечивающие участие работников в управлении организацией в предусмотренных ТК РФ, иными федеральными законами и коллективным договором формах;
- осуществлять обязательное социальное страхование работников в порядке, установленном федеральными законами;
- возмещать вред, причиненный работникам в связи с исполнением ими трудовых обязанностей, а также компенсировать моральный вред в порядке и на условиях, которые установлены ТК РФ, федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;

- принимать необходимые меры по профилактике производственного травматизма, профессиональных или других заболеваний работников, своевременно предоставлять льготы и компенсации в связи с вредными (опасными, тяжелыми) условиями труда (сокращенный рабочий день, дополнительные отпуска и др.), обеспечивать в соответствии с действующими нормами и положениями специальной одеждой и обувью, другими средствами индивидуальной защиты;
- постоянно контролировать знание и соблюдение работниками всех требований инструкций по охране труда, производственной санитарии и гигиене труда, противопожарной безопасности;

Работодатель обязуется проводить аттестацию и сертификацию рабочих мест один раз в пять лет с участием представителя профкома.

Если по результатам аттестации рабочее место не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям и признано условно аттестованным, разрабатывать совместно с профкомом план мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда на данном рабочем месте и обеспечивать их выполнение.

Ежегодно издавать приказ о мероприятиях по охране труда и промышленной безопасности, считать эти мероприятия соглашением по охране труда на год.

Обеспечивать за счет средств работодателя:

- проведение инструктажей по охране труда, обучение лиц, поступающих на работу с вредными и (или) опасными условиями труда, безопасным методам и приемам выполнения работ со стажировкой на рабочем месте и сдачей экзаменов, проведение периодического обучения по охране труда и проверку знаний требований охраны труда в период работы.
- проведение обязательных периодических медицинских осмотров (обследований) работников, в том числе женщин в женской

консультации, в рабочее время по графику медицинских осмотров, с сохранением за ними места работы (должности) и среднего заработка на время прохождения указанных медицинских осмотров.

- наличие на производственных участках аптечек для оказания первой помощи пострадавшим и обработки микротравм; наличие в аптечках рекомендованного МЛПУ «Городская клиническая больница №1» перечня средств и медикаментов, их ежегодную замену.

Перечень изменений и дополнений к нормативам, утвержденным законодательством РФ выдачи спецодежды, спецобуви и средств индивидуальной защиты определяется приложением к коллективному договору.

## **5.6.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

### **5.6.2.1. Эргономические требования к рабочему месту оператора**

#### **ПЭВМ**

Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Организация рабочего места программиста или оператора регламентируется следующими нормативными документами:

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Главными элементами рабочего места программиста или оператора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

*Моторное поле* - пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

*Максимальная зона досягаемости рук* - это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

*Оптимальная зона* - часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

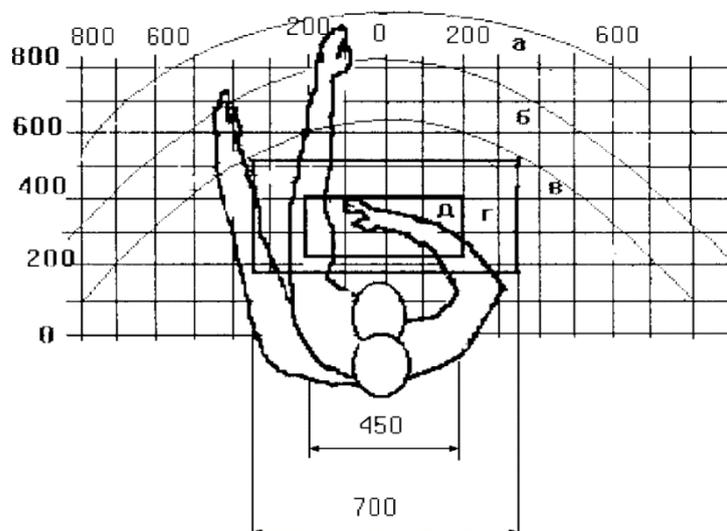


Рисунок 5.6.2.1.1 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- дисплей размещается в зоне "а" (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура - в зоне "г"/"д";
- манипулятор "мышь" - в зоне "в" справа;
- документация: необходимая при работе - в зоне легкой досягаемости ладони – "в", а в выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей).
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680-760 мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего стула (кресла).

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также регулируемым по расстоянию спинки от переднего края сиденья. Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углов наклона вперед до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки  $300 \pm 20$  мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах  $0 \pm 30^\circ$ ;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах  $230 \pm 30$  мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой с нескользящим, неэлектризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнения.

Кресло следует устанавливать на такой высоте, чтобы не чувствовалось давления на копчик (это может быть при низком расположении кресла) или на бедра (при слишком высоком).

Работающий за ПЭВМ должен сидеть прямо, опираясь в области нижнего края лопаток на спинку кресла, не сутулясь, с небольшим наклоном головы вперед (до 5-7°). Предплечья должны опираться на поверхность стола, снимая тем самым статическое напряжение плечевого пояса и рук.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Необходимо предусматривать при проектировании возможность различного размещения документов: сбоку от видеотерминала, между монитором и клавиатурой и т.п. Кроме того, в случаях, когда видеотерминал имеет низкое качество изображения, например, заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700 мм), чем расстояние от глаза до документа (300 - 450 мм). Вообще при высоком качестве изображения на видеотерминале расстояние от глаз пользователя до экрана, документа и клавиатуры может быть равным.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6...0,7 м);
- углом считывания, направлением взгляда на 20° ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях.

Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20°;
- плечи должны быть расслаблены;
- локти - под углом 80°...100°;

- предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами:

- нет хорошей подставки для документов;
- клавиатура находится слишком высоко, а документы – низко;
- некуда положить руки и кисти;
- недостаточно пространство для ног.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

## **Заключение**

В ходе данной работы был произведен подбор необходимой аппаратуры для создания системы. Было произведено создание системы, используя сенсор головного мозга Olimex EEG-SMT и аппаратно-вычислительную платформу Arduino UNO.

Для работы системы производилась запись электрических сигналов головного мозга, измеряемых сенсором, в текстовые файлы при помощи программного обеспечения VainBay для дальнейшего построения графиков в Matlab. Производилась запись трех разных наборов данных, каждый из которых отвечает за определенное действие системы: движение прямо, поворот налево или поворот направо.

Далее полученные графики были использованы для обучения сверточной искусственной нейронной сети. Нейросеть отвечала за распознавание загруженного в нее изображения графика, которое соответствовало определенному действию системы, и записывала результат своей работы в текстовый файл.

Следующим этапом была загрузка результатов работы нейронной сети в аппаратно-вычислительную платформу Arduino UNO. Для этого был написан код на языке Python, отвечающий за распознавание текста в текстовых файлах и передачи результата распознавания в аппаратную платформу Arduino UNO.

Результатом работы является создание системы управления инвалидной коляской электрическими сигналами головного мозга.

Недостатком данной системы является отсутствие обработки электрических сигналов головного мозга в реальном масштабе времени. Также, данная система требует настройки для каждого отдельного пользователя индивидуально, что включает в себя запись наборов данных и обучение искусственной нейронной сети, так как волны, вырабатываемые головным мозгом, у каждого человека отличны от других.

Разработанная система отличается от аналогов применением сенсора головного мозга Olimex EEG-SMT и аппаратно-вычислительной платформы

Arduino UNO, что делает систему относительно дешевой в связи с низкой стоимостью ее компонентов.

Планируется дальнейшее развитие данной системы, включающее обработку электрических сигналов головного мозга в реальном масштабе времени, а также непосредственную работу системы с использованием двигателей, вращающих колеса инвалидной коляски и приводящих ее в движение.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Mind Controlled Drones Are Already A Reality [Электронный ресурс] / URL: <http://www.businessinsider.com/drones-you-can-control-with-your-mind-2014-10>
2. Press Kit | Tesla [Электронный ресурс] / URL: <https://www.teslamotors.com/presskit/autopilot>
3. Phantom 4 [Электронный ресурс] / URL: <http://www.dji.com/product/phantom-4>
4. This Mind Controlled Prosthetic Robot Arm Lets You Actually Feel What It Touches [Электронный ресурс] / URL: <http://qz.com/500572/this-mind-controlled-prosthetic-robot-arm-lets-you-actually-feel-what-it-touches/>
5. Controlling Drones With Your Mind [Электронный ресурс] / URL: <https://www.youtube.com/watch?v=hLjxMjBIB9k>
6. A new way forward for mobility – Waymo [Электронный ресурс] / URL: <https://www.google.com/selfdrivingcar/>
7. Mind-Controlled Cars Unveiled in China [Электронный ресурс] / URL: <http://www.telegraph.co.uk/technology/news/12040216/Mind-controlled-cars-unveiled-in-China.html>
8. Wheelchair Makes the Most of Brain Control [Электронный ресурс] / URL: <https://www.technologyreview.com/s/420756/wheelchair-makes-the-most-of-brain-control/>
9. Mind over mechanics [Электронный ресурс] / URL: [http://discover.umn.edu/news/science-technology/brain-computer-interface-allows-mind-control-robots?utm\\_source=youtube&utm\\_medium=uofmn&utm\\_campaign=social-media](http://discover.umn.edu/news/science-technology/brain-computer-interface-allows-mind-control-robots?utm_source=youtube&utm_medium=uofmn&utm_campaign=social-media)
10. Thought-Controlled Wheelchair in Japan [Электронный ресурс] / URL: [https://www.youtube.com/watch?v=1VPY1d2t\\_FE](https://www.youtube.com/watch?v=1VPY1d2t_FE)
11. Emotiv [Электронный ресурс] / URL: [emotiv.com](http://emotiv.com)
12. Olimex LTD [Электронный ресурс] / URL: [olimex.com](http://olimex.com)

13. Visualizing and Comparing Convolutional Neural Networks [Электронный ресурс] / URL: <https://arxiv.org/abs/1412.6631>
14. Raspberry Pi [Электронный ресурс] / URL: [raspberrypi.org](http://raspberrypi.org)
15. Arduino UNO | Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс] / URL: [arduino.cc](http://arduino.cc)
16. Программирование Ардуино | Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс] / URL: <http://arduino.ru/Reference>
17. Среда разработки Arduino | Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс] / URL: [http://arduino.ru/Arduino\\_environment](http://arduino.ru/Arduino_environment)
18. EEG-SMT development board | User's manual [Электронный ресурс] / URL: <https://www.olimex.com/Products/EEG/OpenEEG/EEG-SMT/resources/EEG-SMT.pdf>
19. Brain Bay [Электронный ресурс] / URL: <http://www.shifz.org/brainbay/>
20. Искусственная нейронная сеть [Электронный ресурс] / URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная\\_нейронная\\_сеть](https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная_нейронная_сеть)
21. Нейронные сети [Электронный ресурс] / URL: <https://habrahabr.ru/post/312450/>
22. Сверточная нейронная сеть [Электронный ресурс] / URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Свёрточная\\_нейронная\\_сеть](https://ru.wikipedia.org/wiki/Свёрточная_нейронная_сеть)
23. How convolutional neural networks work [Электронный ресурс] / URL: [https://brohrer.github.io/how\\_convolutional\\_neural\\_networks\\_work.html](https://brohrer.github.io/how_convolutional_neural_networks_work.html)
24. Convolutional neural networks [Электронный ресурс] / URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_learning#Convolutional\\_neural\\_networks](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning#Convolutional_neural_networks)
25. Tensor [Электронный ресурс] / URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tensor>
26. Introduction to convolutional neural networks [Электронный ресурс] / URL: <https://cs.nju.edu.cn/wujx/paper/CNN.pdf>
27. Brainwaves [Электронный ресурс] / URL: <https://www.transparentcorp.com/products/np/brainwaves.php>
28. Международная система размещения электродов «10-20» [Электронный ресурс] / URL:

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Международная\\_система\\_размещения\\_электродов\\_«10—20»](https://ru.wikipedia.org/wiki/Международная_система_размещения_электродов_«10—20»)

29. Основные методы ЭЭГ-анализа [Электронный ресурс] / URL: <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/6112>

30. TensorFlow [Электронный ресурс] / URL: <https://www.tensorflow.org>

**Приложение А**  
**Раздел ВКР на иностранном языке**

(обязательное)

Раздел 2.7  
**Управление инвалидной коляской с использованием  
электрических сигналов головного мозга**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM5A	Дроганов Д.И.		

Консультант – лингвист кафедры Английского языка (ИЯИК):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Денико Р.В.			

## Artificial neural network

### General information about artificial neural networks

Artificial neural networks are a computational model used in machine learning, computer science and other research disciplines, which is based on a large collection of connected simple units called artificial neurons, loosely analogous to axons in a biological brain.

The goal of the neural network is to solve problems in the same way that a human would, although several neural network categories are more abstract.

### Convolutional neural network

A convolutional neural network is an architecture of neural networks which is used for image recognition. Such a network has a multilayer structure. Convolutional neural networks consist of repetitive convolutional and pooling layers.

To help guide our walk through a Convolutional Neural Network, we'll stick with a very simplified example: determining whether an image is of an X or an O. To a computer, an image looks like a two-dimensional array of pixels with a number in each position. In this example a pixel value of 1 is white, and -1 is black as shown in figure 1:

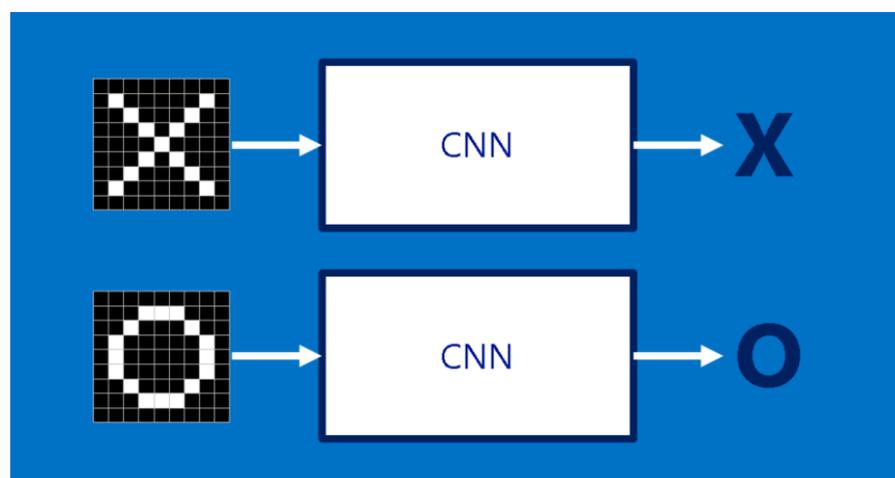


Figure 1 – Image example

### Features

CNNs compare images piece by piece. The pieces that it looks for are called features. An example of a feature is shown in figure 2:

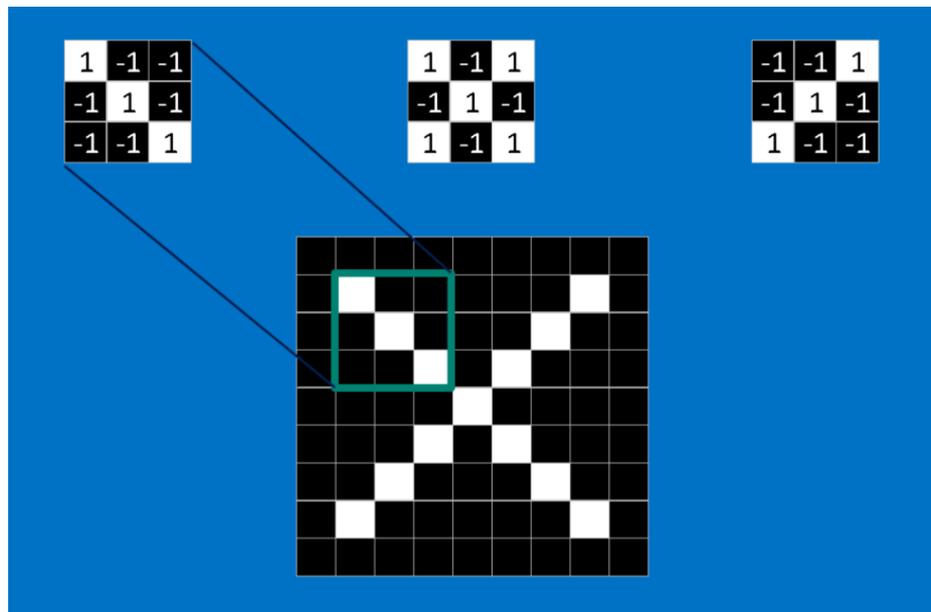


Figure 2 – An example of a feature

Each feature is like a mini-image—a small two-dimensional array of values. Features match common aspects of the images. In the case of X images, features consisting of diagonal lines and a crossing capture all the important characteristics of most X's. An example of similar features in two images is shown in figure 3:

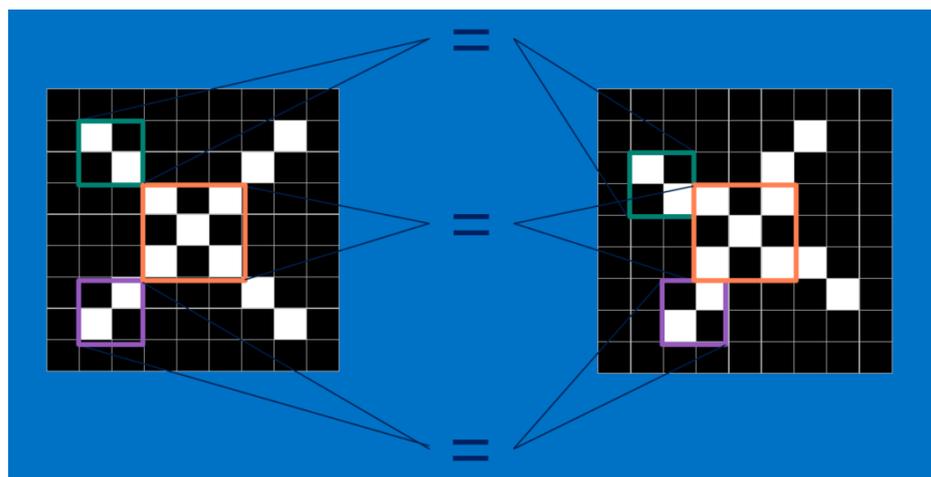


Figure 3 - An example of similar features in two images

### Convolution layer

When presented with a new image, the CNN doesn't know exactly where these features will match so it tries them everywhere, in every possible position. In calculating the match to a feature across the whole image, we make it a filter. The math we use to do this is called convolution.

To calculate the match of a feature to a patch of the image, simply multiply each pixel in the feature by the value of the corresponding pixel in the image. Then add up the answers and divide by the total number of pixels in the feature. If both pixels are white (a value of 1) then  $1 * 1 = 1$ . If both are black, then  $(-1) * (-1) = 1$ . The feature matching process is shown in figure 4:

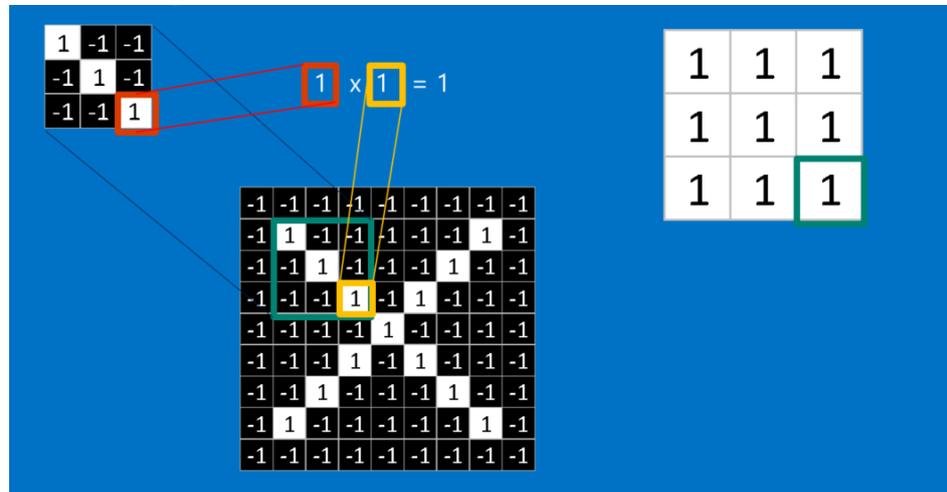


Figure 4 – The feature matching process

To complete our convolution, we repeat this process, lining up the feature with every possible image patch. We can take the answer from each convolution and make a new two-dimensional array from it, based on where in the image each patch is located. This map of matches is also a filtered version of our original image. It's a map of where in the image the feature is found. Values close to 1 show strong matches, values close to -1 show strong matches for the photographic negative of our feature, and values near zero show no match of any sort. The map of matches is shown in figure 5:

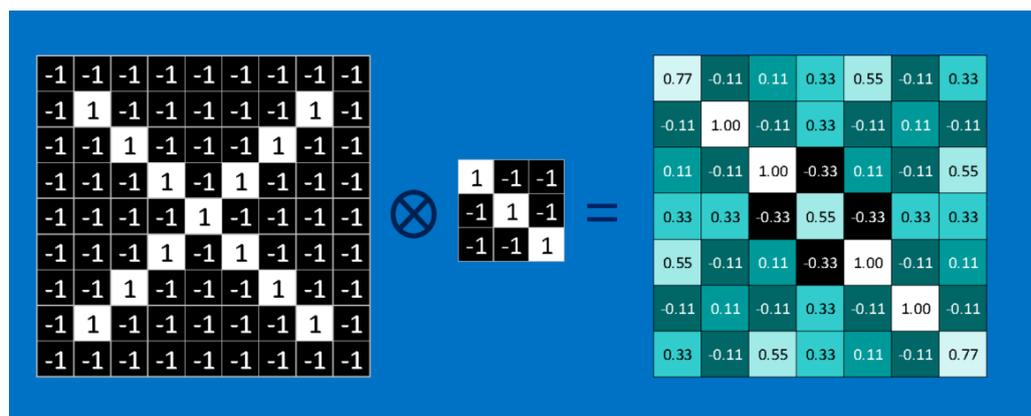


Figure 5 – The map of matches

The next step is to repeat the convolution process in its entirety for each of the other features. The result is a set of filtered images, one for each of our filters. The map of all features' matches is shown in figure 6:

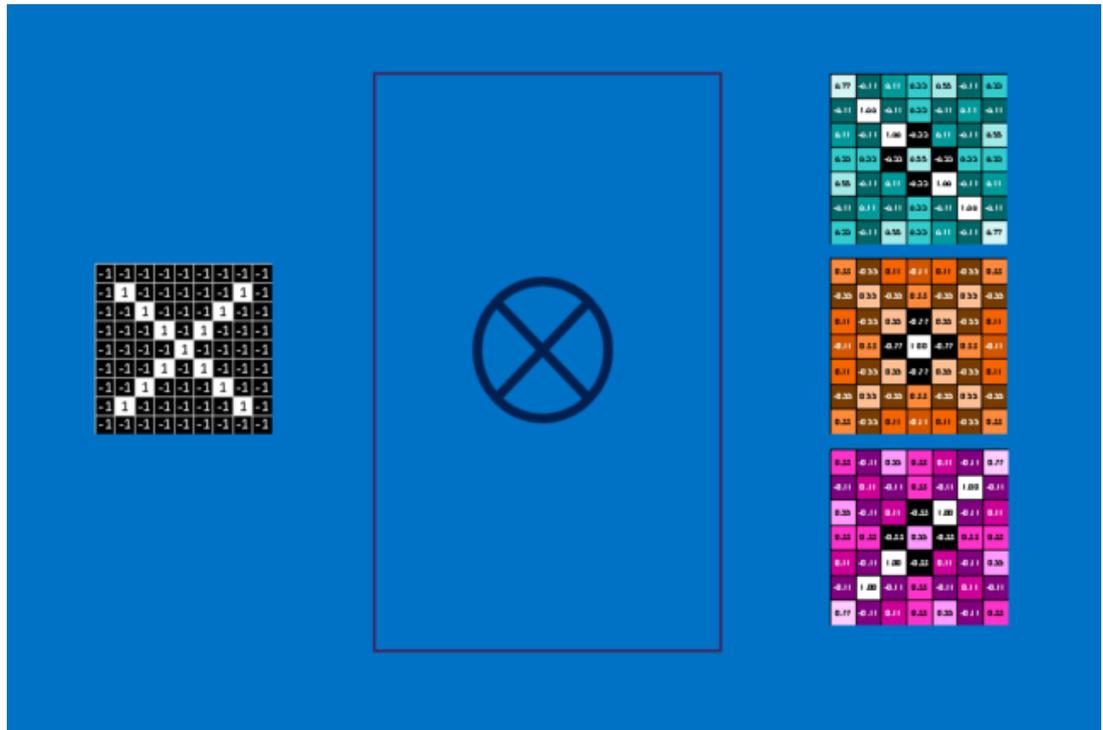


Figure 6 – The map of all features' matches

### Pooling layer

Pooling is a way to take large images and shrink them down while preserving the most important information in them. The math behind pooling consists of stepping a small window across an image and taking the maximum value from the window at each step. The pooling process is shown in figure 7:

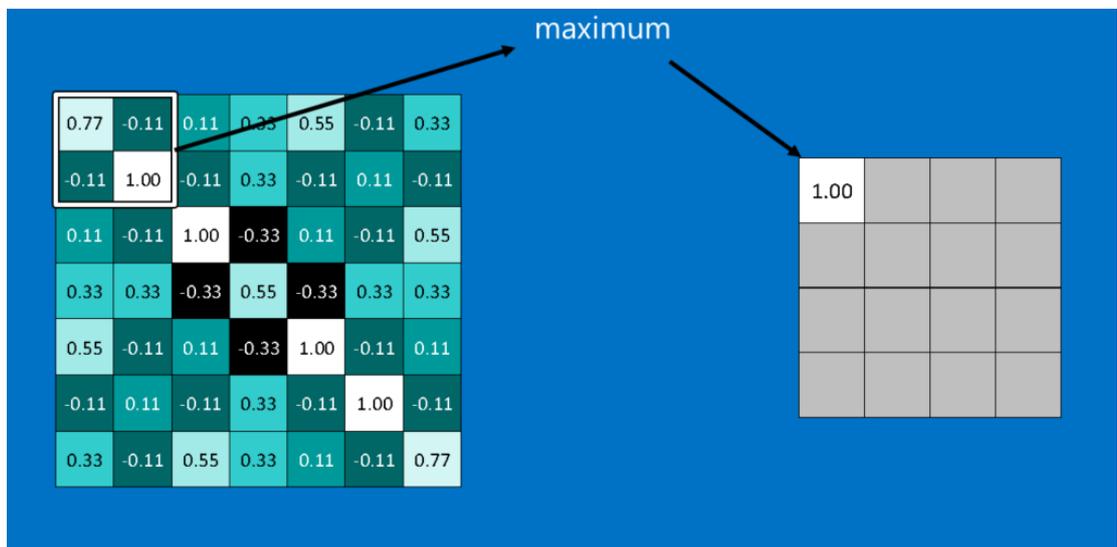


Figure 7 – The pooling process

After pooling, an image has about a quarter as many pixels as it started with. Because it keeps the maximum value from each window, it preserves the best fits of each feature within the window. This means that it doesn't care so much exactly where the feature fit as long as it fit somewhere within the window. The result of this is that CNNs can find whether a feature is in an image without worrying about where it is. The pooling process result is shown in figure 8:

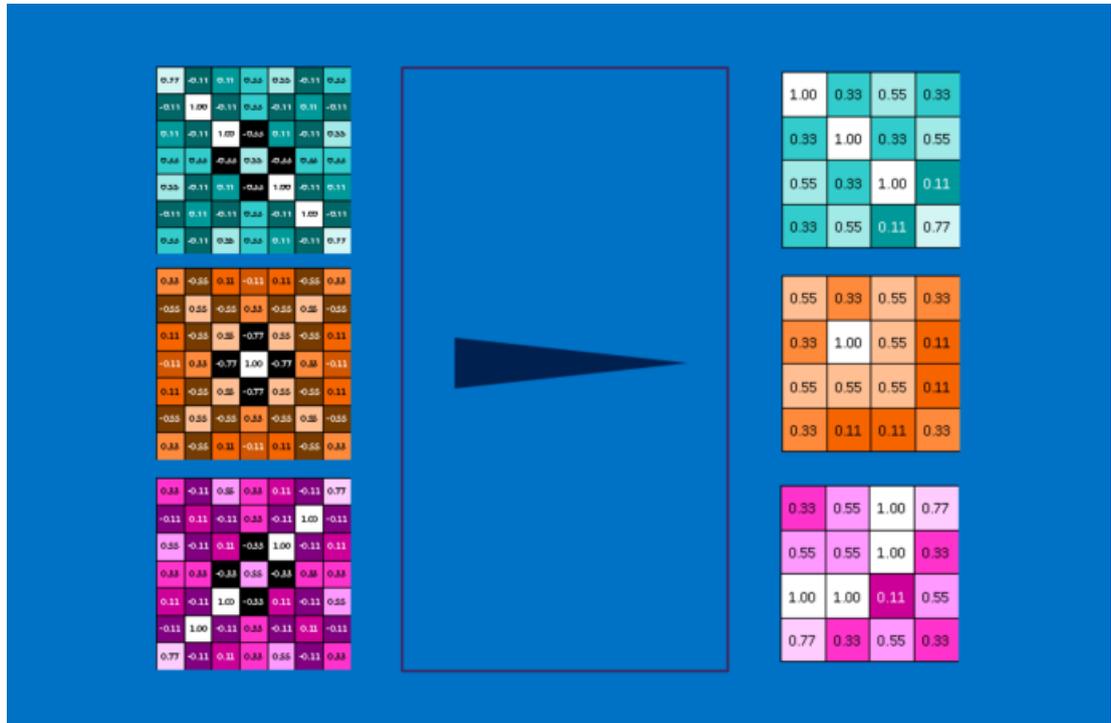


Figure 8 – The pooling process result

### Rectified linear units

Rectified linear units look for negative numbers and swap them out for a 0. This helps the CNN stay mathematically healthy by keeping learned values from getting stuck near 0 or going toward infinity. The result of a rectified linear unit's work is show in figure 9:

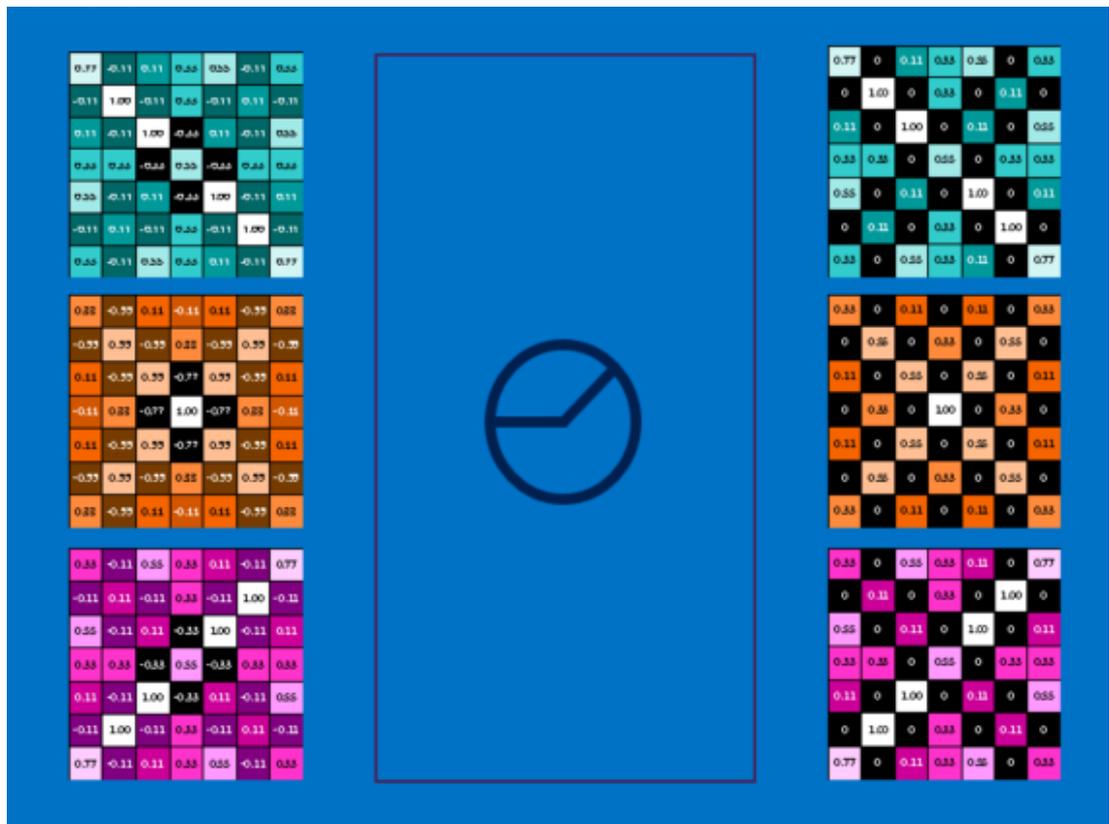


Figure 9 - The result of a rectified linear unit's work

## Deep learning

Deep learning is a class of machine learning algorithms that:

- use a cascade of many layers of nonlinear processing units for feature extraction and transformation. Each successive layer uses the output from the previous layer as input. The algorithms may be supervised or unsupervised and applications include pattern analysis (unsupervised) and classification (supervised);
- are based on the (unsupervised) learning of multiple levels of features or representations of the data. Higher level features are derived from lower level features to form a hierarchical representation.

In convolutional neural networks raw images get filtered, rectified and pooled to create a set of shrunken, feature-filtered images. These can be filtered and shrunken again and again. The deep learning process is shown in figure 10:

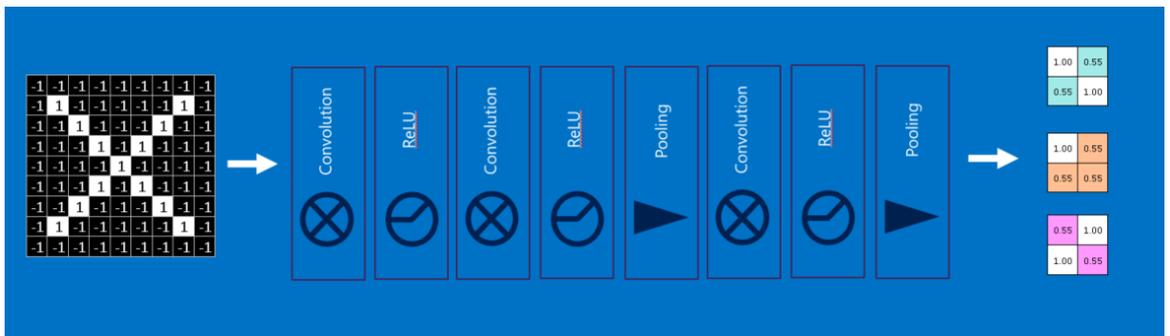


Figure 10 – The deep learning process,  
Where ReLU – rectified linear unit.

Each time, the features become larger and more complex, and the images become more compact. This lets lower layers represent simple aspects of the image, such as edges and bright spots. Higher layers can represent increasingly sophisticated aspects of the image, such as shapes and patterns. These tend to be readily recognizable. For instance, in a CNN trained on human faces, the highest layers represent patterns that are clearly face-like as shown in figure 11:

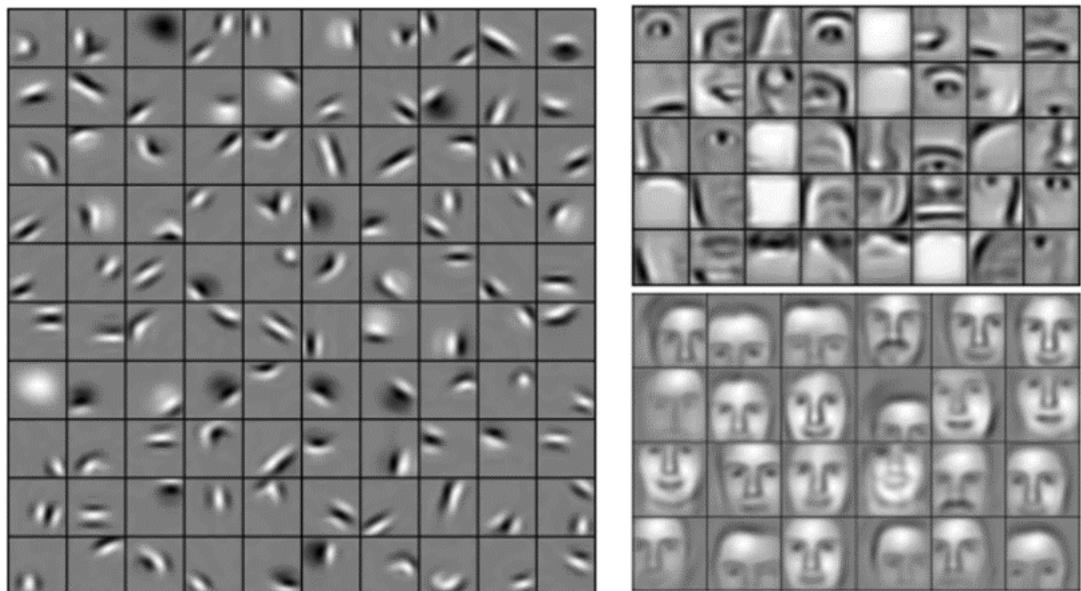


Figure 11 – A CNN's trained on human faces learning results

### Fully connected layer

Fully connected layers take the high-level filtered images and translate them into votes. In our case, we only have to decide between two categories, X and O. Every value gets its own vote on whether the current image is an X or an O. Some values are much better than others at knowing when the image is an X, and some are

particularly good at knowing when the image is an O. These get larger votes than the others. An example of a vote is shown in figure 12:

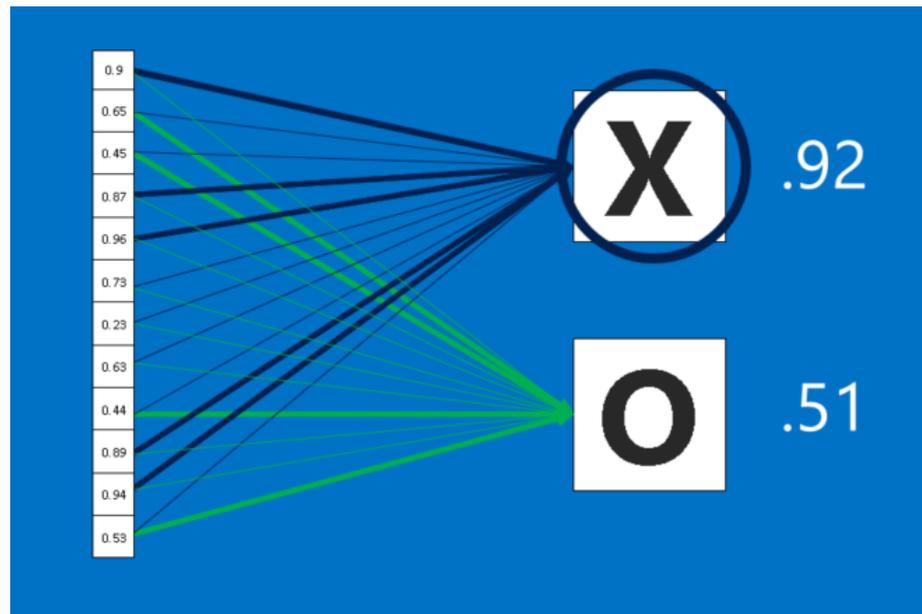


Figure 12 – An example of a vote

Several fully connected layers are often stacked together. In effect, each additional layer lets the network learn ever more sophisticated combinations of features that help it make better decisions. The convolutional neural network's working process is shown in figure 13:

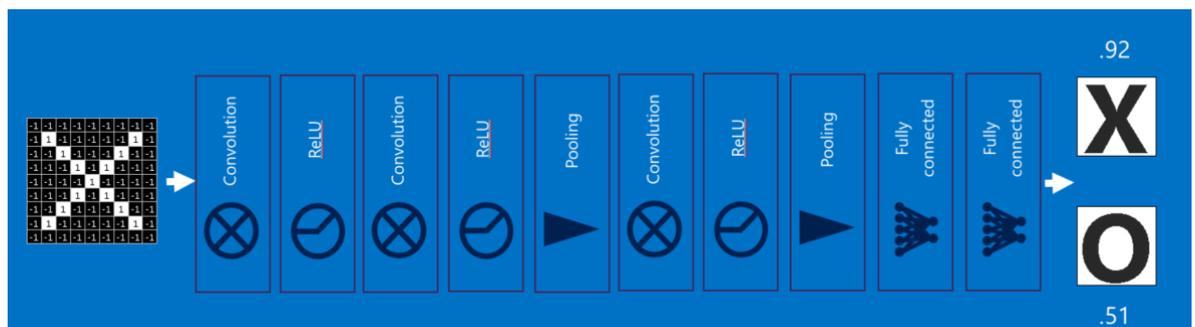


Figure 13 - The convolutional neural network's working process

### The math behind convolutional neural networks

In mathematics, tensors are geometric objects that describe linear relations between geometric vectors, scalars, and other tensors. Vectors, matrices, and images are also tensors:

- $x \in R^D$  – a vector with  $D$  elements;
- $X \in R^{H \times W}$  – a matrix with  $H$  rows and  $W$  columns;

- $x \in R^{H \times W \times D}$  – an order three tensor with  $D$  channels each of which is a  $H \times W$  matrix;
  - $x \in R^{H \times W \times 3}$  – an image (if a color image is stored in the RGB format, it has 3 channels (for R, G and B, respectively)).

$HWD$  elements can be indexed by an index triplet  $(i^l, j^l, d^l)$ , with  $0 \leq i < H$ ,  $0 \leq j < W$  and  $0 \leq d < D$ .

Suppose we are considering the  $l$ -th layer, whose inputs form an order 3 tensor  $x^l$  with  $x^l \in R^{H^l \times W^l \times D^l}$ . Thus, we need a triplet index set  $(i^l, j^l, d^l)$  to locate any specific element in  $x^l$ . The triplet  $(i^l, j^l, d^l)$  refers to one element in  $x^l$ , which is in the  $d^l$ -th channel, and at spatial location  $(i^l, j^l)$ .

In the  $l$ -th layer, a function will transform the input  $x^l$  to an output  $y$ , which is also the input to the next layer. Thus, we notice that  $y$  and  $x^l$  in fact refers to the same object. We assume the output has size  $H^l \times W^l \times D^l$ . A convolution kernel is also an order 3 tensor with size  $H \times W \times D^l$ . When we overlap the kernel on top of the input tensor at the spatial location  $(0, 0, 0)$ , we compute the products of corresponding elements in all the  $D^l$  channels.

In a convolution layer, multiple convolution kernels are usually used. Assuming  $D$  kernels are used and each kernel is of spatial span  $H \times W$ , we denote all the kernels as  $f$ .  $f$  is an order four tensor in  $R^{H \times W \times D^l \times D}$ . Then the convolution procedure can be expressed as an equation:

$$y_{i^{l+1}, j^{l+1}, d} = \sum_{i=0}^H \sum_{j=0}^W \sum_{d^l=0}^{D^l} f_{i, j, d^l, d} \cdot x_{i^{l+1}+i, j^{l+1}+j, d^l}^l$$

The pooling procedure can be expressed as an equation:

$$y_{i^{l+1}, j^{l+1}, d} = \max_{0 \leq i < H, 0 \leq j < W} x_{i^{l+1}+i \cdot H+i, j^{l+1}+j \cdot W+j, d}^l$$

## Приложение Б

### Программный код сверточной искусственной нейронной сети

(справочное)

```
import tensorflow as tf
import sys

image_path = sys.argv[1]

#чтение данных изображений
image_data = tf.gfile.FastGFile(image_path, 'rb').read()

#загрузка названий наборов изображений
label_lines = [line.rstrip() for line
                in tf.gfile.GFile("/tf_files/retrained_labels.txt")]

#загрузка набора операций для обучения сети
with tf.gfile.FastGFile("/tf_files/retrained_graph.pb", 'rb') as f:
    graph_def = tf.GraphDef()
    graph_def.ParseFromString(f.read())
    _ = tf.import_graph_def(graph_def, name='')

with tf.Session() as sess:

    #применение операций обучения к загруженным изображениям
    softmax_tensor = sess.graph.get_tensor_by_name('final_result:0')

    predictions = sess.run(softmax_tensor, \
                            {'DecodeJpeg/contents:0': image_data})

    #сортировка результатов в порядке уменьшения степени точности
    top_k = predictions[0].argsort() [-len(predictions[0]):] [::-1]

    for node_id in top_k:
        human_string = label_lines[node_id]
        score = predictions[0][node_id]
        print('%s (score = %.5f)' % (human_string, score))
```

## Приложение В

### Программный код для распознавания текста на языке Python (справочное)

```
import serial

#выбор порта, к которому подключена Arduino
ser = serial.Serial('/dev/tty.usbmodem1421', 9600)

#передача числа соответствующего результату работы сети
if 'left_hand (score = 0.8' in open('file.txt').read():
    value = 2

if 'right_hand (score = 0.8' in open('file.txt').read():
    value = 3

if 'alpha (score = 0.8' in open('file.txt').read():
    value = 4
    print(value)

byte_signal = bytes([value])
ser.write(byte_signal)
```

**Приложение Г**  
**Программный код для передачи команд на исполнительные**  
**устройства на языке Arduino**  
**(справочное)**

```
#определение выходов
int pin = 0;
int btn = 5;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
}

#если на платформу поступает значение больше 0, то выполняется
соответствующая этому числу команда
void loop() {
  if(pin>0){
    digitalWrite(pin, HIGH);
  }
}

#если нажата кнопка, то все светодиоды гаснут
btnState = digitalRead(btn);

  if (btnState == HIGH) {

    digitalWrite(2, LOW);
    digitalWrite(3, LOW);
    digitalWrite(4, LOW);

  }

void serialEvent() {
  digitalWrite(2, LOW);
  digitalWrite(3, LOW);
  digitalWrite(4, LOW);
  pin = Serial.read();
}
```