

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники (ИШИТР)  
 Направление подготовки: 09.03.04 «Программная инженерия»  
 ООП/ОПОП: Разработка программно-информационных систем  
 Отделение школы: Отделение информационных технологий

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

| Тема работы                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Разработка нейросетевого алгоритма распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица</b> |

УДК 004.932.2:159.942

Обучающийся

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 8K92   | Козлов Дмитрий Сергеевич |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность               | ФИО                         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОИТ ИШИТР<br>ТПУ | Друки Алексей<br>Алексеевич | К.Т.Н.                    |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность      | ФИО                          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------|------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ОСГН | Гасанов Магеррам<br>Али оглы | Д.Э.Н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                | ФИО                           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший<br>преподаватель | Мезенцева Ирина<br>Леонидовна |                           |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП/ОПОП,<br>должность | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОИТ ИШИТР<br>ТПУ             | Чердынцев<br>Евгений Сергеевич | К.Т.Н.                    |         |      |

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП**  
**«Разработка программно-информационных систем»**

| <b>Код компетенции</b>                  | <b>Наименование компетенции</b>                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Универсальные компетенции</b>        |                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>УК(У)-1</b>                          | Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач                                                                                                            |
| <b>УК(У)-2</b>                          | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений                                                                |
| <b>УК(У)-3</b>                          | Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде                                                                                                                                                       |
| <b>УК(У)-4</b>                          | Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)                                                                                       |
| <b>УК(У)-5</b>                          | Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах                                                                                                                    |
| <b>УК(У)-6</b>                          | Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни                                                                                               |
| <b>УК(У)-7</b>                          | Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности                                                                                                  |
| <b>УК(У)-8</b>                          | Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций                                                                                                               |
| <b>УК(У)-9</b>                          | Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи                                                                         |
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>ОПК(У)-1</b>                         | Способен применять естественнонаучные и общетеchnические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности                                         |
| <b>ОПК(У)-2</b>                         | Способен использовать современные информационные технологии и программные средства, в том числе отечественного производства, при решении задач профессиональной деятельности                                                              |
| <b>ОПК(У)-3</b>                         | Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности |
| <b>ОПК(У)-4</b>                         | Способен участвовать в разработке стандартов, норм и правил, а также технической документации, связанной с профессиональной деятельностью                                                                                                 |
| <b>ОПК(У)-5</b>                         | Способен устанавливать программное и аппаратное обеспечение для информационных и автоматизированных систем                                                                                                                                |
| <b>ОПК(У)-6</b>                         | Способен разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического использования, применять основы информатики и                                                                                                                   |

|                                     |                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | программирования к проектированию, конструированию и тестированию программных продуктов                                                                                                                           |
| <b>ОПК(У)-7</b>                     | Способен применять в практической деятельности основные концепции, принципы, теории и факты, связанные с информатикой                                                                                             |
| <b>ОПК(У)-8</b>                     | Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий |
| <b>Профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>ПК(У)-1</b>                      | Способен выполнять интеграцию программных модулей и компонент                                                                                                                                                     |
| <b>ПК(У)-2</b>                      | Владение навыками моделирования, анализа и использования формальных методов конструирования программного обеспечения                                                                                              |
| <b>ПК(У)-3</b>                      | Способен создавать техническую документацию на продукцию в сфере информационных технологий, управлять технической информацией                                                                                     |
| <b>ПК(У)-4</b>                      | Владение навыками использования операционных систем, сетевых технологий, средств разработки программного интерфейса, применения языков и методов формальных спецификаций, систем управления базами данных         |
| <b>ПК(У)-5</b>                      | Способен проводить, оценивать и следить за выполнением концептуального, функционального и логического проектирования систем малого и среднего масштаба и сложности                                                |

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники (ИШИТР)

Направление подготовки: 09.03.04 «Программная инженерия»

Отделение школы: Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

\_\_\_\_\_ Чердынцев Е.С.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

| Группа | ФИО                      |
|--------|--------------------------|
| 8K92   | Козлов Дмитрий Сергеевич |

Тема работы:

|                                                                                                                    |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Разработка нейросетевого алгоритма распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица</b> |                      |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                                                                        | 12.04.2023, 102-29/с |

|                                            |  |
|--------------------------------------------|--|
| Срок сдачи обучающимся выполненной работы: |  |
|--------------------------------------------|--|

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b><br><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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>                                        | Объектом исследования данной работы являются методы распознавания выражений лица человека.<br><br>Предметом исследования являются модели сверточных нейронных сетей, специализирующихся на распознавании эмоций.                                                                                                                                                            |
| <b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b><br><i>(аналитический обзор литературных источников 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> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ предметной области</li> <li>2. Анализ программного обеспечения для решения поставленной задачи</li> <li>3. Составление собственного набора данных для обучения модели</li> <li>4. Проектирование архитектуры нейронной сети</li> <li>5. Обучение модели нейронной сети</li> <li>6. Оценка модели нейронной сети</li> </ol> |
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Раздел</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Гасанов Магеррам Али оглы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Социальная ответственность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Мезенцева Ирина Леонидовна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

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

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 01.03.2023 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность               | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------------|
| Доцент ОИТ<br>ИШИТР ТПУ | Друки Алексей<br>Алексеевич | К.Т.Н.                 |         | 01.03.2023 |

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата       |
|--------|--------------------------|---------|------------|
| 8K92   | Козлов Дмитрий Сергеевич |         | 01.03.2023 |



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники (ИШИТР)

Направление подготовки: 09.03.04 «Программная инженерия»

Уровень образования: бакалавр

Отделение школы: Отделение информационных технологий

Период выполнения: весенний семестр 2022/2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

| Группа | ФИО                      |
|--------|--------------------------|
| 8K92   | Козлов Дмитрий Сергеевич |

Тема работы:

|                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Разработка нейросетевого алгоритма распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                            |  |
|--------------------------------------------|--|
| Срок сдачи обучающимся выполненной работы: |  |
|--------------------------------------------|--|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)           | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 07.03.2023    | Анализ предметной области                                       | 25                                 |
| 27.04.2023    | Проектирование нейронной сети                                   | 25                                 |
| 20.05.2023    | Реализация нейросетевого алгоритма                              | 20                                 |
| 22.05.2023    | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 15                                 |
| 22.05.2023    | Социальная ответственность                                      | 15                                 |

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

| Должность               | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------------|
| Доцент ОИТ ИШИТР<br>ТПУ | Друки Алексей<br>Алексеевич | К.Т.Н.                 |         | 01.03.2023 |

**Консультант**

| Должность             | ФИО                           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Мезенцева Ирина<br>Леонидовна |                        |         |      |
| Профессор ОСГН        | Гасанов Магеррам<br>Али оглы  | Д.Э.Н.                 |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП/ОПОП**

| Должность               | ФИО                            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------|---------|------------|
| Доцент ОИТ ИШИТР<br>ТПУ | Чердынцев Евгений<br>Сергеевич | К.Т.Н.                 |         | 15.03.2023 |

**Обучающийся**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата       |
|--------|--------------------------|---------|------------|
| 8K92   | Козлов Дмитрий Сергеевич |         | 15.03.2023 |

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

Студенту:

| Группа | ФИО                      |
|--------|--------------------------|
| 8K92   | Козлов Дмитрий Сергеевич |

| Школа               |             | Отделение Школа           |                                   |
|---------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 09.03.04<br>Программная инженерия |

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

|                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):<br>материально-технических, энергетических,<br>финансовых, информационных и человеческих | Оклад руководителя 30000 руб.<br>Оклад инженера – 20000 руб.                                                                                                                                                                                                     |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                                                 | Премимальный коэффициент руководителя 30%;<br>Премимальный коэффициент инженера 20%;<br>Доплаты и надбавки руководителя 30%;<br>Доплаты и надбавки инженера 30%;<br>Дополнительной заработной платы 12%;<br>Накладные расходы 16%;<br>Районный коэффициент 1,3%. |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                        | Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 30 %                                                                                                                                                                                                                |

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

|                                                                                                                                    |                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований                                                                        | Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования     |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования        | Расчет показателей финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения         |

## Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР

2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность      | ФИО                          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------|------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ОСГН | Гасанов Магеррам Али<br>оглы | д.э.н.                    |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 8K92   | Козлов Дмитрий Сергеевич |         |      |



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа              |             | ФИО                       |                                |
|---------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------|
| 8K92                |             | Козлов Дмитрий Сергеевич  |                                |
| Школа               | ИШИТР       | Отделение (НОЦ)           | ОИТ                            |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 09.03.04 Программная инженерия |

Тема ВКР:

Разработка нейросетевого алгоритма распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица

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

#### Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

*Объект исследования:* нейросетевой алгоритм  
*Область применения:* системы компьютерного зрения и распознавания образов  
*Рабочая зона:* офис  
*Размеры помещения:* 6\*4 м.  
*Количество и наименование оборудования рабочей зоны:* компьютер - 1 ед.  
*Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:* разработка нейросетевого алгоритма

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

#### 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Трудовой кодекс РФ;  
 СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания  
 ТК РФ Статья 91. Понятие рабочего времени.  
 Нормальная продолжительность рабочего времени;  
 ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя.

|                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul> | <p><b>Вредные:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>2. Повышенная пульсация светового потока;</li> <li>3. Нервно-психические нагрузки, связанные с напряженностью трудового процесса</li> <li>4. Статические перегрузки, связанные с рабочей позой</li> </ol> <p><b>Опасные:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает рабочий.</li> </ol> <p><b>Требуемые средства коллективной защиты от выявленных факторов:</b> системы естественного освещения, приборы искусственного освещения, изоляционные средства, предохранительные устройства.</p> |
| <p><b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b></p>                                                                                                                       | <p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> не выявлено<br/> <b>Воздействие на литосферу:</b> не выявлено<br/> <b>Воздействие на гидросферу:</b> из-за неверного способа утилизации рабочей техники<br/> <b>Воздействие на атмосферу:</b> из-за неверного способа утилизации рабочей техники</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b></p>                                                                                                            | <p><b>Возможные ЧС:</b> Пожар, землетрясение<br/> <b>Наиболее типичная ЧС:</b> Пожар</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

**Задание выдал консультант:**

| Должность             | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Мезенцева Ирина Леонидовна |                        |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 8K92   | Козлов Дмитрий Сергеевич |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 79 с., 25 рис., 20 табл., 17 источников, 0 прил.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети, распознавание эмоций, изображение, алгоритм, разработка.

Объектом исследования (разработки) являются методы распознавания выражений лица человека. Предметом исследования являются модели сверточных нейронных сетей, специализирующихся на распознавании эмоций.

Цель работы – разработка нейросетевого алгоритма распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица.

В ходе работы были рассмотрены актуальные нейронные сети с применением технологии свертки, специализирующиеся на классификации объектов на изображениях.

В результате была предложен и реализован нейросетевой алгоритм классификации эмоций человека.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: сверточная нейронная сеть, реализованная с использованием библиотек Keras, Tensorflow, OpenCV на языке программирования Python в облачной интерактивной среде Google Colab.

Область применения: системы компьютерного зрения и распознавания образов

Значимость работы заключается в практической разработке нейросетевого алгоритма распознавания эмоций с использованием технологии сверточных нейронных сетей.

В будущем планируется расширение имеющегося набора данных путем добавления новых изображений и классов с более специфичными эмоциями.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                               | 15 |
| 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ .....                              | 17 |
| 1. Роль эмоции как класса психологических состояний в жизни человека .                      | 17 |
| 2. Задача распознавания эмоций.....                                                         | 17 |
| 3. Теоретические основы глубокого обучения .....                                            | 18 |
| 3.1 Математическая модель нейрона .....                                                     | 18 |
| 3.2 Нейронная сеть.....                                                                     | 19 |
| 3.3 Сверточные нейронные сети .....                                                         | 20 |
| 3.4 Функция активации .....                                                                 | 21 |
| 3.5 Операция свертки.....                                                                   | 23 |
| 3.6 Алгоритм обратного распространения ошибки.....                                          | 24 |
| 4. Обзор существующих сверточных нейронных сетей .....                                      | 25 |
| 4.1 LeNet.....                                                                              | 26 |
| 4.2 AlexNet .....                                                                           | 26 |
| 4.3 VGGNet .....                                                                            | 27 |
| 4.4 GoogLeNet.....                                                                          | 28 |
| 4.5 ResNet.....                                                                             | 29 |
| 5. Вывод.....                                                                               | 30 |
| 2. РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ..... | 31 |
| 2.1 Архитектура модели нейронной сети .....                                                 | 31 |

|        |                                                                                                                                      |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2    | Использованные наборы данных .....                                                                                                   | 34 |
| 2.3    | Анализ методов оптимизации нейронных сетей .....                                                                                     | 36 |
| 3.     | ОБУЧЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ .....                                                                                                 | 40 |
| 3.1    | Использованные технологии .....                                                                                                      | 40 |
| 3.1.1  | Keras .....                                                                                                                          | 40 |
| 3.1.2  | OpenCV .....                                                                                                                         | 40 |
| 3.1.3  | Python .....                                                                                                                         | 41 |
| 3.1.4  | Tensorflow .....                                                                                                                     | 41 |
| 3.2    | Техническое обеспечение .....                                                                                                        | 41 |
| 3.3    | Итоги обучения модели нейронной сети.....                                                                                            | 42 |
| 3.4    | Тестирование модели.....                                                                                                             | 44 |
| 4.     | ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И<br>РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....                                                              | 47 |
| 4.1    | Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения<br>исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 48 |
| 4.1.1  | Потенциальные потребители результатов исследования .....                                                                             | 48 |
| 4.1.2  | Анализ конкурентных технических решений.....                                                                                         | 48 |
| 4.2    | SWOT-анализ.....                                                                                                                     | 50 |
| 4.3    | Планирование научно-исследовательских работ .....                                                                                    | 54 |
| 4.3.1  | Структура работ в рамках научного исследования.....                                                                                  | 54 |
| 4.3.2  | Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика<br>проведения.....                                                    | 55 |
| 4.3.3. | Разработка графика проведения научного исследования.....                                                                             | 56 |
| 4.3.4  | Бюджет научно-технического исследования. ....                                                                                        | 60 |

|       |                                                                                                                                                           |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4   | Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..                                | 66 |
| 5.    | СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....                                                                                                                           | 69 |
| 5.1   | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....                                                                                         | 69 |
| 5.2   | Производственная безопасность .....                                                                                                                       | 70 |
| 5.3   | Анализ опасных и вредных производственных факторов.....                                                                                                   | 71 |
| 5.3.1 | Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения .....                                                                                     | 71 |
| 5.3.2 | Повышенная пульсация светового потока .....                                                                                                               | 72 |
| 5.3.3 | Нервно-психические перегрузки, связанные с напряжённостью трудового процесса.....                                                                         | 73 |
| 5.3.4 | Статические перегрузки, связанные с рабочей позой.....                                                                                                    | 73 |
| 5.3.5 | Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий ..... | 74 |
| 5.4   | Экологическая безопасность.....                                                                                                                           | 74 |
| 5.5   | Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....                                                                                                               | 75 |
|       | ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                                          | 77 |
|       | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                                                                                                                    | 78 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время технологии искусственного интеллекта неизбежно продолжают занимать важное место в нашей жизни: поиск наиболее оптимального маршрута, выполнение бытовых домашних функций, оптимизация бизнеса – лишь малый список того, что ученым и программистам удалось автоматизировать и внедрить в повседневную жизнь. Наибольший прорыв в сфере искусственного интеллекта совершило направление распознавания объектов.

Технология распознавания объектов позволяет выполнять широкий спектр задач, среди которых: определение номеров автомобилей, определение объектов на дорогах, распознавание эмоционального состояния человека.

Решение последней задачи стало одним из наиболее важных открытий в сфере распознавания объектов. Определение эмоций человека по изображениям лица было успешно внедрено в сферу безопасности и в производство автомобилей с функцией автопилота.

Камеры видеонаблюдения с функцией распознавания эмоционального состояния ускоряют процесс поиска негативно настроенных личностей в местах большого скопления людей, а автомобили с функцией автопилота контролируют уровень усталости или состояния здоровья водителя, имея способность вовремя перехватить управление на себя.

Исходя из вышеописанной информации становится очевидным, что данная сфера искусственного интеллекта продолжает стремительное развитие. Так, доказывается актуальность задачи разработки нейросетевого алгоритма для распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица.

Объектом данной работы являются методы распознавания выражений лица человека.

Предметом исследования являются модели сверточных нейронных сетей, специализирующихся на распознавании эмоций.

Целью данной работы является разработка нейросетевого алгоритма для распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- провести обзор предметной области;
- рассмотреть нейронные сети, специализирующиеся на распознавании эмоциональных выражений человека;
- собрать датасет для обучения модели;
- предложить собственную архитектуру нейронной сети для распознавания эмоционального состояния человека;
- осуществить реализацию предложенной архитектуры;
- оценить эффективность реализованной нейронной сети.



# **1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ**

## **1. Роль эмоции как класса психологических состояний в жизни человека**

Эмоции – особый класс субъективных психологических состояний, отражающих в форме непосредственных переживаний, ощущений приятного или неприятного, отношения человека к миру и людям, процесс и результаты его практической деятельности. К классу эмоций относятся настроения, чувства, аффекты и стрессы. Это так называемые «чистые» эмоции. Они включены во все психические процессы и состояния человека. Любые проявления его активности сопровождаются эмоциональными переживаниями.

Эмоции выступают как внутренний язык, как система сигналов, посредством которой субъект узнает о значимости происходящего. Особенность эмоций состоит в том, что они непосредственно отражают отношения между мотивацией и реализацией, отвечающей этим мотивам деятельности. Эмоции в деятельности человека выполняют функцию оценки её хода и результатов. Они организуют деятельность, стимулируя и направляя её. Распознавание и чтение эмоций, таким образом, является важным фактором для полноценного понимания друг друга [1].

С учетом развития современных технологий острою необходимость имеет внедрение способности распознавания и понимания эмоций в машины, что несомненно поможет человеку упростить и обезопасить его жизнь.

## **2. Задача распознавания эмоций**

Задача распознавания эмоций машиной заключается в том, чтобы на основе имеющихся входных данных определить эмоциональное состояние человека, которое он выражает в текущий момент. Машина

принимает решение о выражаемой человеком эмоции на основе тех закономерностей, которые она сумела выявить при обучении на независимых данных.

Сложность данной задачи определяется некоторыми особенностями внешнего вида человека, которые зачастую не относятся к большому количеству населения, что лишает полноценности данные, используемые для обучения модели. Среди таковых можно отметить: полученные травмы, отражающиеся на лице – инсульт, царапины, акне; естественные элементы внешности – родинка, растительность на лице, морщины; дополнительные аксессуары – макияж, пирсинг, татуировки.

Кроме этого, эмоция, как элемент вербального взаимодействия, является достаточно абстрактным и индивидуальным психологическим состоянием – определённая эмоция может быть выражена по-разному в зависимости от человека. Стоит также учитывать то, что эмоции можно наигрывать, что делает успешное распознавание истинной эмоции человека практически невозможным.

### 3. Теоретические основы глубокого обучения

#### 3.1 Математическая модель нейрона

Математический нейрон представляет собой устройство, моделирующее нейрон мозга человека.

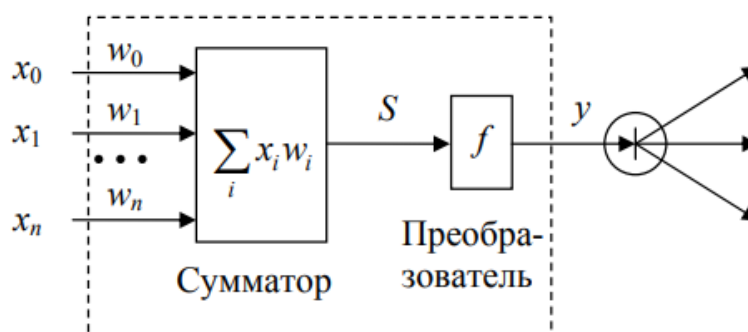


Рисунок 1 - Схематичное изображение математической модели нейрона

Математический нейрон имеет определенное количество  $p$  входов и один выход. Через входы нейрон получает сигналы, то есть, принимает информацию. Данные сигналы суммируются и умножаются на некоторый весовой коэффициент  $W$ , значение которого переопределяется в процессе. Полученная сумма направляется к преобразователю, представляющему собой некоторую функцию активации, которая выдает на выход определенное число [2].

### 3.2 Нейронная сеть

Нейронная сеть представляет собой цепочку или объединение цепочек, состоящих из множества нейронов.

Структура нейронной сети, состоящей из трех слоев, представлена на рис.2.

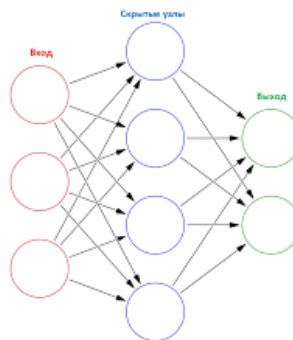


Рисунок 2 - Схематичное изображение архитектуры нейронной сети

Среди разновидностей нейронных сетей можно выделить нейронные сети прямого распространения, сверточные нейронные сети и рекуррентные нейронные сети [3].

НС прямого распространения – сеть, сигнал в которой проходит в прямом направлении. В сети такого вида отсутствует обратная связь между слоями.

Сверточная НС – сеть, применяющая ко входным данным операцию свертки. Данный вид нейронной сети будет рассмотрен подробнее в [главе 3.3](#).

Рекуррентная НС – сеть с циклами, позволяющая обрабатывать последовательности. Особенностью сети данного вида является способность нейронов обмениваться информацией между собой.

Перейдем к более детальному рассмотрению сверточных нейронных сетей.

### **3.3 Сверточные нейронные сети**

Сверточная нейронная сеть (с англ. Convolutional Neural Network) – глубокая искусственная нейронная сеть с прямой связью. Такой тип связи означает, что сигнал перемещается по нейронной сети исключительно в прямом направлении - выход каждого нейрона не возвращается на входы нейронов предыдущих слоёв, а переходит на следующий за ним слой.

Идея, лежащая в основе работы сверточной нейронной сети, заключается в следующем. В проведенном в 1962 г. эксперименте Д.Хьюбел и Т.Визель подтвердили гипотезу о том, что зрительная кора головного мозга человека имеет области клеток, особенно чувствительные к определенным областям поля зрения. Было продемонстрировано, что отдельные нейроны в мозге активируются только при наличии краёв определенной ориентации.

Например, некоторые нейроны запускаются при воздействии вертикальных сторон, другие – при воздействии горизонтальных краев. Так было обнаружено, что упорядоченность нейронов создает зрительное восприятие. Сделанное открытие легло в основу работы сверточных нейронных сетей [4].

Простейшая сверточная нейронная сеть состоит из следующих слоев:

- входной слой – принимает входные данные, представляющие собой изображения определенной размерности. Цветное изображение

разбивается на три канала: красный, синий, зеленый. Черно-белое изображение имеет один канал. Входные данные на этом слое нормализуются в диапазоне от 0 до 1;

- сверточный слой представляет собой набор фильтров, каждый из которых сканирует входную карту признаков, применяет к изображению операцию свертки и получает на выходе новую карту признаков;
- слой субдискретизации (подвыборки) позволяет снизить риск переобучения модели путем уменьшения размерности карт признаков. На данном слое происходит выбор максимального значения пикселя из области, заданной фильтром;
- полносвязный слой проводит классификацию имеющихся объектов на основе полученных карт признаков;
- выходной слой использует функцию активации для предсказания метки класса для входного изображения [5].

Таким образом, структура сверточной нейронной сети позволяет учесть особенности изображений и избежать таких осложнений, как переобучение модели.

### **3.4 Функция активации**

Функция активации в нейронной сети определяет выходное значение нейрона на основе его входных значений. Она применяется после полносвязного слоя для избавления от линейности выходных данных. Наиболее распространенными функциями активации являются сигмоидальная функция активации (sigmoid), гиперболический тангенс (tahn), функция активации ReLU и функция активации Softmax.

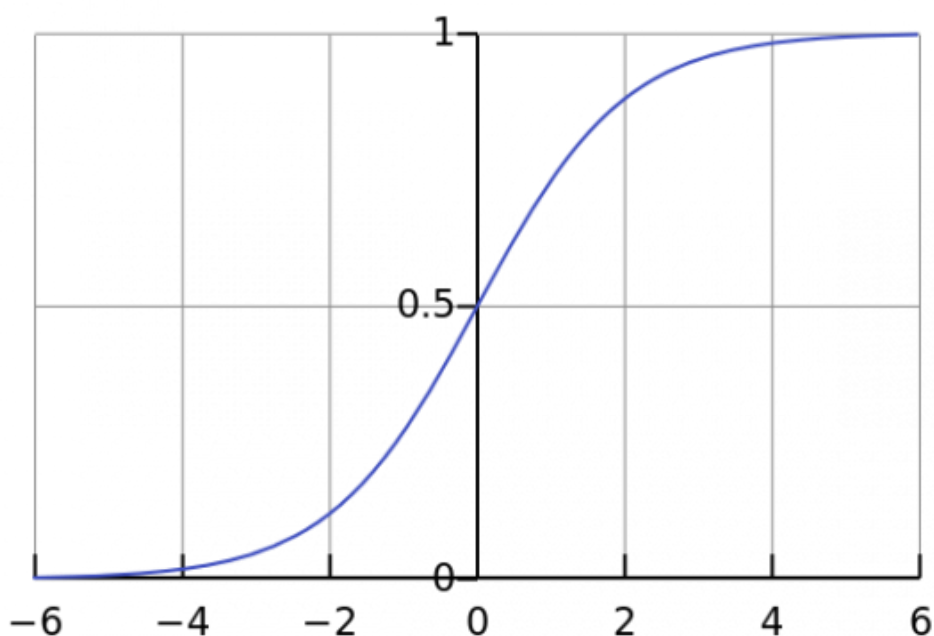
Сигмоидальная функция преобразовывает входное значение в диапазон от 0 до 1 и позволяет легко вычислить производную через полученное

значение. Среди недостатков можно выделить затухание или увеличение градиента, а также высокие вычислительные затраты.

Гиперболический тангенс преобразовывает значения в диапазоне от -1 до 1. Недостатком данной функции активации так же является возможность затухания или увеличение градиента при обучении глубоких сетей.

Функция ReLU преобразовывает отрицательные значения в 0, положительные значения оставляет без изменений. Достоинствами ReLU являются быстрая сходимость, отсутствие затухания или увеличения градиента, а также низкая ресурсоемкость. Недостатком данной функции активации можно назвать сильную зависимость от инициализации весов.

Функция Softmax преобразует входные значения в вероятности, суммирование которых дает единицу. Данная функция активации используется в последнем слое нейронной сети при решении задачи многоклассовой классификации. Среди достоинств Softmax можно выделить получение вероятностных значений классификации, что будет напрямую свидетельствовать об эффективности используемой модели. Недостатком является снижение скорости вычислений при больших значениях аргументов [6].



### Рисунок 3 – Графическое представление функции активации Softmax

Выбор определенной функции активации при обучении модели зависит условия поставленной задачи и имеющихся данных.

## 3.5 Операция свертки

Операция свертки осуществляется с помощью так называемого ядра, или фильтра. Фильтр представляет собой матрицу весовых коэффициентов. Значения этих коэффициентов устанавливаются и переопределяются в ходе обучения модели. Количество фильтров и карт признаков зависит от условий поставленной задачи: большое количество фильтров повысит эффективность модели в распознавании образов, но это потребует значительно больших вычислительных затрат.

Сканирование карт фильтром осуществляется путем перемещения окна определенной размерности по всей области карты, полученной с предыдущего слоя. Наиболее эффективным является окно с размерностями 3x3 или 7x7, так как меньшая размерность не позволяет выделить достаточно признаков, а слишком большая размерность увеличивает количество нейронных связей, что снижает скорость обучения модели.

Процесс операции свертки представлен на рис.3.

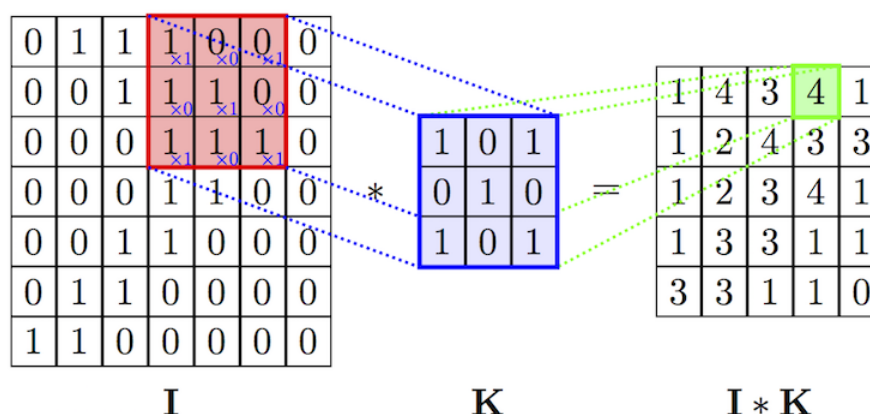


Рисунок 4 - Операция свертки

Перед началом обучения модели значения каждой карты сверточного слоя установлены на ноль. Веса фильтров случайным образом задаются в диапазоне от -0,5 до 0,5. В процессе обучения весовые коэффициенты изменяются для выделения определенных признаков у объектов на изображении. Ядро перемещается по предыдущей карте, выполняя операцию свертки.

На каждом шаге фильтр покрывает на карте область, размерность которой равна размерности фильтра. Операция свертки осуществляется путем поэлементного перемножения элементов матрицы фильтра с элементами матрицы области, покрытой фильтром, с последующим сложением полученных произведений. Результат такого действия записывается в соответствующий элемент выходной карты [7].

### **3.6 Алгоритм обратного распространения ошибки**

Алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation) является основным алгоритмом для обучения нейронных сетей. После прямого распространения входных данных через сеть вычисляется ошибка между выходными и ожидаемыми данными. Затем полученное значение ошибки возвращается в начало сети для повторного прохождения с целью обновления весов и смещения нейронов.

Алгоритм обратного распространения ошибки можно разделить на несколько основных шагов:

- 1) Прямое распространение: входные данные передаются через сеть, где каждый нейрон вычисляет свой выход на основе полученных данных и текущих значений весов
- 2) Вычисление ошибки: вычисление разницы между выходными и ожидаемыми данными
- 3) Обратное распространение ошибки: значение ошибки перемещается с последнего слоя к первому. Каждый нейрон принимает значение со



следующего слоя, вычисляет собственную ошибку и передает её предыдущему слою.

- 4) Обновление весов и смещений: после того, как ошибка прошла через сеть, веса и смещения каждого нейрона обновляются на основе полученных значений ошибки и скорости обучения.
- 5) Повторение предыдущих 4-х шагов для каждой эпохи обучения для достижения желаемой точности работы сети.

Алгоритм обратного распространения ошибки является крайне эффективным способом обучения нейронных сетей, однако, он обладает такими недостатками, как риск затухания градиента или переобучения модели.

Градиент в алгоритме обратного распространения ошибки представляет собой вектор частных производных функции ошибки по каждому весу и смещению в нейронной сети. Градиент также указывает направление наискорейшего убывания ошибки и используется для обновления весов и смещений в процессе обучения.

Как было описано ранее, вопрос затухания или разрастания градиента является серьезной проблемой, возникающей при обучении сети. Это приводит к тому, что после обновления весов и смещений их значения будут чрезмерно маленькими или, наоборот, большими, что затрудняет обучение сети. В качестве решения этой проблемы могут быть предложены регуляризация, оптимизация скорости обучения, применение других функций активации или изменение архитектуры нейронной сети.

#### **4. Обзор существующих сверточных нейронных сетей**

Перейдем к рассмотрению существующих архитектур нейронных сетей, специализирующихся в распознавании объектов, и, в частности, решении задачи классификации эмоциональных состояний человека.

## 4.1 LeNet

LeNet - сверточная нейронная сеть, разработанная Яном Лекуном в 1998 году. Данная сеть является последователем архитектуры LeNet-5, считающейся основоположником в сфере нейронных сетей и изначально предназначенной для распознавания рукописного текста.

Ян Лекун применил алгоритм обратного распространения ошибки к обучению сверточной нейронной сети и успешно использовал её в идентификации рукописных номеров почтовых индексов. В 1990 модель при распознавании цифровых данных почтового индекса показала ошибку в 1%.

LeNet содержит 7 слоев: 1 входной, 3 сверточных, 2 слоя средней подвыборки (субдискретизации) и 2 полносвязных слоя. В качестве функции активации используется тангенциальная функция. На последнем слое используется функция софтмакс [8].

Последний слой содержит 10 нейронов, соответствующих десяти классам цифр от 0 до 9.

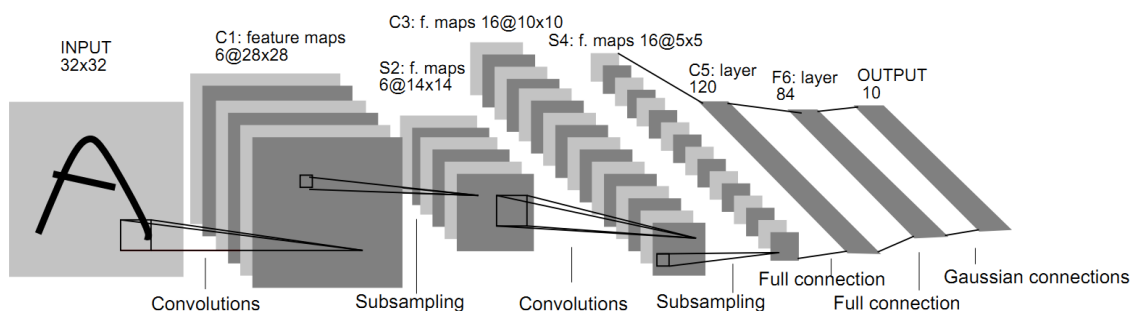


Рисунок 5 - Схематичное изображение архитектуры сверточной нейронной сети LeNet

## 4.2 AlexNet

Alexnet - сверточная нейронная сеть, разработанная в 2012 году Алексеем Крижевским совместно с Ильей Суцкевером и Джеффри Хинтоном.

В 2012 году данная архитектура СНС по итогам участия в конкурсе по распознаванию изображений LSVRC на датасете ImageNet достигла ошибки в

15.3 процентов, заняв первое место, и опередив участника на втором месте на более, чем 10 процентов. Использование графических процессоров (GPU) помогло избежать высоких затрат с вычислительной точки зрения и позволило добиться высокой производительности модели.

AlexNet содержит 8 слоев: 5 сверточных слоев, подкреплённых слоями максимальной подвыборки (субдискретизации), и 3 полносвязных слоя. Сеть, за исключением последнего слоя, разделена на 2 копии, каждая из которых запускается на GPU. В качестве функции активации используется ReLU.

AlexNet имеет схожесть в структуре с архитектурой LeNet, описанной выше, однако, содержит больше фильтров, слоев и нейронов, тем самым производя значительно больше параметров во время обучения модели. Во избежание переобучения модели в полносвязных слоях были использованы методы регуляризации.

Последний слой содержит 1000 нейронов, соответствующих количеству классов объектов, распознаваемых нейронной сетью [9].

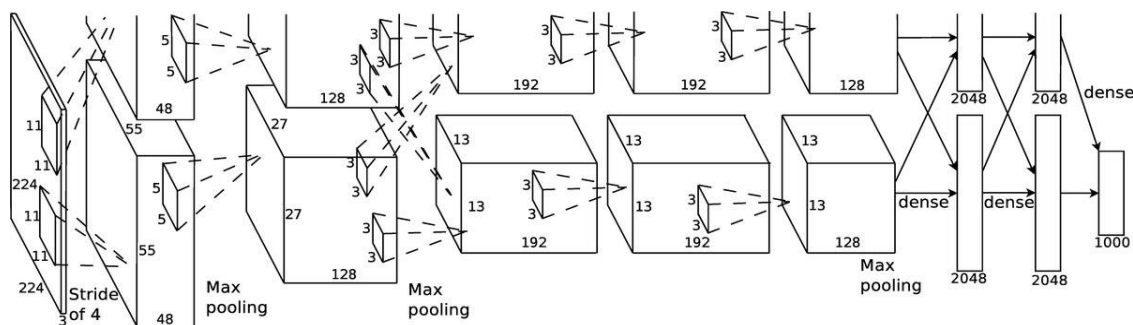


Рисунок 6 - Схематичное изображение сверточной нейронной сети AlexNet

### 4.3 VGGNet

VGGNet (англ. Visual Geometry Group) - сверточная нейронная сеть, предложенная в 2014 году Э.Зиссерманом и К.Симоньяном. Содержит, в зависимости от версии, 16 (VGG-16) или 19 (VGG-19) слоев. Число в версии архитектуры представляет собой количество весовых, или, сверточных слоев.

VGG-16 содержит 16 слоев: 13 сверточных слоев и 3 полносвязных слоя. Особенность структуры VGG16 в сравнении с её предшественниками заключается в замещении больших фильтров несколькими фильтрами размером  $3 \times 3$ , располагая их один за другим, что делает данную структуру значительно эффективнее ранее описанной AlexNet. На датасете ImageNet нейронная сеть VGG16 показала точность распознавания в 92.5%.

Принципиальным условием на этапе проектирования было удваивание количества фильтров в каждом блоке сверточного слоя. Тем не менее, одним из ключевых недостатков VGG-16 является объем времени, необходимый для обучения модели ввиду глубины сети и количества полносвязных слоев.

Размерность входного слоя данной модели составляет  $224 \times 224$  пикселя [10].

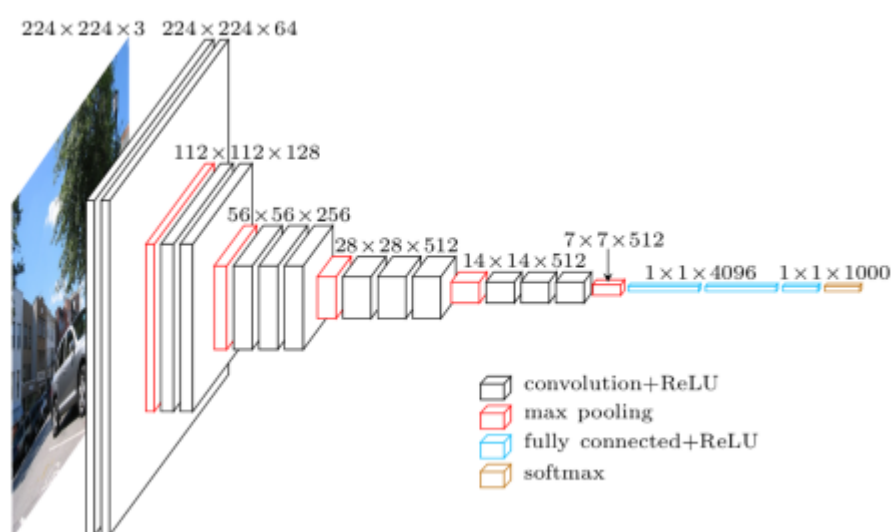


Рисунок 7 - Схематичное изображение сверточной нейронной сети VGGNet

#### 4.4 GoogLeNet

GoogLeNet была предложена на LSVRC в 2014 году. Сеть GoogleNet содержит 27 слоев.

Основное отличие этой архитектуры от предыдущих заключается в наличии девяти inception-модулей. Цель такого модуля заключается в решении следующей проблемы. Так как каждый элемент предшествующего слоя

нейронной сети соответствует конкретной области исходного изображения, свертка по этим элементам будет увеличивать исходное изображение до тех пор, пока элементы последних слоев не будут идентичны всему изображению в целом. При появлении с определенного момента свертки размером  $1 \times 1$  нахождение элементов, способных покрыть все исходное изображение, становится невозможным.

Конец inception-модуля подсоединен к слою глобальной субдискретизации.

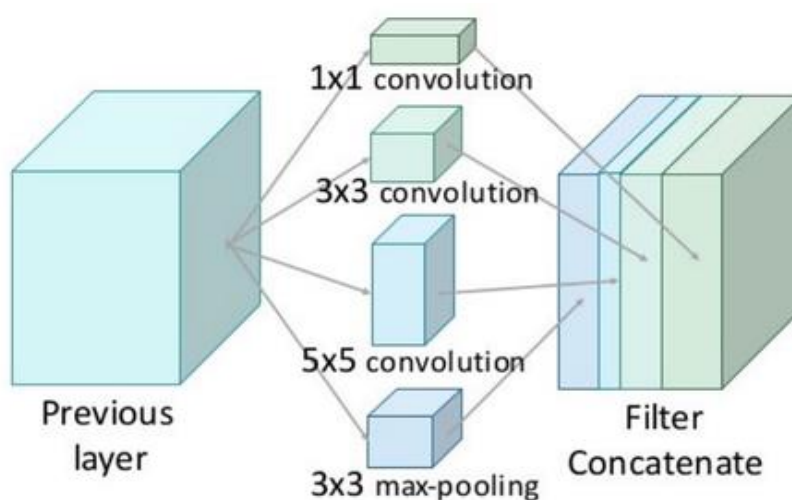


Рисунок 8 - Inception-модуль сверточной нейронной сети GoogLeNet

Недостатком данного подхода является рост размерностей слоев изображения, что делает проблематичным построение достаточно глубокой нейронной сети. Так было решено перейти к модифицированному inception модулю, где производится дополнительное уменьшение размерности через добавление к каждому фильтру слоя свертки  $1 \times 1$ , который сжимает все слои изображения в один, что позволяет сохранить малое кол-во слоев [11].

#### 4.5 ResNet

Нейронная сеть ResNet была предложена для решения задачи затухающего градиента. Из-за большой глубины сети значения градиентов, от которых рассчитывается функция потерь, начинают принимать маленькие

значения после применения так называемого цепного правила. Маленькая величина градиента не позволяет обновлять веса, достаточные для продолжения эффективного обучения сети, поэтому процесс останавливается.

Решение проблемы затухающего градиента заключается в добавлении residual блока в архитектуру сети. Данный блок представляет собой объединение некоторого количества слоев и дополнительной связи, проходящей параллельно с этими слоями, и выполняет определенное преобразование с участием функции активации [12].

## **5. Вывод**

На основе проведенного обзора принято решение о разработке алгоритма классификации эмоций человека на основе технологии СНС, так как на сегодняшний день данная технология является наилучшим подходом к решению поставленной задачи.

## 2. РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

### 2.1 Архитектура модели нейронной сети

В процессе разработки модели была спроектирована архитектура нейронной сети, информация о которой представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Структура предложенной архитектуры нейронной сети

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Кол-во структурных блоков   | 5      |
| Кол-во сверточных слоев     | 6      |
| Кол-во слоев подвыборки     | 5      |
| Кол-во дропаут-слоев        | 5      |
| Кол-во слоев увеличения     | 1      |
| Кол-во слоев сглаживания    | 1      |
| Кол-во полно-связных слоев  | 1      |
| Общее количество параметров | 531974 |

Ниже представлена архитектура модели сверточной нейронной сети:

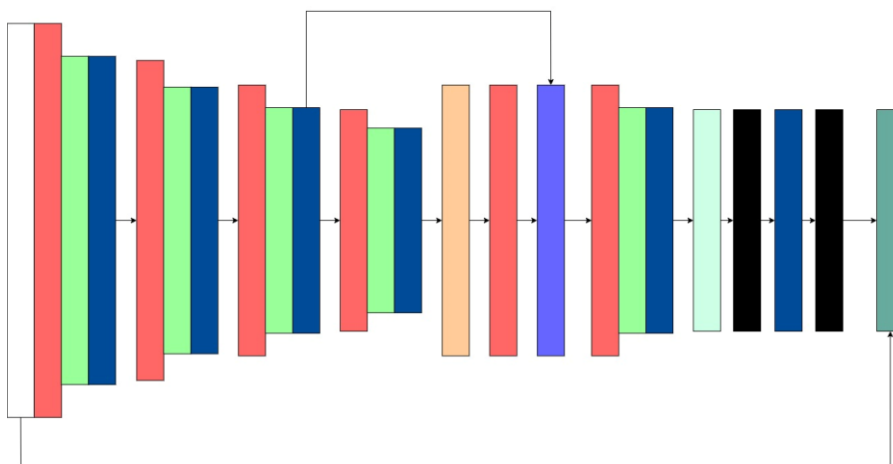


Рисунок 9 – Схематичное изображение архитектуры модели

Здесь стоит обратить внимание на применение пропускных соединений (skip connections) при обучении модели.

Пропускные соединения между слоями добавляют выходы из предыдущих слоев к выходам следующих слоев, что особенно полезно при работе с изображениями, где необходимо сохранить как детали, например, границы объектов, так и в целом контекст изображения. Это приводит к способности обучать более глубокие сети эффективнее. Существенная проблема, которую помогают решить пропускные соединения – затухание градиента, возникающее при обучении глубоких нейронных сетей [13].

Архитектура состоит из 4 блоков, каждый из которых содержит фиксированное количество слоев, расположенных в следующем порядке:

- 1) Сверточный слой
- 2) Слой функции активации
- 3) Слой пулинга (субдискретизации)
- 4) Слой Дропаута

После 4 блоков следует сверточный слой со слоем UpSampling2D, увеличивающий изображение. Полученный слой соединяется с выходом третьего блока. После следует блок слоев, аналогичный блокам в начале структуры.

Далее идут слои выравнивания входа Flatten() и полно-связный слой с функцией активации ReLU. Завершается структура модели полно-связным слоем классификации с количеством определяемых классов, равным 6, и функцией активации Softmax.

Общее количество параметров в модели составило 531974. Таблица с выходной размерностью и количеством параметров на каждом слое представлена ниже.



Таблица 2.2 – Выходная размерность и количество параметров на слоях

| Блок | Тип слоя        | Размерность на выходе слоя | Кол-во новых параметров |
|------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 0    | input_2         | ([None, 64, 64, 1])        | 0                       |
| 1    | conv2d_6        | (None, 64, 64, 32)         | 320                     |
|      | max_pooling2d_5 | (None, 32, 32, 32)         | 0                       |
|      | dropout_6       | (None, 32, 32, 32)         | 0                       |
| 2    | conv2d_7        | (None, 32, 32, 64)         | 18496                   |
|      | max_pooling2d_6 | (None, 16, 16, 64)         | 0                       |
|      | dropout_7       | (None, 16, 16, 64)         | 0                       |
| 3    | conv2d_92       | (None, 16, 16, 64)         | 36928                   |
|      | max_pooling2d_7 | (None, 8, 8, 64)           | 0                       |
|      | dropout_8       | (None, 8, 8, 64)           | 0                       |
| 4    | conv2d_9        | (None, 8, 8, 64)           | 102464                  |
|      | max_pooling2d_8 | (None, 4, 4, 64)           | 0                       |
|      | dropout_9       | (None, 4, 4, 64)           | 0                       |
| 5    | up_sampling2d_1 | (None, 8, 8, 64)           | 0                       |
|      | conv2d_10       | (None, 8, 8, 64)           | 36928                   |
|      | concatenate_1   | (None, 8, 8, 128)          | 0                       |
| 6    | conv2d_11       | (None, 8, 8, 64)           | 204864                  |
|      | max_pooling2d_9 | (None, 4, 4, 64)           | 0                       |
|      | dropout_10      | (None, 4, 4, 64)           | 0                       |
| 7    | flatten_1       | (None, 1024)               | 0                       |
|      | dense_2         | (None, 128)                | 131200                  |
|      | dropout_11      | (None, 128)                | 0                       |
|      | dense_3         | (None, 6)                  | 774                     |

## 2.2 Используемые наборы данных

Для реализации архитектуры и обучения модели был использован собственный набор данных, собранный из изображений, полученных с платформы freeris.com.

В таблице 2.2 представлено числовое соотношение объектов датасета для каждого класса эмоции и подвыборки.

Датасет представляет собой набор одноканальных изображений размером 64x64 пикселей с лицами людей. Лица преимущественно расположены в центре изображения. Каждое изображение соответствует выражению эмоционального состояния в одной из шести категорий: Радость, Грусть, Злость, Страх, Удивление и Нейтральное состояние. Объем датасета составляет 7932 объекта.

Набор данных разделен на тренировочную, валидационную и тестовую выборки в отношении 80/15/5% соответственно. В таблице 2.3 представлено количественное соотношение для каждого класса эмоции в трех выборках.

Таблица 2.3 - Количественное распределение объектов в тренировочной, валидационной и тестовой выборках для имеющихся классов

| Класс                    | Выборка       |               |            | Изображений<br>в классе |
|--------------------------|---------------|---------------|------------|-------------------------|
|                          | Тренировочная | Валидационная | Тестовая   |                         |
| Злость                   | 973           | 183           | 61         | 1217                    |
| Страх                    | 1074          | 202           | 67         | 1343                    |
| Радость                  | 882           | 165           | 55         | 1102                    |
| Нейтральное<br>состояние | 967           | 182           | 60         | 1209                    |
| Грусть                   | 986           | 185           | 62         | 1233                    |
| Удивление                | 1030          | 193           | 65         | 1288                    |
| <b>Итого</b>             | <b>6436</b>   | <b>1109</b>   | <b>397</b> | <b>7932</b>             |

В датасете имеются люди разных полов (рис. 10) и этнических принадлежностей (рис.11):



Рисунок 10 – Пример гендерного разнообразия изображений в датасете



Рисунок 11 – Пример разнообразия этнических групп на изображениях в датасете

Также данный набор содержит изображения лиц с различными особенностями внешнего вида людей (рис.12), среди которых можно выделить: растительность на лице, татуировки, очки, макияж, головные уборы.



Рисунок 12 – Пример изображений людей с отличительными особенностями

Определенные изображения содержат лица людей, прикрытые их ладонями.



Рисунок 13 – Пример изображений людей с прикрытыми лицами

Часть используемой выборки содержит изображения лиц, расположенных под различными углами по направлению к зрителю.



Рисунок 14 – Пример изображений людей, развернутых к зрителю под определенным углом

Описанное разнообразие изображений в использованном наборе позволяет адаптировать нейронную сеть к различным условиям для более точного распознавания.

### **2.3 Анализ методов оптимизации нейронных сетей**

Рассмотрим оптимизацию алгоритма градиентного спуска. Оптимизаторы алгоритма градиентного спуска используются для обновления параметров модели в процессе обучения нейронных сетей.

В качестве оптимизаторов при обучении модели были рассмотрены и протестированы Adam, SGD и RMSprop. Далее описаны принцип работы, преимущества и недостатки каждого оптимизатора.

SGD (с англ. Stochastic Gradient Descent – стохастический градиентный спуск) – оптимизатор, в котором, кроме градиентного спуска по умолчанию, где потери и градиент рассчитываются с использованием всех элементов выборки, применяется также промежуточный стохастический градиентный спуск с мини-пакетами. При таком подходе алгоритм выбирает случайное подмножество набора данных для каждой тренировочной итерации, вследствие чего, коэффициенты меняются после обчета  $N$  элементов выборки.

Оптимизатор SGD может иметь проблемы со сходимостью, что потребует более тщательного подбора гиперпараметров для достижения оптимальных результатов.

PRMprop (с англ. Root Mean Square Propagation – Среднеквадратичное распространение) – алгоритм оптимизации, основанный на экспоненциально затухающем среднем значении. Данный алгоритм предоставляет для обновления средние значения квадратичных градиентов с прошлых шагов.

Adam (с англ. Adaptive Moment Estimation – Адаптивная Оценка Моментов) - один из наиболее эффективных алгоритмов оптимизации градиентного спуска при работе с моделями глубокого обучения. Основан на принципе работы оптимизаторов среднеквадратичного распространения и метода импульса. Преимуществами оптимизатора Adam являются небольшие требования к памяти и эффективность в решении задач с объемными данными и большим количеством параметров [14].

Тестирование оптимизаторов производилось на упрощенной 4-х слойной модели нейронной сети на 75 эпохах с применением обратных вызовов. Скорость обучения установлена равной 0.001.

Ниже приведены таблица с лучшими достигнутыми значениями точности и функции потерь, а также графики с динамикой изменения точности и функции потерь для каждого оптимизатора.

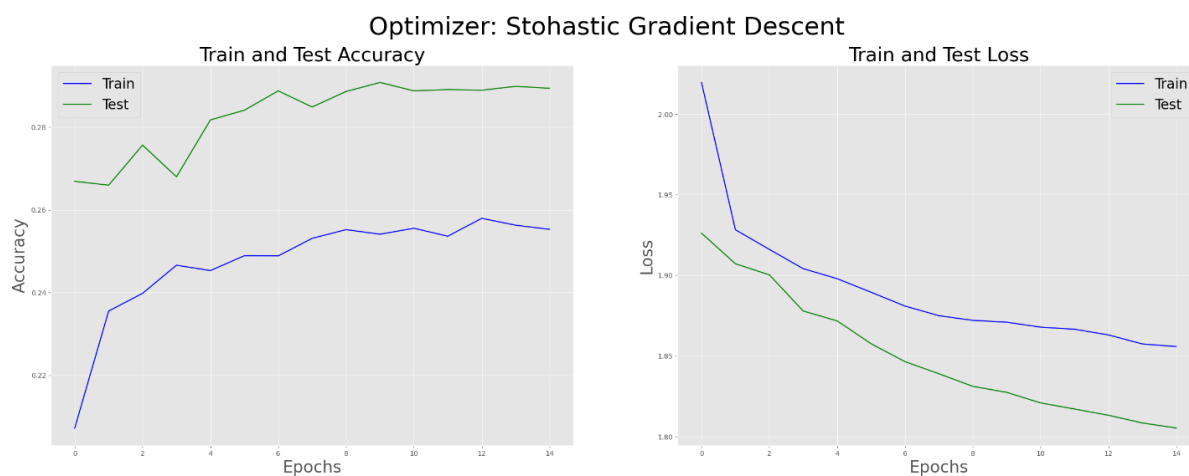


Рисунок 15 – Результаты исследования оптимизатора «Стохастический градиентный спуск»

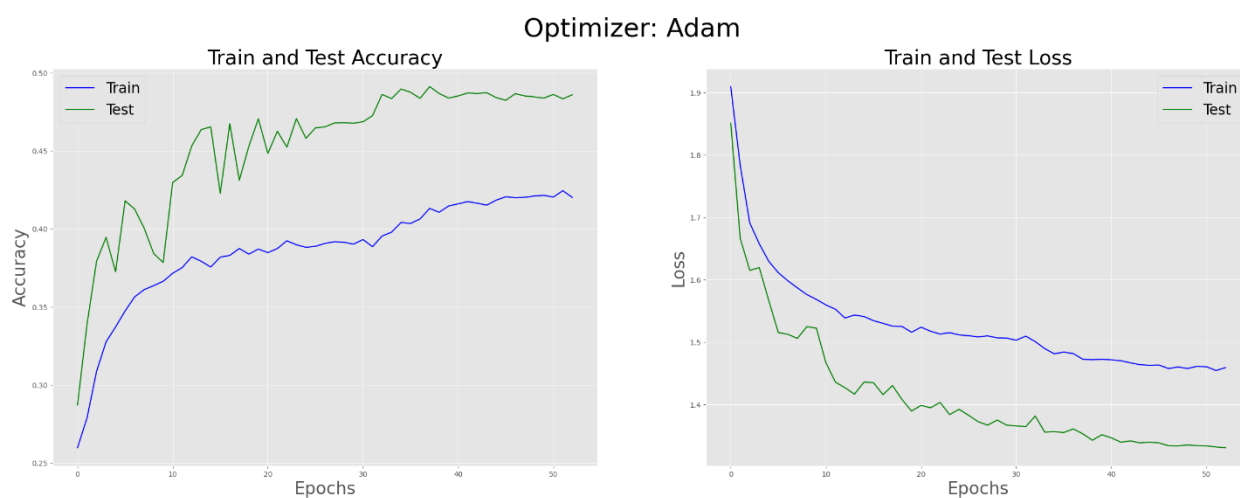


Рисунок 16 – Результаты исследования оптимизатора «Адам»

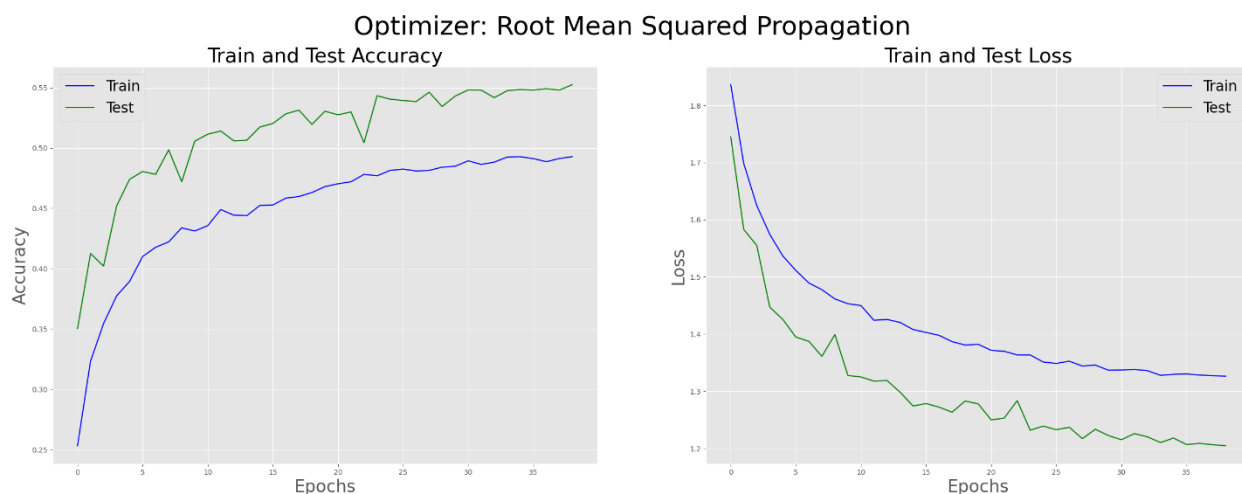


Рисунок 17 – Результаты исследования оптимизатора «Среднеквадратичное распространение»

Исходя из полученных результатов, отражающих отличия в работе оптимизаторов при обучении модели, можно сделать вывод о том, что наименее эффективным из рассматриваемых оптимизаторов является стохастический градиентный спуск.

Наиболее эффективным оптимизатором в решении данной задачи является оптимизатор «среднеквадратичное распространение», т.к. обучение с этим оптимизатором, по сравнению с Adam, проходило более гладко. Также оптимизатор «среднеквадратичное распространение» позволил достичь лучших значений точности и функции потерь по сравнению с двумя другими оптимизаторами. Наилучшие значения точности и функции потерь, достигнутые моделями при обучении с каждым оптимизатором, приведены в таблице 2.3:

Таблица 2.4 - Результаты анализа оптимизаторов градиентного спуска

|         | accuracy | test_accuracy | loss   | test_loss |
|---------|----------|---------------|--------|-----------|
| Adam    | 0.4244   | 0.4895        | 1.4547 | 1.3312    |
| SGD     | 0.2587   | 0.2912        | 1.8591 | 1.8067    |
| RMSprop | 0.4928   | 0.5525        | 1.3264 | 1.2048    |

На основе проведенного анализа принято решение использовать при обучении модели оптимизатор «среднеквадратичное распространение».

## **3. ОБУЧЕНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ**

### **3.1 Используемые технологии**

#### **3.1.1 Keras**

Keras – это высокоуровневый фреймворк для глубокого обучения, который позволяет быстро создавать нейронные сети. Фреймворк написан на языке высокоуровневого языка Python и может работать с различными библиотеками для выполнения вычислений на GPU, такими как, TensorFlow, Theano или CNTK.

Keras предоставляет простой интерфейс для создания нейронной сети и настройки её слоёв. Данный фреймворк поддерживает множество типов слоёв нейронных сетей, например, сверточные, рекуррентные, слои подвыборки и другие. Он также предоставляет широкий выбор функций активации, оптимизаторов и функций потерь для гибкой настройки моделей [15].

#### **3.1.2 OpenCV**

OpenCV (англ. OpenSource Computer Vision Library) – библиотека компьютерного зрения и обработки изображений с открытым кодом. Написана на высокоуровневом языке программирования C++ и имеет интерфейсы для использования в других языках, включая Python.

OpenCV предоставляет множество функций и алгоритмов для работы с изображениями, среди которых обнаружение объектов, распознавание лиц, сегментация изображений, фильтрация. Библиотека также поддерживает работу с видео и потоками изображений. В данной работе библиотека OpenCV была использована для распознавания эмоций в режиме реального времени по видео [16].



### **3.1.3 Python**

Python – высокоуровневый язык программирования. Отличается от других высокоуровневых языков упрощенным синтаксисом. Python имеет широкий спектр применения, включая научные вычисления, анализ данных, машинное и глубокое обучение.

Одним из основных преимуществ Python является его стандартная библиотека, включающая в себя такие модули и функции, как работа с файлами, сетевое программирование, работа с базами данных. Python также поддерживает множество сторонних библиотек и фреймворков, расширяющих его возможности. Среди таковых можно выделить Keras, OpenCV и TensorFlow, используемые в этой работе.

### **3.1.4 Tensorflow**

TensorFlow – открытая библиотека машинного обучения, объединяющая множество моделей и алгоритмов глубокого обучения. Данный фреймворк представляет API-интерфейс на Python, написана же библиотека на языке C++. Tensorflow позволяет обучать глубокие нейронные сети для широкого спектра задач, среди которых: классификация рукописных цифр, распознавание изображений, встраивание слов и обработка естественного языка. Кроме разработки нейронных сетей, Tensorflow предоставляет инструмент Serving для выпуска модели в продакшн [17].

Для реализации модели нейронной сети была выбрана библиотека Keras, т.к. она позволяет создавать и гибко настраивать необходимую архитектуру в зависимости от поставленной задачи. Также Keras сокращает объем кода и повышает быстродействие работы модели.

## **3.2 Техническое обеспечение**

Обучение и тестирование модели производилось с помощью Google Colab – бесплатного сервиса от Google, позволяющий создавать и запускать Python-код в облачной среде, используя браузер. Данная среда предоставляет

доступ к графическим процессорам (GPU) и тензорным процессорам (TPU), что делает её полезной для обучения глубоких нейронных сетей и машинного обучения.

### **3.3 Итоги обучения модели нейронной сети**

Для обучения модели использовалось 7392 изображений из описанного в [главе 2.3](#) набора.

При обучении моделей использовались дополнительные функции, т.н. обратные вызовы, предоставляемые библиотекой Keras. Обратные вызовы позволяют пользователю настроить поведение модели во время обучения, например: сохранить модель после каждой эпохи, изменить скорость обучения или остановить обучение.

В данной работе при обучении модели были использованы следующие обратные вызовы:

- ModelCheckpoint – сохранение модели после каждой эпохи;
- EarlyStopping – остановка обучения модели при достижении указанной метрикой определенной точности;
- ReduceLROnPlateau – понижает скорость обучения модели, когда указанная метрика перестает улучшаться;

Обучение модели производилось в течение 100 эпох. После каждой эпохи тренировочный набор данных перемешивался случайным образом. Обучение заняло приблизительно 43 минуты.

Ниже на рисунках 18 и 19 представлена зависимость значений точности и функции потерь от количества эпох в ходе обучения модели для тренировочной и валидационной выборок.

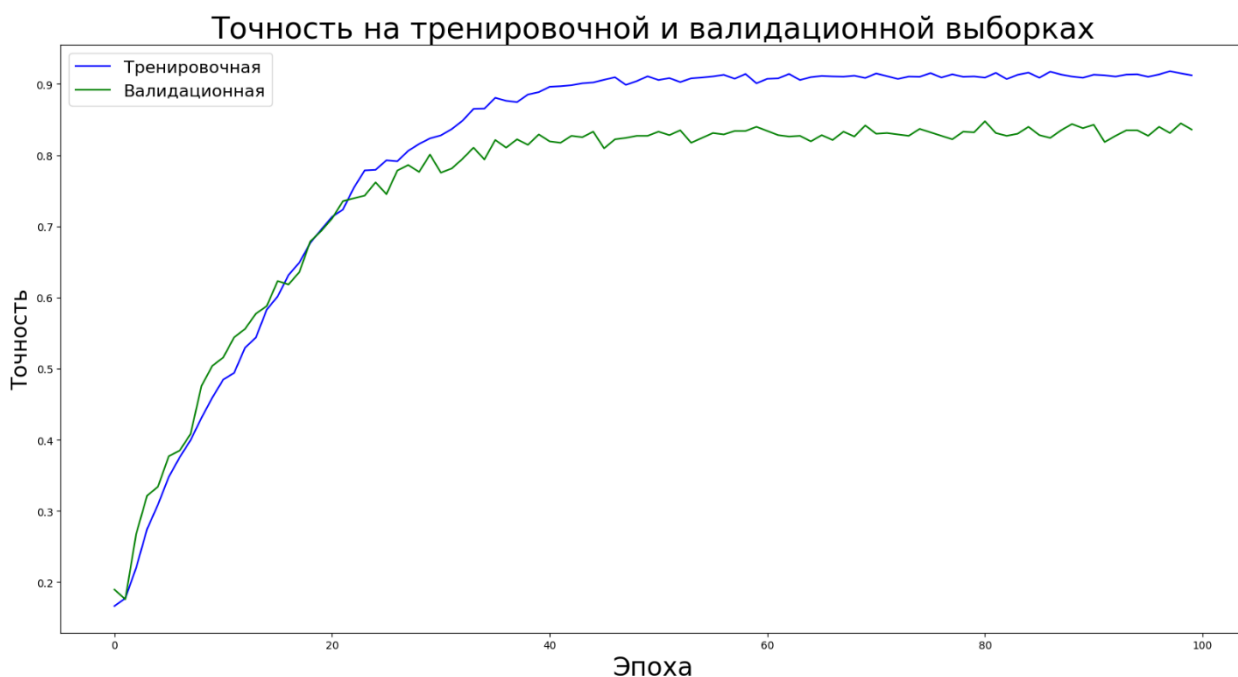


Рисунок 18 – График значений точности модели

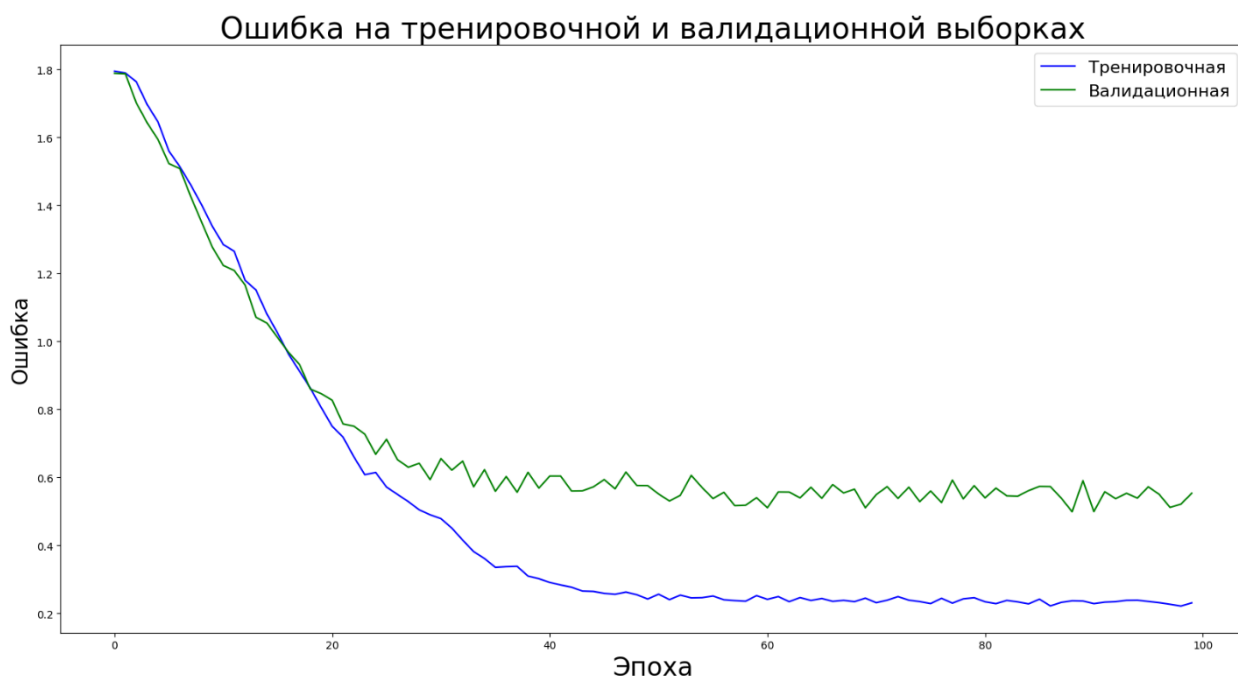


Рисунок 19 – График значений функции потерь модели

Начальная скорость обучения задана равной 0.001. В течение тренировки скорость обучения корректировалась с помощью обратных вызовов. График с динамикой изменения скорости обучения представлен на рисунке 20.

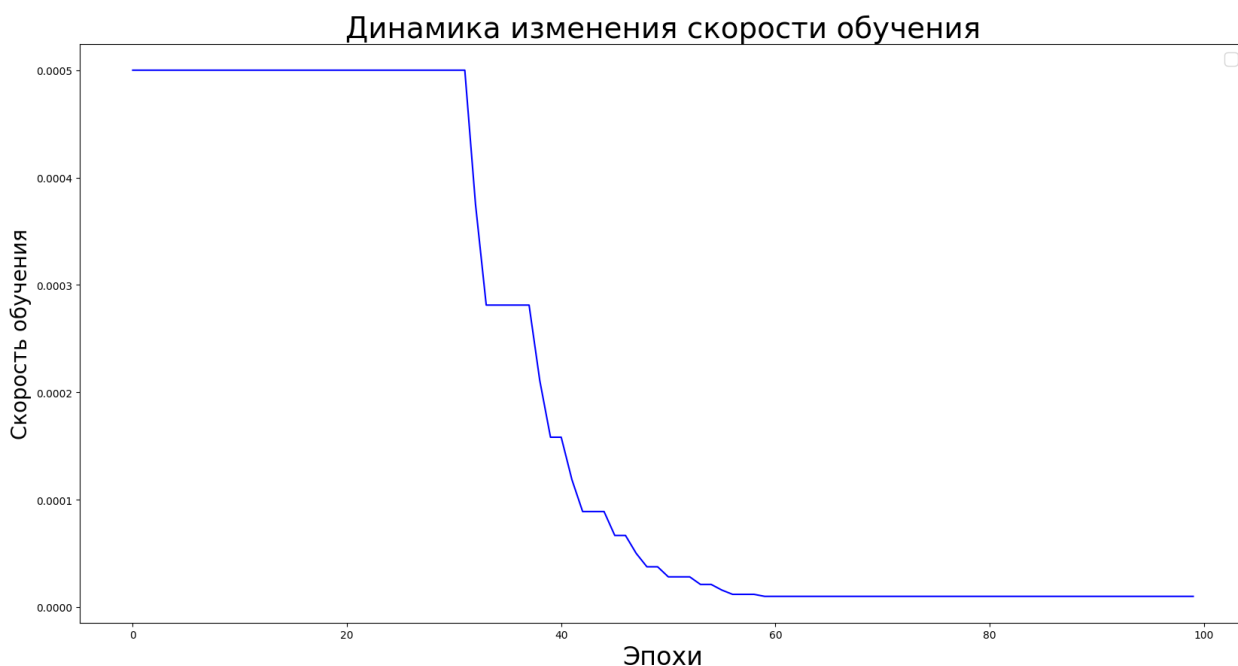


Рисунок 20 – Динамика скорости обучения

На полученных графиках об обучении модели (рис. 18 и 19) наблюдается положительная динамика изменения точности и функции потерь. Начиная с 30-й эпохи наблюдается тенденция к переобучению модели.

Исходя из рисунка 20, отражающего стабильное снижение скорости обучения в течение всего процесса, можно сделать вывод о том, что в определенные промежутки обучения модели наблюдалась отрицательная динамика или стагнация показателей модели, что требовало моментального корректирования скорости обучения в процессе. Отсутствие обратных вызовов, контролирующих снижение скорости при отсутствии улучшения метрик модели, привело бы к большому разрыву между значениями тренировочной и валидационной выборок.

### 3.4 Тестирование модели

Был разработан нейросетевой алгоритм, осуществляющий распознавание эмоционального состояния человека по его изображениям. В архитектуре нейронной сети присутствует технология пропускных соединений (skip connection), что позволяет решить проблему затухающего

градиента. Эффективность работы алгоритма и его производительность можно оценить с помощью следующих метрик:

1. Точность. Указывает на правильность распознавания эмоций разработанной моделью и представляет собой вероятность принадлежности конкретного объекта к определённому классу.
2. Кросс-энтропийная функция ошибки. Отражает разницу между фактическим результатом классификации и ожидаемым выходом.

Максимальное достигнутое значение точности для валидационной выборки равно 85%. Для тренировочной выборки модель достигла значения точности в 93%.

Реализованная модель была протестирована на изображениях, полученных из видеопоследовательности через камеру устройства. На рисунках 22-24 представлены примеры.

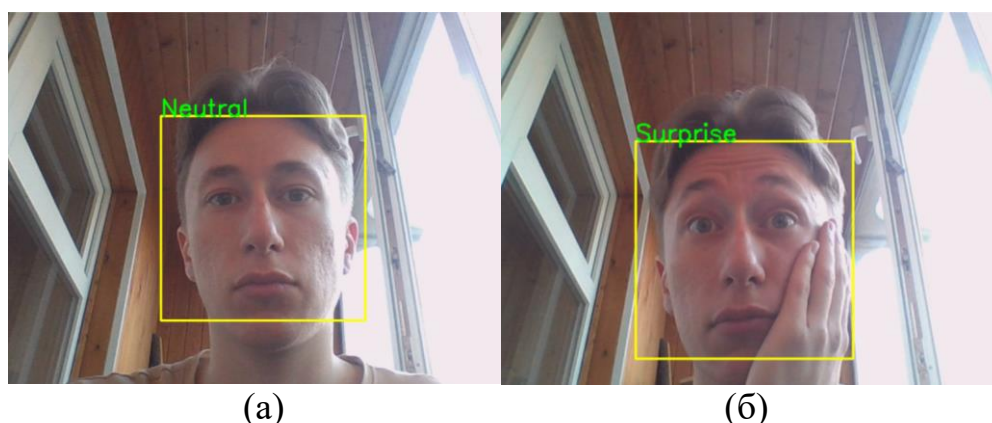


Рисунок 21 – Результат распознавания нейронной сетью эмоций «Нейтральное состояние» (а) и «Удивление» (б)



Рисунок 22 – Результат распознавания нейронной сетью эмоций «Радость»  
(а) и «Грусть» (б)

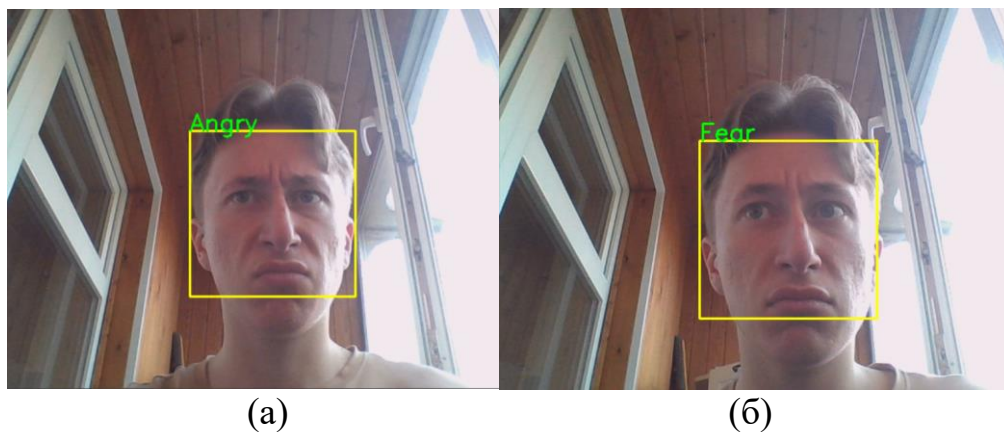


Рисунок 24 – Результат распознавания нейронной сетью эмоций «Злость» (а)  
и «Страх» (б)

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

**Введение.** Целью выпускной квалификационной работы является разработка нейросетевого алгоритма распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица.

Функционал нейросетевого алгоритма включает следующие возможности:

- Просмотр видео через камеру устройства пользователя;
- Выделение соответствующей эмоции в рамке;
- Определение распознаваемой эмоции и указание её рядом с рамкой.

Эти функции осуществляют распознавания эмоционального состояния за доли секунды.

В данном разделе требуется определить длительность работ и оценить объем затрат на труд при выполнении проекта. Кроме того, следует эффективно организовать производственный процесс с целью уменьшения расходов. Для этого необходимо провести экономическое обоснование всех инженерных решений. Для решения поставленных задач необходимо выполнить следующие шаги:

- Оценка конкурентоспособности технических решений;
- Проведение SWOT-анализа для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- Планирование проведения работ с построением диаграммы Ганта;
- Расчёт бюджета проекта;
- Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности.

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

### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Ввиду того, что разработка, являющаяся конечной целью научного исследования, обладает как научной, так и практической ценностью. Потенциальными потребителями могут выступить физические или юридические лица, занимающиеся научно-исследовательской или практической деятельностью в области определения эмоций человека.

Главными потребителями настоящей разработки являются компании, которым необходимо получать информацию об эмоциональном состоянии человека. Разнообразие сфер деятельности этих компаний может выглядеть следующим образом: робототехника, систем безопасности (камеры видеонаблюдения, определение состояния водителей, впечатления от рекламы, мониторинг участников видеоконференций и пр.).

Среди компаний, потенциально заинтересованных в настоящей разработке, можно выделить:

- Just AI (Санкт-Петербург);
- Яндекс, Мэйл.ру, ВКонтакте (Москва);
- ООО «Rubius», ООО «Техника дела» (Томск).

### **4.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Важно регулярно проводить анализ рынка и конкурентных решений ввиду высокого темпа изменения технологий и появления новых разработок. Такой анализ позволяет гибко скорректировать научное исследование для успешного конкурентирования с другими производителями. Важно реалистично оценить преимущества и недостатки потенциальных конкурентов.



В качестве такового можно рассмотреть нейросетевой алгоритм FeatEx, разработанный магистранткой ТПУ Кузнецовой А.С. в 2019 году. (в таблице обозначен как «1»).

Разработка, предлагаемая в текущем исследовании, представлена в таблице 4.1 как «2».

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (исследовательских работ).

| Критерии оценки                                         | Вес критерия | Баллы     |           | Конкурентоспособность |            |
|---------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------------------|------------|
|                                                         |              | Б1        | Б2        | К1                    | К2         |
| 1                                                       | 2            | 3         | 4         | 5                     | 6          |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b> |              |           |           |                       |            |
| 1. Быстрота распознавания                               | 0.2          | 3         | 4         | 0.6                   | 0.8        |
| 2. Универсальность                                      | 0.2          | 4         | 3         | 0.8                   | 0.6        |
| 3. Простота использования                               | 0.05         | 4         | 4         | 0.2                   | 0.2        |
| 4. Качество распознавания                               | 0.25         | 4         | 4         | 1                     | 1          |
| 5. Потенциал разработки                                 | 0.1          | 3         | 5         | 0.3                   | 0.5        |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>      |              |           |           |                       |            |
| 1. Доступность                                          | 0.1          | 3         | 5         | 0.3                   | 0.5        |
| 2. Стоимость                                            | 0.1          | 3         | 5         | 0.3                   | 0.5        |
| <b>Итого</b>                                            | <b>1</b>     | <b>24</b> | <b>30</b> | <b>3.5</b>            | <b>4.2</b> |

Пояснения по критериям оценки рассматриваемых конкурентов:

- «универсальность» подразумевает возможность использования разработки совместно с другими методами;
- «доступность» подразумевает открытость разработки (находится ли исходный код в открытом доступе);
- «потенциал разработки» означает возможности по улучшению алгоритма без внесения существенных изменений в его архитектуру.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемый алгоритм наиболее конкурентоспособен в сравнении с другим рассмотренным методом. В первую очередь, такая конкурентоспособность настоящей разработки обусловлена за счет скорости распознавания, потенциала разработки, а также её доступности и стоимости.

## 4.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ проводится для изучения внутренней и внешней сред проекта. Анализ состоит из нескольких этапов.

На первом этапе выявляются сильные и слабые стороны проекта, потенциальные возможности и угрозы:

- Сильные стороны – факторы, положительно влияющие на развитие проекта. Они включают всё, что способствует успешной и конкурентноспособной работе проекта.

- Слабые стороны – недостатки, упущения или ограничения научно-исследовательского проекта, создающие препятствия для достижения его целей.
- Возможности – благоприятные условия в настоящем или будущем, которые появляются в окружающей среде проекта и наращивают спрос на его результаты.
- Угрозы – ситуации или изменения в окружающей среде проекта, способные оказать разрушительное влияние на его конкурентоспособность как в настоящее время, так и в будущем.

На первом этапе SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы его реализации. В таблице 4.2, представленной ниже, описаны эти факторы.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

| <b>Сильные стороны</b>                                                                                                         | <b>Слабые стороны</b>                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| C1. Бесплатное использование                                                                                                   | Сл1. Низкая точность распознавания на дальнем расстоянии от камеры |
| C2. Малое количество параметров при обучении модели                                                                            |                                                                    |
| C3. Малые временные и вычислительные затраты при обучении модели                                                               |                                                                    |
| <b>Возможности</b>                                                                                                             | <b>Угрозы</b>                                                      |
| B1. Обеспечение безопасности в общественных местах путем распознавания негативно настроенных лиц через систему видеонаблюдения | У1. Этические вопросы                                              |
| B2. Потенциально проводимые исследования с применением настоящей разработки                                                    | У2. Ошибочное распознавание определенных классов эмоций            |

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа на основании матрицы SWOT строятся

интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации.

Каждый фактор помечается либо знаком «+», что означает сильное соответствие сильных сторон возможностям; либо знаком «-» - означает слабое соответствие; или «0» - есть сомнения в выборе между знаками «+» и «-».

Полученная интерактивная матрица представлена в таблицах ниже.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны».

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|
| Возможности<br>проекта  |    | C1 | C2 | C3 |
|                         | B1 | +  | -  | -  |
|                         | B2 | -  | +  | +  |
| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |
| Угрозы<br>проекта       |    | C1 | C2 | C3 |
|                         | Y1 | +  | -  | -  |
|                         | Y2 | -  | +  | -  |

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны».

| Слабые стороны проекта |    |     |
|------------------------|----|-----|
| Возможности проекта    |    | Сл1 |
|                        | B1 | -   |
|                        | B2 | -   |
| Слабые стороны проекта |    |     |
| Угрозы проекта         |    | Сл1 |
|                        | Y1 | -   |

|  |    |   |
|--|----|---|
|  | У2 | + |
|--|----|---|

Из полученных результатов можно сделать вывод, что разработанный нейросетевой алгоритм имеет возможности и потенциал для расширения, что, в свою очередь, позволит повысить точность и скорость распознавания эмоционального состояния через системы видеонаблюдения.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Полученная итоговая матрица представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - SWOT-анализ

|                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                       | <b>Сильные стороны проекта:</b><br>С1. Бесплатное использование<br>С2. Малое количество параметров при обучении модели<br>С3. Малые временные и вычислительные затраты при обучении модели                                                                    | <b>Слабые стороны проекта:</b><br>Сл1. Низкая точность распознавания на дальнем расстоянии от камеры                                      |
| <b>Возможности:</b><br>В1. Обеспечение безопасности в общественных местах путем распознавания негативно настроенных лиц через систему видеонаблюдения | Бесплатное использование позволит внедрить настоящую разработку в тестовых целях без каких-либо вложений.<br>Различная информация, напрямую касающаяся процесса обучения модели нейронной сети, позволит проводить исследования в сфере компьютерного зрения. | Низкая точность распознавания на дальнем расстоянии не позволит предоставлять более достоверную информацию о негативно настроенных лицах. |

|                                                                                                    |   |                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| В2. Потенциально проводимые исследования с применением настоящей разработки                        |   |                                                                                                                                                 |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Этические вопросы<br>У2. Ошибочное распознавание определенных классов эмоций | - | Низкая точность распознавания на дальнем расстоянии может отрицательно сказаться на проводимых исследованиях, применяющих настоящую разработку. |

### 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Основополагающими этапами в осуществлении научных исследований являются планирование работ, определение списка задач и оптимальной регламентации рабочего времени среди всех членов команды проекта, включая студента и научного руководителя.

Научный руководитель играет важную роль в процессе, устанавливая вектор работы и направляя студента в реализации поставленных целей, а также оценивая результаты и предоставляя рекомендации. Однако, ответственность за решение поставленных задач лежит на студенте.

Планирование комплекса работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

Воспользуемся классическим методом линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной работы приведен в таблице 4.6:

Таблица 4.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                 | № раб | Содержание работ                                                        | Должность исполнителя         |
|--------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Разработка темы работы         | 1     | Составление и утверждение темы диссертации, утверждение плана-графика.  | Научный руководитель, Инженер |
|                                | 2     | Календарное планирование выполнения диссертации.                        | Инженер, Научный руководитель |
| Теоретические исследования     | 3     | Изучение академической литературы и конкурентных решений в данной сфере | Инженер                       |
|                                | 4     | Изучение программного обеспечения для реализации                        | Инженер                       |
| Экспериментальные исследования | 5     | Составление набора данных для обучения модели                           | Инженер                       |
|                                | 6     | Проектирование архитектуры нейронной сети                               | Инженер, Научный Руководитель |
|                                | 7     | Обучение модели нейронной сети                                          | Инженер                       |
|                                | 8     | Оценивание модели нейронной сети                                        | Инженер                       |
| Оформление отчета              | 9     | Составление пояснительной записки.                                      | Инженер                       |

#### 4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудовые затраты зачастую образуют основную часть стоимости разработки, поэтому необходимо определить трудоемкости работ каждого из участников процесса для точного установления бюджета.

Трудоемкость выполнения оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, зависящий от множества факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (2)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -й работы, чел.-дн.;

$t_{\max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  ой работы, чел.-дн.;

Зная величину ожидаемой трудоемкости, мы можем определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ . При этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для наглядного представления проведения научных работ воспользуемся ленточным графиком в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный график, на котором выполняемые работы представляются протяженными в течение времени отрезками. Отрезки характеризуются датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для начала необходимо произвести перевод длительности каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные дни. Воспользуемся следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4)$$

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



днях;

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} \quad (5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в

году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,4$$

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представлены в таблице 4.7:

Таблица 4.7 – Временные показатели проведения научного исследования

| Этап                                                       | Исполнители | Продолжительность работ, чел. - дни |   |            |    |                 |     | Трудоемкость работ по исполнителям чел. - дни |     |                 |      |
|------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|---|------------|----|-----------------|-----|-----------------------------------------------|-----|-----------------|------|
|                                                            |             | $t_{\min}$                          |   | $t_{\max}$ |    | $t_{\text{ож}}$ |     | $T_{\text{рд}}$                               |     | $T_{\text{кд}}$ |      |
|                                                            |             | НР                                  | И | НР         | И  | НР              | И   | НР                                            | И   | НР              | И    |
| 1. Составление и утверждение темы ВКР                      | И, НР       | 1                                   | 1 | 3          | 3  | 1,8             | 1,8 | 0,9                                           | 0,9 | 1,26            | 1,26 |
| 2. Анализ предметной области                               | И           | -                                   | 7 | -          | 12 | -               | 8   | -                                             | 8   | -               | 11,2 |
| 3. Анализ конкурентных решений                             | И           | -                                   | 5 | -          | 10 | -               | 7   | -                                             | 7   | -               | 9,8  |
| 4. Составление календарного плана графика выполнения работ | И, НР       | 1                                   | 3 | 3          | 5  | 1,8             | 3,8 | 0,9                                           | 1,9 | 1,26            | 2,66 |

|                                                   |       |   |    |   |    |     |      |          |           |          |           |
|---------------------------------------------------|-------|---|----|---|----|-----|------|----------|-----------|----------|-----------|
| 5. Составление набора данных для обучения модели  | И     | - | 8  | - | 16 | -   | 11,2 | -        | 11,2      | -        | 16        |
| 6. Проектирование архитектуры нейронной сети      | И, НР | 5 | 20 | 7 | 30 | 5,8 | 24   | 2,9      | 12        | 4        | 16,8      |
| 7. Обучение модели нейронной сети                 | И     | - | 5  | - | 10 | -   | 7    | -        | 7         | -        | 9,8       |
| 8. Оценивание эффективности работы нейронной сети | И     | - | 6  | - | 12 | -   | 8,4  | -        | 8,4       | -        | 11,76     |
| 9. Защита дипломного проекта                      | И     | - | 1  | - | 1  | -   | 1    | -        | 1         | -        | 1,4       |
| <b>Итого</b>                                      |       |   |    |   |    |     |      | <b>4</b> | <b>60</b> | <b>7</b> | <b>81</b> |

**Примечание:**

И – инженер; НР – научный руководитель.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (рисунок 28).

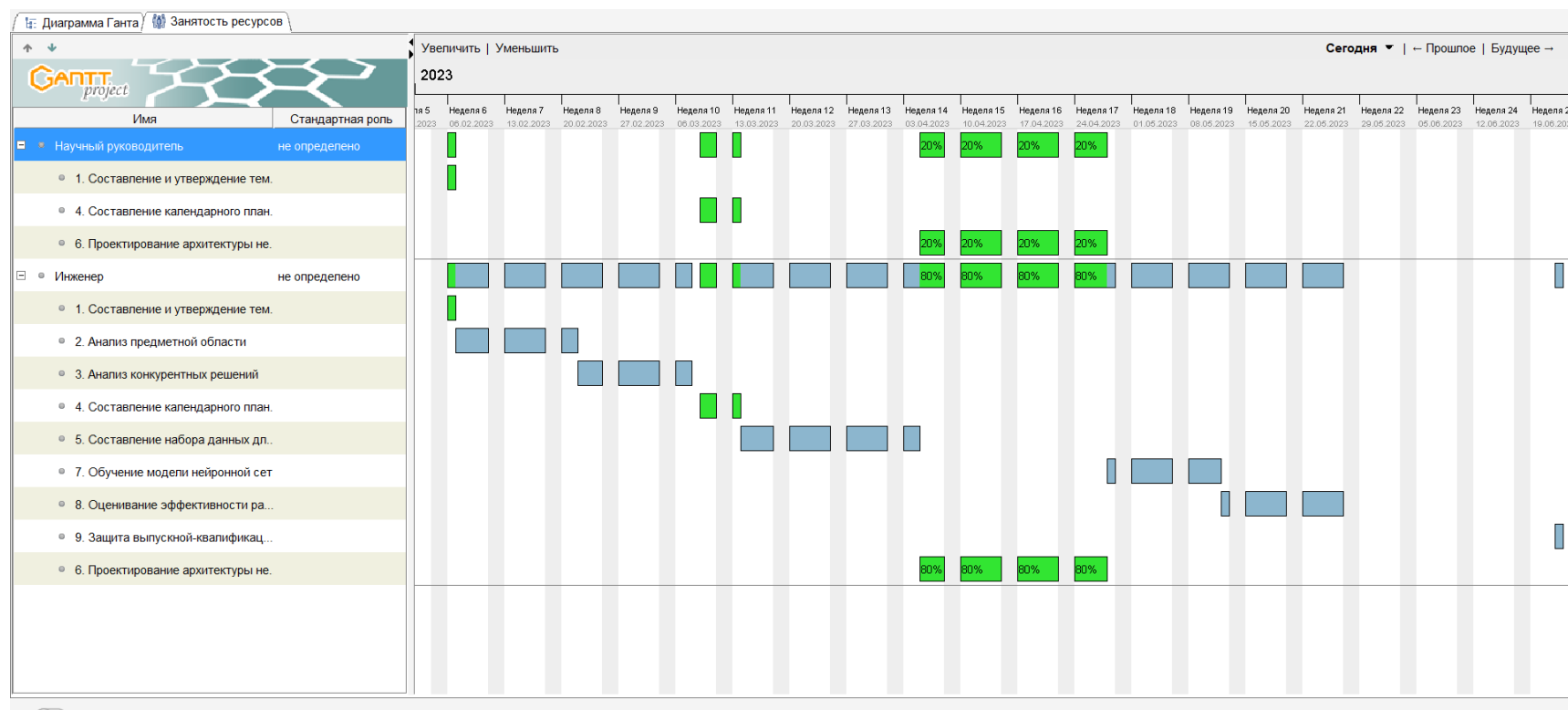


Рисунок 25 – Диаграмма Ганта

На основе диаграммы можно увидеть, что наиболее длительным этапом стало проектирование архитектуры нейронной сети. Этот этап занял 17 календарных дней.

#### **4.3.4 Бюджет научно-технического исследования.**

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовалась следующая группировка затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

##### **4.3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования**

Стоимость 1 кВт\*ч в Томске составляет 3,85 рублей.

Компьютер средней мощности затрачивает 0,25 кВт в час в среднем.

Затраты на электричество =  $0,25 \text{ кВт} * 120 \text{ дней} * 8 \text{ ч} * 3,85 = 924$  рублей.

Помимо электричества, для разработки необходим интернет.

Использовался интернет от компании «Новые телесистемы» с ценой 600 рублей в месяц.

Затраты на интернет =  $600 \text{ рублей} * 4 \text{ месяца} = 2400$  рублей.

Затраты =  $924 \text{ рублей} + 2400 \text{ рублей} = 3324$  рублей

Итого общие материальные затраты на электричество и интернет составили 3324 рублей.

#### 4.3.4.2 Расчет амортизации специального оборудования

В данной части включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Результат расчёта затрат по данной статье представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Расчёт бюджета затрат на приобретение спецоборудования для проведения научных работ

| Наименование           | Единицы | Количество | Цена за 1<br>ед.,<br>тыс. руб. | Общая стоимость оборудования,<br>тыс. руб. |
|------------------------|---------|------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| HONOR MagicBook<br>Pro | Шт.     | 1          | 75                             | 75                                         |
| Стол                   | Шт      | 1          | 5                              | 5                                          |
| Стул                   | Шт      | 1          | 1                              | 1                                          |
| Итого                  |         |            |                                | 81                                         |

В результате проведения расчетов на специальное оборудование для научных работ было определено, что для его приобретения необходимо выделить бюджет в размере 81000 рублей. Общая стоимость оборудования включает в себя ноутбук, стол и стул.

Рекомендуется приобретать оборудование у надежных поставщиков с высокой репутацией на рынке во избежание возможных финансовых рисков и с целью обеспечения качественного оборудования для научных исследований.

#### 4.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя. Помимо этого, необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (6)$$

где  $З_{\text{осн}}$  - основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (7)$$

где  $З_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5–дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6–дневная неделя;

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (8)$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от  $З_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчеты заработной платы представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Расчет основной заработной платы

| №<br>п/п | №<br>этапов | Исполнители<br>по<br>категориям | Трудоемкость,<br>чел.-дн. | Заработная<br>плата,<br>приходящаяся<br>на один чел.-<br>дн., руб. | Всего<br>заработная<br>плата по<br>тарифу<br>(окладам),<br>руб. |
|----------|-------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1        | 1,4,6       | Руководитель                    | 7                         | 2652                                                               | 18564                                                           |
| 2        | 1-9         | Инженер                         | 81                        | 1768                                                               | 143208                                                          |
| Итого:   |             |                                 |                           |                                                                    | 161772                                                          |

Расходы на основную заработную плату для руководителя и инженера составили 161772 рублей.

#### 4.3.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет затрат по дополнительной заработной плате исполнителей работы происходит с учетом величин доплат за отклонение от нормальных условий труда и выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций, предусмотренных Трудовым кодексом РФ.

Расчет производится по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (9)$$

Где  $k_{\text{доп}}$  - коэффициент дополнительной заработной платы. Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Расчет дополнительной заработной платы

| Исполнители             | $З_{\text{осн}}$ , руб. | $k_{\text{доп}}$ , руб. | $З_{\text{доп}}$ , руб. |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Инженер                 | 143208                  | 0,12                    | 17185                   |
| Научный<br>руководитель | 18564                   | 0,12                    | 2227                    |
| Итого:                  |                         |                         | 19412 руб.              |

В результате проведенных расчетов было установлено, что дополнительная заработная плата для инженера и научного руководителя составила 19412 рублей.

#### 4.3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной главе проведен расчет отчислений во внебюджетные фонды. Согласно законодательству РФ, они являются обязательными, а именно, отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС). Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле 10:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}) \quad (10)$$

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

$k_{внеб}$  на 2023 год составляет 30%

Таблица 4.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель             | Основная<br>заработная<br>плата, руб. | Дополнительная<br>заработная<br>плата, руб. | Отчисления во<br>внебюджетные фонды,<br>руб. |
|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Инженер                 | 143208                                | 17185                                       | 48117                                        |
| Научный<br>руководитель | 18564                                 | 2227                                        | 6237                                         |
| $k_{внеб}$              |                                       |                                             | 0,30                                         |
| Итого:                  |                                       |                                             | 54354                                        |



В ходе разработки нейросетевого алгоритма было учтено важное составляющее затрат - отчисления во внебюджетные фонды, общая сумма которых составила 54354 рубля.

#### 4.3.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не вошедшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} * \left( \sum \text{статей} \right) \quad (11)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таблица 4.12 Затраты по статьям

| Статьи затрат                                                   | Сумма, руб |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| Материальные затраты                                            | 3324       |
| Затраты на специальное оборудование                             | 81000      |
| Затраты на основную заработную плату                            | 161772     |
| Затраты на дополнительную заработную плату исполнителям проекта | 19412      |
| Затраты на отчисления во внебюджетные фонды                     | 54354      |
| Коэффициент накладных расходов                                  | 0,16       |
| Накладные расходы                                               | 51178      |

$$Z_{\text{накл}} = (3324 + 81000 + 161772 + 19412 + 54354) * 0,16 = 51178 \text{ руб.}$$

Из проведенных расчетов было выявлено, что накладные расходы при разработке нейросетевого алгоритма составили 51178 рублей.

#### **4.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы**

В данной главе рассчитывается величина затрат научно-исследовательской работы.

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 4.13:

Таблица 4.13 – Бюджет НИР

| <b>Наименование статьи</b>                                                   | <b>Сумма, руб.</b> |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. Материальные затраты НИР                                                  | 3324               |
| 2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 81000              |
| 3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы                    | 161772             |
| 4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы              | 19412              |
| 5. Отчисления во внебюджетные фонды                                          | 54354              |
| 6. Накладные расходы                                                         | 51178              |
| <b>Бюджет НИР:</b>                                                           | <b>371039</b>      |

В результате расчета бюджета было установлено, что общая сумма затрат составляет 371039 рублей. Однако, учитывая важность исследования, его потенциальную значимость и возможные практические результаты, можно сделать вывод о том, что такие вложения будут оправданы.

#### **4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Для определения эффективности исследования рассчитывается интегральный показатель эффективности научного исследования путем

определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} (12)$$

где  $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности может быть вычислен по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i (13)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – оценка i-го варианта исполнения разработки, выраженная в баллах,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Объект исследования/<br>критерий               | Весовой<br>коэффициент | Исп.1 |
|------------------------------------------------|------------------------|-------|
| Способствует росту труда<br>производительности | 0,25                   | 3     |
| Удобство в эксплуатации                        | 0,25                   | 5     |
| Помехоустойчивость                             | 0,1                    | 4     |
| Энергосбережение                               | 0,1                    | 5     |
| Надежность                                     | 0,2                    | 4     |

|                  |     |     |
|------------------|-----|-----|
| Материалоемкость | 0,1 | 4   |
| Итого            | 1   | 4,6 |

$$I_{p-исп.1} = 0,25 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 4,1;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности, равный 4,6 баллов из 5, говорит о том, что разработка нейросетевого алгоритма распознавания эмоционального состояния человека была выполнена с высоким уровнем эффективности использования ресурсов.

Такой высокий интегральный показатель возможен благодаря комплексному подходу к разработке алгоритма, анализу конкурентов, использованию современных технологий и инструментов разработки.

Этот результат говорит о том, что разработчик системы обладает высокой квалификацией и опытом работы. Это будет способствовать увеличению конкурентоспособности продукта.

### **Вывод по разделу:**

В ходе работы с разделом «Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были выполнены следующие задачи:

- проведен экономический анализ проекта;
- рассчитаны различные затраты и зарплатные отчисления;
- составлен SWOT анализ;
- выявлены сильные и слабые стороны проекта;
- выявлены конкуренты;
- составлен календарный рейтинг-план с расчетом трудозатрат;
- построена диаграмма Ганта.

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Область применения алгоритма - системы компьютерного зрения и распознавания образов.

Алгоритм решает задачу автоматического распознавания эмоционального состояния человека на видеопоследовательности.

Программная реализация алгоритма может быть использована в сфере компьютерного зрения, в мобильных и десктопных приложениях, а также в системах видеонаблюдения.

Рабочей зоной является офис площадью 24 м<sup>2</sup>. В офисе располагается компьютер для разработки алгоритма. Рабочим процессом в офисном помещении является разработка алгоритма.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Трудовой кодекс РФ регулирует отношения между организациями и их сотрудниками, в таких вопросах как: оплата и нормирование труда, наличие выходных, отпусков и так далее.

Согласно статье 91 Трудового Кодекса РФ «Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени» работодатель не должен заставлять своих подчинённых работать больше 40 часов в неделю.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», для категории работающих 1а оптимальная температура в помещении должна быть в пределах от +22 °С до +24 °С

Согласно ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя» рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей

свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса.

В соответствии с законом об информации, информационных технологиях и о защите информации работодатель не должен собирать, хранить, использовать и распространять информацию о частной жизни своих работников без их письменного согласия.

В соответствии с законом о коммерческой тайне, работодатель должен обеспечить своих работников условиями для соблюдения установленного режима коммерческой тайны. Результаты труда работников являются коммерческой тайной.

## **5.2 Производственная безопасность**

Условия труда, в которых разрабатывается алгоритм, в том числе устройства, с помощью которых осуществляется разработка алгоритма, могут вызвать появление вредных и опасных факторов производства.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003–2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» при разработке алгоритма могут возникнуть факторы, представленные в таблице ниже:

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные производственные факторы в офисе

| Факторы                                                         | Нормативные документы                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Вредные факторы</b>                                          |                                                                                                           |
| Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения | СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.<br><br>Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* |
| Повышенная пульсация светового потока                           |                                                                                                           |

|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Нервно-психические перегрузки, связанные с напряжённостью трудового процесса                                                                        | Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 19.12.2022)                                                |
| Статические перегрузки, связанные с рабочей позой                                                                                                   | Приказ Минтруда России от 29 октября 2021 г. № 774н «Об утверждении общих требований к организации безопасного рабочего места» |
| Опасные факторы                                                                                                                                     |                                                                                                                                |
| Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий | ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов                       |

### **5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

#### **5.3.1 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения**

Основной причиной возникновения данного вредного фактора является вредное воздействие освещения или недостаточное освещение рабочей зоны.

Освещение рабочего места, которое не удовлетворяет нормам может затруднять длительную работу так, как вызывает высокое утомление работников и способствует развитию нарушений зрения.

Нормы освещённости кабинетов, рабочих комнат, офисов и представительств указаны в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*».

Работа за персональным компьютером является работой высокой точности, так как наименьший размер объекта различения - размер одного пикселя монитора, равный 0,297 мм. Ниже приведены требования к освещению для данного типа работы.

Таблица 5.2 - Требования к освещению в офисе

| Характеристика зрительной работы | Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм | Искусственное освещение                                                              |                                 |                                       |                                                         |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                  |                                                            | Средняя освещённость на рабочей поверхности от системы общего освещения лк, не менее | Цилиндрическая освещённость, лк | Объединённый показатель UGR, не более | Коэффициент пульсации и освещённости $K_n\%$ , не более |
| Очень высокой точности           | От 0,15 до 0,30                                            | 750                                                                                  | 150                             | 16                                    | 10                                                      |

В офисах, где используются персональные компьютеры, освещение должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Кроме этого, окна в офисе должны располагаться на севере или северо-востоке.

### 5.3.2 Повышенная пульсация светового потока

Причинами возникновения таких вредных факторов могут быть источники света, питаемые переменным или импульсным током.

При недолгом влиянии этого фактора чаще всего у работников появляется усталость органов зрения, может снизиться внимания,



замедление активности мозга, также может быть тошнота и нарушение пищеварения. При долгом влиянии последствия для организма могут быть более критическими, например: бессонница, депрессия, патологии ЖКТ и органов зрения. В своде правил о естественном и искусственном освещении сказано, что коэффициент пульсации освещённости рабочей поверхности не должен превышать 20 процентов.

Использование источников света с коэффициентом пульсации меньше указанного ранее значения позволит избежать воздействия данного фактора на работников.

### **5.3.3 Нервно-психические перегрузки, связанные с напряжённостью трудового процесса**

Данный вредный фактор отражает такое состояние организма человека, при котором происходит снижение эффективности труда на неопределённый промежуток времени, зачастую он проявляется неожиданно после совершения какой-либо работы.

Чтобы снизить влияние этого фактора на работников, работодателю следует предусмотреть перерывы во время рабочего дня для своих подчинённых. А работнику, в свою очередь, нужно правильно использовать время отдыха и работы, стараться ложиться спать в одно и то же время и заниматься спортом.

### **5.3.4 Статические перегрузки, связанные с рабочей позой**

Данный фактор, чаще всего связан с рабочей позой, и зачастую может возникать из-за неправильного оснащения рабочего места, к примеру стул у работников на рабочем месте не даёт регулировать высоту или наклон спинки. Чтобы устранить влияние этого фактора, работодателю следует руководствоваться приказом Минтруда России об организации безопасного

рабочего места. Рабочее место работников должно быть оборудовано креслом с возможностью регулировки его высоты и наклона спинки.

### **5.3.5 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий**

В процессе работы над алгоритмом у работников могут появиться травмы от воздействий электрического тока. Такое воздействие, чаще всего, может привести к серьёзным ожогам частей тела или даже к смерти, что является плохим результатом для работодателя. Поражение током может произойти в результате того, что работник случайно или намеренно прикасается к составляющим техники, на которых появилось напряжение или остался заряд тока. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц, соответственно – 2 В и 0,4 мА, для постоянного тока – 8 В и 1 мА.

Для обеспечения гарантии защиты своих работников работодателю нужно использовать оградительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления.

## **5.4 Экологическая безопасность**

В процессе разработки алгоритма может произойти загрязнение гидросферы и атмосферы нашей планеты.

Компьютеры, используемые для разработки алгоритма, имеют ограниченный срок службы и относятся к опасным отходам. Согласно приказу Минприроды России «Об утверждении требований при обращении с группами однородных отходов I-V классов опасности» компаниям и индивидуальным предпринимателям было запрещено утилизировать

компьютерную технику в мусорные баки. Поэтому для того, чтобы свести воздействие на гидросферу и атмосферу к наиболее возможному минимуму, следует передавать компьютерную технику на утилизацию в специализированные центры.

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

Выпускная квалификационная работа по разработке нейросетевого алгоритма проходила в офисе. Ниже перечислены все возможные ЧС:

1. Техногенные (пожары).
2. Природные (землетрясения).

В процессе разработки алгоритма ввиду необходимости использования персонального компьютера наиболее возможной ЧС является пожар, случившийся из-за поломки оборудования или нарушения техники безопасности. В ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования» описаны нормы пожарной безопасности, которые необходимо соблюдать при работе за компьютером:

- Работы за персональным компьютером должны проводиться только при полностью исправном состоянии оборудования и электропроводки;
- В офисе должны быть установлены огнетушители;
- В офисе должны быть предусмотрены эвакуационные выходы и обеспечено беспрепятственное движение людей к ним.

В случае возникновения пожара работникам необходимо:

- Необходимо немедленно сообщить по телефону о пожаре в пожарную охрану;
- Оповестить о пожаре всех работников;
- Принять меры по эвакуации людей, тушению пожара, сохранению материальных ценностей.

В соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. От 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», потенциальный возникший пожар будет относиться к классу А – пожары твёрдых горючих веществ и материалов. В офисе нужно предусмотреть следующие первичные средства пожаротушения: огнетушитель, пожарный кран (на этаже), покрывало для изоляции очага возгорания.

### **Вывод по разделу**

В данном разделе были рассмотрены организационные и правовые нормы обеспечения безопасности при разработке алгоритма. Были проанализированы наиболее возможные опасные и вредные факторы производства, а также были приведены меры по снижению их воздействия.

Офис, в котором разрабатывается алгоритм, соответствует 1-й категории по электробезопасности. Персонал в офисе относится к I группе по электробезопасности. Категория тяжести труда при разработке алгоритма – Ia. В помещении обращаются горючие и трудногорючие вещества и материалы, которые горят без образования взрывоопасных смесей и только при контакте с кислородом или водой и имеют категорию В4 пожароопасности. Данный объект не оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду и соответствует критериям нормативной документации. Исходя из этого, его невозможно отнести к какой-либо категории по этому фактору.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках написания выпускной квалификационной работы был проведен аналитический обзор существующих на текущий момент сверточных нейронных сетей. Для решения поставленной задачи разработан нейросетевой алгоритм распознавания эмоционального состояния человека по изображениям его лица и выполнены следующие задачи:

- Анализ предметной области;
- Сборка датасета для обучения модели;
- Проектирование архитектуры нейронной сети;
- Обучение и тестирование модели.

Алгоритм представляет собой нейронную сеть, содержащую пропускные соединения с целью решения проблемы затухающего градиента.

Разработка нейросетевого алгоритма, решающего рассмотренную задачу, позволила получить навыки в сфере машинного и глубокого обучения.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что разработанная модель справляется с поставленной задачей, однако, для более точного распознавания с меньшими временными затратами необходимо повышение точности до показателей, превышающих 95%.

В перспективе планируется повышение эффективности настоящей разработки путем гибкой настройки параметров сети и расширения имеющегося набора данных с добавлением классов новых эмоций и углов обзора.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Немов Р.С. Психология: Учебное пособие для вузов. Кн.1 Общие основы психологии / Немов Р.С. – 3-е изд. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. - 688 с.
2. Спицын В.Г. Интеллектуальные системы: Учебное пособие / Спицын В.Г., Цой Ю.Р. – Томск: Изд-во Томского Политехнического Университета, 2021 – 176 с.
3. Цуканова Н.И. Программирование глубоких нейронных сетей на языке Python: Учебное пособие / Цуканова Н.И. – Москва: КУРС, 2022. – 224 с.
4. Цуканова Н.И. Программирование глубоких нейронных сетей на языке Python: Учебное пособие / Цуканова Н.И. – Москва: КУРС, 2022. – 224 с.
5. Цуканова Н.И. Программирование глубоких нейронных сетей на языке Python: Учебное пособие / Цуканова Н.И. – Москва: КУРС, 2022. – 224 с.
6. Спицын В.Г. Интеллектуальные системы: Учебное пособие / Спицын В.Г., Цой Ю.Р. – Томск: Изд-во Томского Политехнического Университета, 2021 – 176 с.
7. Цуканова Н.И. Программирование глубоких нейронных сетей на языке Python: Учебное пособие / Цуканова Н.И. – Москва: КУРС, 2022. – 224 с.
8. LeNet [Электронный ресурс]: статья. - URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/LeNet> (Дата обращения: 09.03.2023)
9. AlexNet – сверточная нейронная сеть для классификации изображений [Электронный ресурс]: статья. – 2018. – URL: <https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/alexnet-svjortohnaja-nejronnaja-set-dlja-raspoznavanija-izobrazhenij/> (Дата обращения: 09.03.2023)

10. VGG Very Deep Convolutional Networks (VGGNet) – What you need to know [Электронный ресурс]: статья. – URL: <https://viso.ai/deep-learning/vgg-very-deep-convolutional-networks/>

11. Understanding GoogLeNet Model – CNN Architecture [Электронный ресурс]: статья. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/understanding-googlenet-model-cnn-architecture/> (Дата обращения: 09.03.2023)

12. ResNet (34, 50, 101): «остаточные» CNN для классификации изображений [Электронный ресурс]: статья. – URL: <https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/resnet-34-50-101/> (Дата обращения: 12.03.2023)

13. Введение в ResNet [Электронный ресурс]: статья. – URL: <https://machinelearningmastery.ru/introduction-to-resnets-c0a830a288a4/> (Дата обращения: 15.03.2023)

14. Реализуем и сравниваем оптимизаторы моделей в глубоком обучении [Электронный ресурс]: статья. – URL: <https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/525214/> (Дата обращения: 28.04.2023)

15. Keras [Электронный ресурс]: статья. – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/keras/> (Дата обращения: 04.05.2023)

16. OpenCV [Электронный ресурс]: статья. – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/opencv/> (Дата обращения: 05.05.2023)

17. Tensorflow [Электронный ресурс]: статья. – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/tensorflow/> (Дата обращения: 05.05.2023)