

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

Инженерная школа Информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки Информационные системы и технологии  
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

|  |
|--|
| Тема работы  |
| Анализ состояния ЦНС с использованием метода пупиллометрии |

УДК 616-079:617.721.3

Студент

| Группа | ФИО                  | Подпись | Дата |
|--------|----------------------|---------|------|
| 8ИМ8М  | Шубкин Егор Олегович |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность  | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОИТ | Пономарев А.А. | К.Т.Н.                 |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность  | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ООД | Горбенко М.В. | К.Т.Н.                 |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОИТ       | Пономарев А.А. | К.Т.Н.                 |         |      |

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

| Код результатов  | Результат обучения  |
|--|---|
| <b>Общие компетенции по направлению подготовки (специальности)</b> |   |
| P1   | Применять глубокие математические и профессиональные знания основ построения информационных технологий и систем, достаточные для решения научных и профессиональных задач производства. Знать современные проблемы и методы прикладной информатики и научно-технического развития информационно-коммуникационных технологий.  |
| P2   | Ставить и решать инновационные задачи анализа с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности и определять методы и средства их эффективного решения, формализовывать задачи прикладной области. Применять полученные знания для решения нечетко определенных профессиональных задач, стоящих в области внедрения новейших технологий в сфере прикладной информатики.                         |
| P3   | Выполнять инновационные проекты с применением глубоких и принципиальных знаний, оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества в условиях жестких экономических, экологических, социальных и других ограничений. Применять современные методы и инструментальные средства прикладной информатики для автоматизации и информатизации решения прикладных задач различных классов и создания ИС.                     |
| P4   | Проводить инновационные профессиональные исследования, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, сложный эксперимент, формулировку выводов в условиях неоднозначности с применением глубоких и принципиальных знаний и оригинальных методов для достижения требуемых результатов. Способен проводить маркетинговый анализ ИКТ и вычислительного оборудования для рационального выбора инструментария автоматизации и информатизации прикладных задач. |
| P5   | Способен организовывать работы по моделированию прикладных ИС и реинжинирингу прикладных и информационных процессов предприятия и организации. Способен управлять проектами по информатизации прикладных задач и созданию ИС предприятий и организаций.   |
| P6   | Способен использовать передовые методы оценки качества, надежности и информационной безопасности ИС в процессе эксплуатации прикладных ИС; использовать международные информационные ресурсы и стандарты в информатизации предприятий и организации; использовать информационные сервисы для автоматизации прикладных и информационных процессов; интегрировать компоненты и сервисы информационных систем.   |
| P7   | Демонстрировать знание о формах организации образовательной и научной деятельности в высших учебных заведениях, иметь навыки преподавательской работы. Иметь представление о формах управления в отрасли здравоохранения.   |

Окончание таблицы

| Код результатов                  | Результат обучения   |
|----------------------------------|--|
| <b>Универсальные компетенции</b> |  |
| P8                               | Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности. Способен использовать углубленные знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. |
| P9                               | Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.          |
| P10                              | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.   |
| P11                              | Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.   |

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

Инженерная школа Информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (специальность) Информационные системы и технологии  
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Пономарев А.А.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО                     |
|--------|-------------------------|
| 8ИМ8М  | Шубкину Егору Олеговичу |

Тема работы:

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Анализ состояния ЦНС с использованием метода пупиллометрии |                            |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                | №59-105/с от 28.02.2020 г. |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 22.06.2020 |
|--|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Объектом исследования выпускной квалификационной работы является метод пупиллометрии.</p> |
|---|--|

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <p>Аналитический обзор по методу пупиллометрии.<br/>         Реализация алгоритма детектирования размера зрачка в видеопотоке;<br/>         Эксперимент и анализ точности определения зрачка.<br/>         Описание раздела финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.<br/>         Описание раздела социальной ответственности.</p> |
|--|--|

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>Презентация в формате *.pptx.</p> |
|--|--------------------------------------|

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

| Раздел  | Консультант                   |
|---|-------------------------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Конотопский В.Ю., доцент ОСГН |
| Социальная ответственность                                      | Горбенко М.В., доцент ООД     |
| Английский язык   | Диденко А.В., доцент ОИЯ      |

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

|  |                   |
|--|-------------------|
| <p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p> | <p>16.03.2020</p> |
|--|-------------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность  | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОИТ | Пономарев А.А. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                  | Подпись | Дата |
|--------|----------------------|---------|------|
| 8ИМ8М  | Шубкин Егор Олегович |         |      |

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

Студенту:

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              |
| 8ИМ8М         | Шубкину Егору Олеговичу |

|                            |  |                                  |   |
|----------------------------|--|----------------------------------|---|
| <b>Школа</b>               | Инженерная школа информационных технологий и робототехники | <b>Отделение</b>                 | Информационных технологий                       |
| <b>Уровень образования</b> | Магистр  | <b>Направление/специальность</b> | 09.03.02<br>Информационные системы и технологии |

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

|   |  |
|---|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих. | Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию. |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов.   | —  |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.                                  | Действующие ставки единого социального налога и НДС (см. МУ).  |

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

|   |   |
|---|---|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. | Проведение предпроектного анализа.  |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований.  | Построение плана-графика выполнения НИ, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата НИ. |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.        | Определение экономической эффективности НИ.   |

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

1. График проведения и бюджет НИ
2. Перечень работ и продолжительность их выполнения
3. Оценка экономической эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

|                  |                  |                               |                |             |
|------------------|------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>       | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент ОСГН      | Конотопский В.Ю. | к.э.н.                        |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                      |                |             |
|---------------|----------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>           | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 8ИМ8М         | Шубкин Егор Олегович |                |             |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|                 |                                |
|-----------------|--------------------------------|
| Группа<br>8ИМ8М | ФИО<br>Шубкину Егору Олеговичу |
|-----------------|--------------------------------|

|                     |  |                           |   |
|---------------------|--|---------------------------|---|
| Школа               | Инженерная школа информационных технологий и робототехники | Отделение (НОЦ)           | Информационных технологий                       |
| Уровень образования | Магистр  | Направление/специальность | 09.03.02<br>Информационные системы и технологии |

Тема ВКР:

|   |   |
|---|---|
| Анализ состояния ЦНС с использованием метода пупиллометрии.   |   |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |   |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.   | Целью выпускной квалификационной работы является изучение метода оценки состояния нервной системы с помощью оценки динамики изменения размера зрачков при возникновении внешних раздражителей и разработка программно-аппаратного комплекса, целью которого является получение данных динамики этого процесса.  |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |   |
| <b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b><br>1.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.<br>1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.  | 1.1 Описание правовых норм для работ, связанных с работой за ПК согласно следующим документам:<br>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015).<br>1.2 Влияние реализации проекта на организацию рабочего места медицинского сотрудника, как пользователя ПК.   |
| <b>2. Профессиональная социальная безопасность:</b><br>2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.<br>2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.<br>2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов. | 2.1 Вредные производственные факторы, создаваемые объектом исследования:<br>– Электромагнитные излучения.<br>Опасные производственные факторы, создаваемые объектом исследования:<br>– Поражение электрическим током.<br>Вредные производственные факторы, возникающие на рабочем месте:<br>– Микроклимат;<br>– Освещенность;<br>– Монотонность работы.<br>Опасные производственные факторы, возникающие на рабочем месте:<br>– Возникновение пожара. |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>2.2 Мероприятия по защите от вредных факторов согласно нормативным документам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- СанПиН 2.2.4.548-96;</li> <li>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</li> <li>- СП 52.13330.2011.</li> </ul> <p>Мероприятия по защите от опасных факторов согласно нормативным документам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</li> <li>- ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ;</li> <li>- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.</li> </ul>  |
| <p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p> <p>3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</p> <p>3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.</p> <p>3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>  | <p>3.1 Влияние объекта исследования на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Утилизация аккумуляторных батарей.</li> </ul> <p>3.2 Влияние процесса исследования на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Утилизация люминесцентных ламп.</li> </ul> <p>3.3 Мероприятия по защите окружающей среды согласно нормативным документам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- СанПиН 2.1.7.1322-03;</li> <li>- Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 N 681 (ред. от 01.10.2013).</li> </ul> |
| <p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <p>4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.</p> <p>4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.</p> <p>4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</p> | <p>4.1 Вероятные ЧС, инициируемые объектом исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Пожар.</li> </ul> <p>4.2 Вероятные ЧС, возникающие на рабочем месте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Пожары и взрывы;</li> <li>- Обрушение зданий;</li> <li>- Ураганы, ливни, заморозки;</li> <li>- Наводнения, паводки;</li> <li>- Эпидемии;</li> </ul> <p>4.3 Мероприятия по предотвращению ЧС согласно нормативным документам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- НПБ 105-03;</li> <li>- ППБ 01-03.</li> </ul>         |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность  | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ООД | Горбенко М.В. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                  | Подпись | Дата |
|--------|----------------------|---------|------|
| 8ИМ8М  | Шубкин Егор Олегович |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 118 с., 28 рис., 19 табл., 39 источников, 1 прил.

Ключевые слова: пупиллометрия, центральная нервная система, глаз, зрачок.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является метод пупиллометрии.

Цель работы – разработка программно-аппаратного комплекса для проведения исследования методом пупиллометрии.

В первой главе исследования приведен исторический обзор исследования глаза и зрачка, метода пупиллометрии. Обоснована эффективность рассматриваемого метода. Рассмотрены существующие решения на рынке.

Во второй главе приведен анализ аппаратного обеспечения, обоснован выбор актуальной конфигурации оборудования.

В третьей главе проведен сравнительный анализ алгоритмов, их составляющих и решений для регистрации параметров зрачка человека. Предложена последовательность для алгоритма оптимального определения зрачка человека на поступающих изображениях видеопотока в реальном времени. Проведена оценка точности работы алгоритма.

В результате исследования был реализован программно-аппаратный комплекс для детектирования параметров зрачка бесконтактным методом для проведения анализа динамики параметров зрачков.

Область применения: возможность применения в различных областях, таких как мониторинг состояния организма в предсменном осмотре, анализ усталости водителя.

Экономическая эффективность работы заключается в конечной стоимости единицы разработанного программно-аппаратного комплекса, выгодно выделяющейся среди конкурентных решений.

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

**ЦНС** – Центральная Нервная Система;

**ИК** – Инфракрасный;

**CV** – Computer Vision;

**DN** – Диаметр начальный;

**TL** – Латентный период сужения;

**AC** – Амплитуда сужения;

**TC** – Время сужения;

**VC** – Скорость сужения;

**TLR** – Латентный период расширения;

**TR** – Время расширения;

**VR** – Скорость расширения;

**T** – Общее время реакции.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 14 |
| 1 Обзор литературы .....   | 18 |
| 1.1 Исторический обзор изучения глаза и зрачка.....                  | 18 |
| 1.2 Глаз как объект распознавания .....                              | 18 |
| 1.3 Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики.....        | 20 |
| 1.4 Пупиллографические показатели.....                               | 21 |
| 1.5 Пупилломоторные симптомы.....                                    | 24 |
| 1.6 Существующие решения.....  | 26 |
| 1.7 Выводы к главе .....   | 29 |
| 2 Анализ составляющих разрабатываемой системы.....                   | 31 |
| 2.1 Выявление функциональных требований .....                        | 31 |
| 2.2 Анализ технических характеристик устройства.....                 | 33 |
| 2.2.1 Подсветка зрачка .....   | 34 |
| 2.2.2 Разрешение камеры .....  | 37 |
| 2.2.3 Фокусное расстояние камеры.....                                | 39 |
| 2.3 Частота кадров .....   | 40 |
| 2.4 Итоговое устройство для получения видеоряда.....                 | 40 |
| 2.5 Анализ смежных способов применения разрабатываемого модуля ..... | 42 |
| 2.5.1 Аутентификация по радужке глаз.....                            | 42 |
| 2.5.2 Тепловая карта интерфейса .....                                | 42 |
| 2.5.3 Отслеживание позы человека на кресле .....                     | 43 |
| 2.5.4 Система контроля усталости водителя.....                       | 43 |
| 2.6 Выводы к главе .....   | 44 |
| 3 Программная реализация .....                                       | 45 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.1   | Алгоритмы и методы выделения лица и глаз .....  | 45 |
| 3.1.1 | Оптимизации алгоритма .....   | 50 |
| 3.2   | Алгоритмы и методы выделения зрачка в видеопотоке .....   | 52 |
| 3.2.1 | Детектор границ Кенни и методология Хафа;.....  | 52 |
| 3.2.2 | Бинаризация изображения;.....   | 55 |
| 3.2.3 | Определение границ зрачка на бинарном изображении .....   | 57 |
| 3.3   | Оценка точности алгоритма определения границ зрачка.....  | 60 |
| 3.4   | Анализ ошибок.....  | 63 |
| 3.5   | Выводы к главе .....  | 66 |
| 4     | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение   | 67 |
| 4.1   | Организация и планирование работ .....  | 67 |
| 4.1.1 | Продолжительность этапов работ .....  | 68 |
| 4.1.2 | Разработка графика проведения научного исследования.....  | 69 |
| 4.2   | Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....   | 75 |
| 4.2.1 | Расчет затрат на материалы .....  | 75 |
| 4.2.2 | Расчет заработной платы.....  | 76 |
| 4.2.3 | Расчет затрат на социальный налог .....   | 77 |
| 4.2.4 | Расчет затрат на электроэнергию .....   | 77 |
| 4.2.5 | Расчет амортизационных расходов.....  | 78 |
| 4.2.6 | Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных<br>(расчетных) документов (кроме суточных) ..... | 79 |
| 4.2.7 | Расчет прочих расходов.....   | 80 |
| 4.2.8 | Расчет общей себестоимости разработки .....   | 80 |
| 4.2.9 | Расчет прибыли .....  | 80 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.2.10 | Расчет НДС .....   | 81  |
| 4.2.11 | Цена разработки ВКР .....  | 81  |
| 4.3    | Оценка экономической эффективности проекта .....                                   | 81  |
| 5.     | Социальная ответственность .....   | 85  |
| 5.1.   | Введение .....   | 85  |
| 5.2.   | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....                  | 86  |
| 5.2.1. | Правовые нормы трудового законодательства для рабочей зоны<br>пользователя ПК..... | 86  |
| 5.2.2. | Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....                      | 86  |
| 5.3.   | Профессиональная социальная безопасность.....                                      | 88  |
| 5.3.1. | Анализ вредных производственных факторов .....                                     | 89  |
| 5.3.2. | Анализ опасных производственных факторов .....                                     | 97  |
| 5.3.3. | Мероприятия и рекомендации по устранению и минимизации .....                       | 98  |
| 5.4.   | Экологическая безопасность .....   | 100 |
| 5.5.   | Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....  | 101 |
| 5.6.   | Заключение .....   | 103 |
|        | ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 104 |
|        | Список публикаций.....   | 105 |
|        | Список использованных источников .....   | 106 |
|        | Приложение А .....   | 111 |

## ВВЕДЕНИЕ

Существует множество причин, оказывающих значительное влияние на отклонение от нормы в функционировании центральной нервной системы. К ним относятся множество факторов, такие как банальная физическая или эмоциональная усталость, утомленность человека, протекающие внутри болезни, которые затрагивают функции нервной системы, внешние факторы и раздражители, влияющие на когнитивные функции нервной системы. Однако самой распространенной причиной отклонения от нормы функционирования ЦНС является преднамеренное употребление веществ, оказывающие значительное влияние на скорость прохождения нервных импульсов, меняющие и затмевающие сознание. К таким веществам относятся наркотические вещества в самых различных проявлениях, алкогольные напитки и другие отравляющие вещества.

Для каждой из причин существует ряд признаков, отражающих то или иное воздействие различных веществ. Например, для состояния алкогольного опьянения известны субъективные признаки – запах, специфичная для опьянения вид и манера речи, неустойчивая работа органов вестибулярного аппарата, отражающиеся в искаженном ощущении окружающего пространства и положения в нем. Так и объективные признаки, используемые для диагностики факта алкогольного опьянения – анализ крови на наличие алкоголя, анализ выдыхаемого воздуха легкими на наличие паров алкоголя.

Для состояния наркотического опьянения так же известны субъективные признаки, схожие с состоянием алкогольного опьянения, такие как специфичное поведение, искажение окружающего пространства и положения в нем. Причиной таких признаков является воздействие наркотических веществ на центральную нервную систему.

В практической наркологии используется множество методов выявления состояний интоксикаций. К ним относятся:

- химический токсикологический анализ биоматериала;

- иммунохроматографический анализ мочи;
- тест с использованием препарата налоксон;
- оценка на основе клинических признаков.

Для всех перечисленных методов диагностики необходимы:

- взятие проб биоматериала (для анализа мочи, крови, и др.);
- тест-системы, реагенты и реактивы;
- различные приборы;
- инъекции;
- значительные затраты ресурсов и времени.

Методы объективного обследования на наличие алкогольных и наркотических веществ устанавливают факт их употребления у обследуемого, но требуют, как минимум, контакта с проводящим обследование персоналом, занимают значительное время на проведение анализа и используют только контактный метод обследования. Например, для забора крови требуется медицинский персонал, обладающий соответствующими компетенциями и дорогостоящее оборудование с реагентами, используемыми в процессе анализа крови.

В случае с анализом выдыхаемых паров при использовании контактных алкотестеров, от обследуемого требуется непосредственный контакт с оборудованием, проводящим анализ, что требует в свою очередь сменные стерильные мундштуки (расходный материал для данного типа исследования). Использование бесконтактного оборудования обнаружения выдыхаемых паров так же требует замену мундштука при его загрязнении.

Каждый из перечисленных анализов способен выявлять факт наличия в организме алкоголя, достаточного для возникновения алкогольного опьянения, которое в свою очередь влияет на состояние центральной нервной системы и вызывает все те симптомы, связанные с ним.

В случае если наблюдаются признаки наркотического опьянения, прибегают только к лабораторным анализам крови, которые имеют те же особенности, что и методы объективного анализа содержания алкогольного опьянения, а именно – требуется физическое присутствие медицинского персонала, оборудование для анализа, значительные временные ресурсы с момента начала проведения анализа до момента получения результатов.

Очевидным является факт влияния подобных веществ на центральную нервную систему. В таком случае, оценив именно состояние нервной системы, а не возможные причины нарушения ее функций, можно сделать вывод об общем состоянии человека и признанием его пригодности к адекватному выполнению возложенных на него обязанностей.

Существует множество вербальных, объективных и субъективных методов оценки состояния центральной нервной системы человека. Почти все методы ориентированы на оценку при непосредственном физическом присутствии как проводящего оценку персонала, так и человека – объекта исследования. Однако существует доступный и объективный индикатор состояния центральной нервной системы, оценив который, с высокой долей вероятности, можно судить о наличии отклонений в его работе. Таким индикатором является реакция зрачка человека на внешний световой раздражитель. Метод, основанный на регистрации параметров изменения диаметра зрачка во времени, называется пупиллометрия.

В связи с высоким темпом развития компьютерных технологий активно развивается технология обработки изображений и компьютерного зрения. Современное исследование методом пупиллометрии проводится с использованием электронного пупиллометра. В ходе проведения исследования на сетчатку глаза подается световой раздражитель, на который зрачок реагирует изменением размера. Данные о размере зрачка регистрируются цифровой камерой и обрабатываются компьютером, где выделяется область зрачка и строится график изменения диаметра во времени.

Существует множество исследований, показывающие высокую точность и информативность показателей оценки состояния ЦНС методом пупиллометрии [11, 12, 13, 14, 15]. Более того, метод пупиллометрии позволяет оценить состояние вегетативных регуляций, адаптационных возможностей и степени истощения организма [16]. Реакция зрачка глаза на любые внешние раздражители является безусловным рефлексом организма, что означает исключение возможности контроля такого поведения корой головного мозга, то есть сознанием. Такое свойство пупиллометрии является важным фактором объективности исследования, так как практически отсутствует возможность намеренной подделки результатов исследования. Исследование методом пупиллометрии является простым и доступным способом оценки широкого спектра физиологических процессов. Однако главная сложность заключается в регистрации и математической обработке рефлекса, связанной с тем, что предмет регистрации (динамика размера зрачка) отличается относительно малыми размерами объекта и большой скоростью изменения состояния.

Обследование методом пупиллометрии отличается высокой скоростью проведения исследования и малой трудоемкостью, не требует забора биологических жидкостей и физического контакта с оборудованием, что хорошо сказывается на пропускной способности обследуемых за короткий промежуток времени. Преимущества проведения диагностики методом пупиллометрии способствует применению такого метода при массовых обследованиях и позволяет сделать экспресс диагностику интоксикации организма человека объективной, быстрой и дешевой.

## **1 Обзор литературы**

### **1.1 Исторический обзор изучения глаза и зрачка**

Функции глаза и зрачка была интересна людям еще в глубокой древности, в особенности занимающимся врачеванием и исследованием закономерностей и особенностей человеческого организма.

Первым методом изучения зрачка является визуальный метод при помощи пупилоскопов самой разной конструкции. Они позволяли измерять диаметр зрачка при помощи шкалы измерения или шаблонов [9]. Однако данный метод не позволял получить параметры зрачка в динамике: данные о скорости изменения диаметра и других вычисляемых параметров изменения диаметра зрачка. Один из простых и распространенных устройств являлся пупиллометр Гааба. Устройство представляет собой пластину с черными точками определенного диаметра. Градация от 1мм до 9мм. Поднося пластину к глазу, сравнивается фактический размер зрачка с нанесенными на устройство точками и выбирается наиболее совпадающий размер. Погрешность определения диаметра зрачка не превышает 0,5 мм.

Метод, основанный на динамической съемке реакции является более продвинутой регистрацией рефлексов, не требует фиксации головы. В течении многих лет такой метод вызывал трудности в связи с отсутствием технической возможности. Первые попытки съемки на киноплёнку были произведены в Левенштейном и Фридманом (Lowenstein O., Friedman E., 1942). Для отслеживания реакции использовалась специальная пленка и инфракрасная подсветка.

### **1.2 Глаз как объект распознавания**

Радужная оболочка представляет собой образование в виде кольца, которое разделяет заднюю и переднюю камеры глаза. Радужная оболочка выполняет регуляцию поступления света на поверхность хрусталика, на переднюю поверхность которого он прилегает. Радужка входит в сосудистую

оболочку и состоит из мышц, меняющие размер зрачка. Функция регуляции потока реализуется как непосредственным изменением диаметра зрачка, так и деятельностью оптического фильтра глаза. Радужная оболочка в общем случае не имеет идеальную круглую форму, а диаметр в горизонтальном направлении несколько больше диаметра в вертикальном направлении. Средний размер радужки в ширину – 12.5 мм, а в высоту 12 мм.

Зрачок у здорового человека является в форме правильного круга и располагается в центре радужной оболочки глаза. Диаметр человеческого зрачка может варьироваться в интервале от 1,1 до 8 мм.

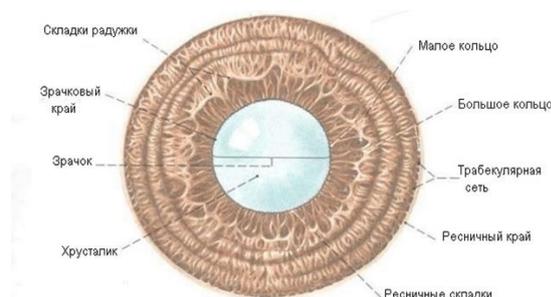


Рисунок 1 - Строение радужной оболочки

По величине диаметра зрачка принято делить их на три типа:

- мидриатические (широкие) – зрачки диаметром более 4мм;
- миотические (узкие) – не более 1,5мм;
- нормальные. – 1,5 – 4 мм

В 1988г. Вельховер Е.С. и его соавторы проводили исследование на 750 испытуемых с целью изучения форм зрачка. Результатами стали визуально зафиксированные 3% от общего числа испытуемых отклонения формы зрачка от круглой формы. Самыми популярным деформациями формы зрачка является овальная форма в любом направлении и локальные уплощения.

Так же изучена зависимость размера зрачка от рефракции глаза и возраста человека. (Смирнов В.А., 1953; Меркулов И.И., 1961) Зависимость отображена в **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Таблица 1 - Зависимость диаметра зрачков от возраста и остроты зрения

| Возраст | Диаметр зрачков, мм     |                                  |                                 |
|---------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|         | Миопы<br>(близорукость) | Эмметропы<br>(нормальное зрение) | Гиперметропы<br>(дальнорукость) |
| 20-30   | 3,55                    | 3,25                             | 3,25                            |
| 30-40   | 3,6                     | 3,45                             | 3,3                             |
| 40-50   | 3,6                     | 3,2                              | 3,1                             |

В нормальных условиях самые большие изменения в расширении зрачка происходят в виде реакции на изменение яркости. При переходе от светлой к темной среде диаметр зрачка может увеличиться на 3-4 мм, или примерно на 120%.

### 1.3 Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики

Главной особенностью метода является объективность исследования в связи с тем, что реакция зрачков на внешний возбудитель (источник света) является безусловным рефлексом и никак не поддается контролю корой головного мозга. Это означает, что результаты исследования невозможно умышленно подделать, имитируя различные состояния.

Фундаментальным исследованием в области изучения метода пупиллометрии является диссертация Куцало А.Л. В данной работе описаны общие механизмы действия опиатов и эффекты его воздействия, в том числе и на зрачок человека, подкрепленные клиническими, экспериментальными, лабораторными и математико-статическими методами исследованиями. В работе рассматривается анатомия и физиология зрачка, возможные патологии и ограничения метода пупиллометрии, в том числе связанные с возрастными изменениями. Были исследованы и выделены значимые параметры

пупиллографических показателей у наркозависимых, которые имеют наиболее значимые амплитудно-временные отклонения в сравнении с сопоставленными данными пупиллограмм здорового человека.

Эта работа образует доказательную базу эффективности реализации и использования метода пупиллометрии в целях исследования состояния центральной нервной системы с выделением значимых во временном ряду параметров. Таким образом, автор работы приходит к выводу о том, что описываемый метод позволяет проводить экспресс-диагностику состояния ЦНС с эффективностью не менее 95%. Такого высокого значения достоверности в рамках экспресс-диагностики достаточно для первичного выявления признаков интоксикации при потоковом автоматизированном обследовании.

#### 1.4 Пупиллографические показатели

Пупиллография — это динамическая регистрация реакции зрачка в ответ на световую вспышку [1].

Все параметры, которые будут описаны далее, вычисляются на основе зависимости двух величин, регистрируемых прибором проведения исследования методом пупиллометрии – это диаметр зрачка в определенный момент времени. На основе данных, регистрируемых прибором, строится пупиллограмма - график зависимости диаметра зрачка от времени (Рисунок 2). На основе такого графика вычисляются значимые параметры пупиллограммы.

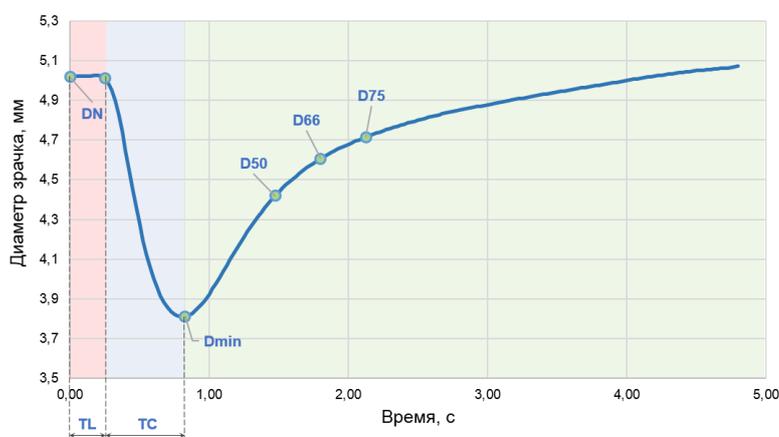


Рисунок 2 - Пупиллограмма с основными показателями

График пупиллограммы начинается с момента подачи светового импульса на сетчатку глаза. Время воздействия источника света на сетчатку в различных исследованиях принимают в интервале 0.2 – 1 сек.

Перечень информативных параметров пупиллограммы, описанный в литературе, включает в себя несколько значимых для обследования параметров. По графику есть возможность вычислить все эти значимые параметры.

Таким образом, каждому набору значений базовых и дополнительных параметров можно сопоставить функциональное состояние человека, характеризующее состояние его организма в целом.

### **Диаметр начальный (DN)**

Фиксируется перед подачей светового импульса исходный диаметр зрачка. Параметр зависит как от общего функционального состояния организма человека, так и от внешних условий исследования – общей освещенности помещения, особенностей измерительного прибора, способа измерения.

### **Латентный период сужения (TL)**

Время, отражающее задержку начала изменения размера зрачка. На пупиллограмме имеет вид горизонтального участка графика. По данным из различных исследований норма латентного периода сужения является 0,15 – 0,5 сек. Подобный разброс величины связан с тем, что исследования проводились различными методами регистрации зрачка – как в полной темноте, так и при слабом источнике света, а также различным источником светового раздражителя с разной мощностью.

### **Амплитуда сужения (AC)**

Разность между максимальным и минимальным значением диаметра зрачка. На данный параметр влияет длительность воздействия светового раздражителя и место его воздействия на сетчатку. Так же на этот параметр влияет фоновое освещение при проведении исследования – увеличение фонового

света вызывает сужение зрачков, а значит и амплитуда сужения соответственно уменьшается.

### **Время сужения (ТС)**

Период с момента начала реакции зрачка до момента наибольшего сужения. Во многом зависит от времени подачи светового потока. Время сужения в различных исследованиях колеблется в интервале от 0,5-0,8 сек.

### **Скорость сужения (VC)**

Характеризует изменение диаметра зрачка во времени. Определяется по формуле:

$$VC = \frac{AC}{TC}$$

Главной сложностью, с которой столкнулись исследователи при описании параметров пупиллограмм, является оценка скорости реакции, так как она значительно изменяется во времени. Первые исследования делили область сужения на этапы, которые характеризовались быстрой или замедленной скоростью сужения.

Более точный способ описания изменения скорости сужения был предложен Махемером (Machemer H., 1941), который рассматривал кривую сужения как экспоненту:

$$d = d_0 + ke^{-at}$$

Где:

- $d$  – диаметр зрачка в данный момент времени;
- $d_0$  – минимальный размер зрачка;
- $k$  – константа;
- $e$  - основание натурального логарифма, математическая константа;
- $a$  - определяемый по наклону логарифмической кривой показатель изменения скорости.

Дифференцируя вышеприведенное выражение, легко определить скорость реакции в любой момент времени  $t$ .

### **Латентный период расширения (TLR)**

Время, в течении которого наблюдается максимальное сужение зрачка. Наблюдается уже после прекращения воздействия светового раздражителя.

### **Время расширения (TR)**

Период от завершения максимального сужения зрачка до восстановления изначального размера. Выглядит в виде пологой кривой. Дополнительно может использоваться значение времени расширения до относительных значений изменения размера. Например, на графике пупиллограммы (Рисунок 2) обозначена точка D50, отражающая время расширения до 50% от амплитуды изменения размера зрачка.

### **Скорость расширения (VR)**

Вычисляется по формуле:

$$VR = \frac{AC}{TR}$$

### **Общее время реакции (T)**

Это общее время цикла изменения размера зрачка от момента воздействия раздражителя до окончания зрачковой реакции.

Все фазы и параметры для каждого человека являются индивидуальными, как и сама пупиллограмма.

## **1.5 Пупилломоторные симптомы**

В настоящее время особенности рефлекса зрачка на изменение освещенности успешно используются для определения функционального состояния опьянения человека в различных предметных областях.

Исследованиями различных авторов установлена зависимость между характером зрачкового рефлекса человека на световое импульсное воздействие и нахождением его в состоянии опьянения.

В зависимости от типа принятого вещества или алкоголя зрачки человека, как правило, находятся в одном из крайних положений – сильно сужены либо максимально расширены.

Исследования показали, что интоксикация алкоголем заметно изменяет параметры получаемой пупиллограммы. В особенности самым явным признаком является параметр латентного периода расширения. При однократном воздействии алкоголем (30 г спирта, разбавленного 30 г воды) на нормального здорового испытуемого латентный период расширения удлиняется в 5-6 раз [1].

В [1] установлено, что при острой интоксикации опиатами имеет место уменьшение DN в 2 раза, AC в 5 раз, скоростных характеристик зрачковой реакции – в 2-3 раза, увеличение TL – на 15 и более процентов, а также изменение других временных показателей. Кроме того, установлено, что в период проявления абстинентного синдрома после употребления опиатов имеет место увеличение DN в 1,5 раза и уменьшение AC и скорости сужения зрачка в 2 раза.

Другим исследованием [17] установлено, что чувствительность к воздействию стандартного светового раздражителя и величина сокращения зрачков в состоянии абстиненции также значительно меньше нормы – от 37,8% до 150%. При этом во всех случаях падают скорости сужения и расширения.

У лиц с хроническим алкоголизмом при изучении рефлекса зрачка выражено существенное изменение состояния ЦНС, отражающее развитие паталогического процесса.

В подавляющем большинстве прием различных психотропных препаратов изменяют диаметр зрачков и искажают параметры реакции зрачка. У лиц с наркотической зависимостью при употреблении таких веществ как морфий и героин выявлена закономерность в виде более суженных зрачков, по сравнению с нормальным состоянием. Однако употребление кокаина наоборот приводит к паталогическому расширению зрачков.

Механизм воздействия связан с нарушением нормального функционирования нервной системы, сужением сосудов, ослаблением мышц, что явно отражается на результатах исследования методом пупиллометрии.

Так как функцией изменения размера зрачка управляет вегетативная нервная система, то наблюдается изменение пупилломоторных параметров в

связи с переживанием сильных эмоций, таких как радость, страх и пр., что так же сопровождается другими произвольными реакциями организма: сердцебиение, кровяное давление, потливость, дыхание. Более того, на основе подобной реакции были попытки разработки системы, выполняющие функции детектора лжи, который детектирует вероятные изменения в эмоциональном состоянии человека при попытке обмана. Система разрабатывалась в Центре измерительных технологий и автоматизации физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

### 1.6 Существующие решения

Системы отслеживания параметров глаз достаточно распространены на рынке, однако имеют большой спектр прикладного использования, конструктивных типов и широкий диапазон ценового сегмента.

В общем случае все решения можно разделить на две больших категории по их конструктивному признаку – контактные и бесконтактные.

Большинство устройств имеют конструктив, предусматривающий непосредственный контакт с человеком, к ним относятся любые носимые устройства, подобные очкам со встроенными камерами-детекторами. Примером такого устройства является решение от компании «Pupil Labs» – «PupilCore» [18] (Рисунок 3). На сайте производителя стоимость такого устройства составляет от € 2740.



Рисунок 3 - Платформа отслеживания глаз PupilCore

Широкое распространение подобных конструктивных решений обусловлено тем, что непосредственный наблюдаемый объект – глаз и его параметры отличаются сравнительно небольшими масштабами и быстропротекающими реакциями. Устройства такого типа имеют преимущество в виде минимального расстояния между детектором и глазом, что увеличивает разрешение изображения и его качество в регионе интереса.

Для проведения исследования методом пупиллометрии устройства зачастую конструктивно имеют вид бинокля. Например, разработанное компанией «Крок» устройство [19], входящее в состав диагностического медицинского терминала для предсменных осмотров (Рисунок 4).



Рисунок 4 - Пупиллометр в виде бинокля

Пупиллометр подобного типа в составе медицинского терминала, имеющий потоковый режим обследования имеет значительный недостаток – человек, проходящий диагностику на подобном устройстве, контактирует с этим устройством кожей лица. Это вызывает издержки в автономности подобного устройства, заключающиеся в необходимости вручную дезинфицировать прилегающие области после исследования или использования других средств, обеспечивающих санитарную безопасность использования терминала.

Такие издержки можно минимизировать при использовании бесконтактного метода обследования. Такие устройства располагаются на расстоянии от лица человека и не имеют контакта с ним.

Устройства подобного типа можно использовать для широкого спектра прикладных применений, таких как отслеживание направления взгляда, отслеживание и анализ параметров пупилломоторной системы и др. Такие устройства используют для определения зон интереса на мониторе, на основе данных о перемещении направления взгляда, которые используются в маркетинговых исследованиях. Так же отслеживание направления взгляда может использоваться как устройство ввода для управления устройством.

Одним из популярных решений на рынке подобного типа устройств является устройство компании GazePoint - GP3 Eye Tracker [20, 21] (Рисунок 5).



Рисунок 5 - GP3 Eye Tracker – камера слежения за глазами

GazePoint - исследовательская система слежения за глазами, которая используется в различных сферах. Представляет собой аппаратную часть в виде камеры и программное обеспечение, бесконтактно обрабатывающее значимые данные, связанными со слежением за глазами, такие как: направление взгляда, размер зрачков, количество морганий и др. ПО предлагает API для получения данных и дальнейшего их использования. В системе используется две камеры на фиксированном расстоянии друг от друга с частотой съемки 60fps или 120fps, в зависимости от комплектации.

Еще одним популярным решением на рынке является система отслеживания направления взгляда Tobii Eye Tracker [21, 22].



Рисунок 6 - Система отслеживания глаз Tobii

Продукт позиционируется как дополнительное устройство для управления в видеоиграх. Так же особенностью устройства является встроенные вычислительные мощности для минимизации загрузки вычислительных мощностей на основном устройстве. Может использоваться в целях получения параметров глаза.

### **1.7 Выводы к главе**

В главе отражена достаточно богатая история исследования процесса функционирования человеческого глаза и природа его особенностей и рефлексов. Все исследования приводят к выводу о том, что метод пупиллометрии является достоверным, точным и объективным методом исследования функционального состояния центральной нервной системы для диагностики различных физиологических изменений, вызванные как воздействием различных веществ, так и другими причинами.

Экспериментальным путем исследователями были выявлены интервалы для параметров пупиллограммы, присущие для нормально функционирующего зрачка человека. Более того, отображены особенности поведения параметров пупиллограммы при интоксикации организма, их вероятные отклонения от нормы и причинно-следственные связи, которые могут влиять на пупилломоторные симптомы.

При регистрации параметров пупиллограммы зрачка в реальном и сравнении их с параметрами пупиллограммы здорового человека можно будет

делать вывод о том, есть ли признаки отклонения работы нервной системы обследуемого человека.

В следующей главе будет рассмотрена практическая сторона применения метода пупиллометрии, выявление достаточных условий для проведения исследования.

## **2 Анализ составляющих разрабатываемой системы**

### **2.1 Выявление функциональных требований**

Как было отмечено в предыдущей главе, преимущества проведения диагностики методом пупиллометрии способствуют применению такого метода при массовых обследованиях и позволяет сделать экспресс диагностику состояния ЦНС в автоматизированном режиме.

При формировании функциональных требований к устройству, способному проводить диагностику таким методом, приоритетным прикладным применением является его использование в составе автоматизированной электронной системы медицинских осмотров, часто именуемой медицинским терминалом или диагностическим шлюзом. Подобные системы предназначены в основном для проведения предсменных и послесменных медицинских осмотров сотрудников. Толчок в развитии подобных систем стал Приказ Минздрава России от 15.12.2014 N 835н «Об утверждении Порядка проведения предсменных, предрейсовых и послесменных, послерейсовых медицинских осмотров».

Терминалы измеряют физиологические показатели организма, и связывают сотрудников предприятий с ответственным за осмотр медицинским работником в удаленном режиме. Устройства позволяют автоматизировать процесс подобных осмотров без физического присутствия мед персонала, используя для связи аудио и видео связь.



Рисунок 7 - Медицинский терминал

На основе функционального предназначения подобного типа устройств сформирован список требований, предъявляемых к модулю проведения диагностики методом пупиллометрии:

- Бесконтактный метод обследования – обязательное требование, связанное с необходимостью обеспечения автономности использования устройства без необходимости проводить обработку поверхностей, имеющих близкий контакт со слизистыми поверхностями организма, в частности с областью лица.

- Получение данных о параметрах пупилломоторной системы, достаточных для анализа изменения размера зрачка – регистрирующее оборудование должно иметь достаточное разрешение съемки, исключающее влияние помех и шумов изображения на объективные данные пупиллограммы для его корректного анализа.

- Результат диагностики в реальном времени – принятие решения о результатах медицинского осмотра должно происходить сразу после прохождения всех процедур, связанных с этим осмотром, это означает необходимость интерпретирования результатов диагностики в самые кратчайшие сроки, а регистрация параметров пупилломоторной системы должно происходить в реальном времени или с минимальной задержкой.

- Возможность фиксации параметров пупилломоторной системы в условиях освещенности медицинского кабинета, оборудованных согласно

СанПиН 2.1.3.2630-10 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность"

- Возможность интеграции модуля в программно-аппаратные комплексы – разрабатываемый модуль должен предоставлять внешней системе интерфейс взаимодействия с этим модулем, инкапсулируя логику обработки данных.

## **2.2 Анализ технических характеристик устройства**

Перечисленные требования к модулю диагностики методом пупиллометрии сразу ограничивает использование любых конструкций модуля, контактирующих с человеком, проходящим обследование. Это означает, что модуль должен быть стационарно установлен в устройстве проведения медицинского осмотра и не требовать от обследуемого дополнительных движений и контактов для проведения обследования. В таком случае, наиболее часто используемый конструктивный тип пупиллометра в виде очков или бинокля – использовать невозможно.

В дальнейшем разрабатываемое устройство будет иметь вид стационарной камеры.

Для получения качественного изображения с видеокамеры с целью регистрации размера зрачка человека необходимо соблюсти следующие условия:

- зрачок должен быть контрастным по отношению к радужной оболочке глаза;
- изображение глаза должно быть без ярких бликов и засветов от паразитных источников света;
- разрешения камеры должно быть достаточно для определения точных границ зрачка;

### 2.2.1 Подсветка зрачка

В коммерческих продуктах, так или иначе предназначенных для отслеживания зрачка контактным способом, ИК-подсветка служит источником света для снимающей камеры. На близком расстоянии от объектива подсвеченный зрачок принимает глубокий черный цвет, что позволяет алгоритмам проще выявлять границы зрачка (Рисунок 8). При этом в большинстве случаев наблюдаются блики от самой подсветки.

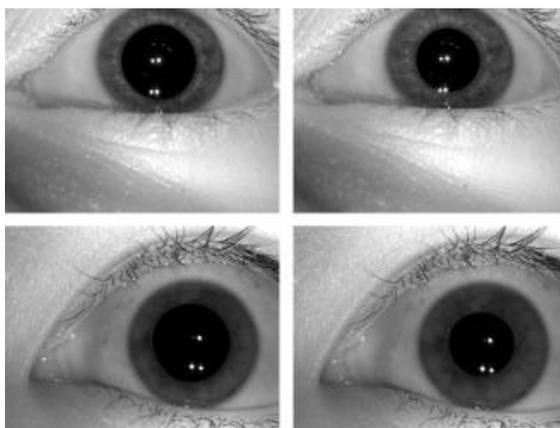


Рисунок 8 - Глаз, подсвеченный ИК подсветкой

Так же при анализе изображения глаза со зрачками черного цвета появляются возможные помехи в виде черных ресниц, яркого макияжа, теней и других факторов, потенциально требующих более сложные алгоритмы распознавания границ зрачков с фильтрацией подобных шумов.

Однако при особом расположении ИК-светодиодов относительно объектива камеры и при достаточном отдалении наблюдается эффект «красных глаз». Это обусловлено тем, что камера фиксирует отражение подсветки от глазного дна, в частности от сетчатки с кровеносными сосудами и сосудистой оболочки.

Особенность подсветки заключается в том, что источники ИК излучения расположены как можно ближе к оси объектива камеры, а сами источники света подобраны с минимальным углом рассеивания для увеличения количества света, попадающего на сетчатку глаза.

В результате значительное количество света попадает на внутреннюю поверхность глазного яблока (глазное дно), включающую в себя сетчатку с кровеносными сосудами и сосудистую оболочку, и отражается от него. Хрусталик, который является по форме двояковыпуклой линзой, фокусирует отраженные от глазного дна лучи, не давая им рассеиваться по всему глазному яблоку. В результате зрачок и радужка окрашиваются в интенсивный контрастный цвет (цвет же белков глаз обычно не изменяется). Этот метод подсветки для выделения зрачка часто называют методом яркого зрачка.

Для проверки работоспособности такого метода подсветки был собран прототип инфракрасной подсветки описанной конфигурации.

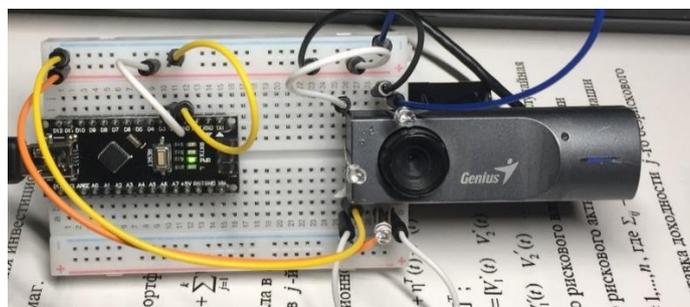


Рисунок 9 - Прототип ИК-подсветки методом яркого зрачка



Рисунок 10 - Встроенные ИК-светодиоды в корпус веб-камеры

Реализованная подсветка состоит из четырех ИК-светодиодов с углом подсветки  $20^\circ$ , расположенных в максимальной близости к оси объектива камеры. Результат съемки на расстоянии камеры от лица в 40 см (Рисунок 11).



Рисунок 11 - Съемка методом яркого зрачка

Стоит отметить, что для получения подобного эффекта при использовании веб-камеры необходимо провести модификацию, заключающуюся в удалении ИК фильтра в объективе камеры. Так мы позволяем инфракрасному диапазону поступать на матрицу камеры, детектируя отражение излучения подсветки. В ходе экспериментов над разными камерами с разными техническими характеристиками было безвозвратно испорчено две камеры при попытке удаления описываемого фильтра.

Преимуществами данного метода подсветки глаза является высокая контрастность зрачка относительно остальных объектов глаза. Так же отсутствуют блики, которые могут влиять на качество выделения зрачка на изображении.

Увеличение мощности подсветки привели к увеличению стабильности проявления эффекта яркого зрачка. На момент написания пояснительной записки в качестве источника ИК подсветки для устройства используется высокоомощная точечная подсветка, содержащая шесть источников излучения с углом излучения  $45^\circ$ , расположенных соосно оси объектива.



Рисунок 12 - ИК подсветка текущего устройства

В ходе экспериментов выяснилось, что при достаточной мощности ИК-подсветки такой же эффект наблюдается как при достаточном искусственном

освещении, так и при естественном дневном освещении без прямых солнечных лучей, однако контрастность зрачка на изображении увеличивается при уменьшении освещенности помещения.

Проведение диагностики при данном типе подсветки зрачка невозможно при ношении человеком очков с диоптриями в связи с возникновением отражения подсветки поверхностью линзы и появлением паразитных бликов. Использование же контактных линз несущественно снижает яркость зрачка, не мешая проведению диагностики.

### 2.2.2 Разрешение камеры

В ходе работы была проведена серия опытов с использованием видеотехники в свободном доступе. Целью этих опытов являлось выявление достаточных технических характеристик, для отслеживания диаметра зрачка.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика средств видеозахвата

| Тип и средство съемки      | Разрешение | Расстояние объектива до линзы, см | Плотность пикселей px/см плоскости глаз |
|----------------------------|------------|-----------------------------------|---|
| Action камера              | 720p       | 40                                | 25                                      |
| Action камера              | 1080p      | 40                                | 40                                      |
| Action камера (wide режим) | 4K         | 40                                | 39                                      |
| Камера смартфона           | 720p       | 40                                | 25                                      |
| Камера смартфона           | 1080p      | 40                                | 44                                      |
| Веб-камера                 | 480p       | 40                                | 20                                      |
| Веб-камера                 | 1080p      | 40                                | 45                                      |

Проанализируем точность определения параметров зрачков при указанной плотности пикселей на сантиметр в плоскости глаза.

Ранее было обозначено, что интервал изменения диаметра человеческого глаза может изменяться от 1,1 до 8 мм. Так же стоит учитывать, что физически зрачок принимает свой минимально возможный диаметр при условии длительного воздействия яркого источника света, что в условиях медицинского

кабинета не будет иметь места. Поэтому рассмотрим границу для миотического значения диаметра зрачка – 1,5 мм, при использовании веб-камеры с разрешением 1080р. Так фактический диаметр зрачка в 1,5 мм на изображении будет иметь расчетный диаметр 6,75 рх. Отсюда следует, если мы будем рассматривать зрачок как условно идеальную окружность, то тот же зрачок будет содержать в себе  $\approx 36$  рх. Фактический размер зрачка в 8 мм на изображении будет иметь диаметр 36 рх и содержать в себе 1118 рх.

Стоит отметить, что для анализа полученного графика пупиллограммы значимые параметры пупиллограммы, на основе которых можно делать вывод о нормальном состоянии нервной системы человека не имеют привязки к фактическому размеру зрачков глаз, а учитывают относительные значения изменения размеров во времени. Из это следует, что отсутствует необходимость получения фактического размера в миллиметрах, что может быть достигнуто при использовании электронного дальномера и известного соотношения пикселя к размеру объекта. Поэтому допустимо анализировать текущий размер зрачка в пикселях, а не в миллиметрах.

Изображение с камеры является растровым, а значит невозможно увеличить область изображения без потери качества. Это значит, что границы зрачка при указанном порядке его величин будут иметь не однозначную границу, а границу с некоторым градиентом, которую при анализе изображения можно будет с ненулевой погрешностью определить, используя алгоритмы сегментации. Если взять в частности погрешность определения диаметра в  $\pm 1$  рх (что в условиях съемки с веб-камеры является стандартной погрешностью), то при определении диаметра зрачка в его минимальном положении получаем погрешность определения диаметра в 13%. В перерасчете на фактический размер зрачка погрешность определения диаметра составляет 0,2 мм, что в 2,5 раза превосходит точность пупиллометра Гааба. При увеличении диаметра зрачка относительная погрешность будет значительно уменьшаться.

Серия фото-видео записи показало, что при требуемом расстоянии не менее 40 см без использования дополнительных увеличительных приборов приемлемая точность отслеживания диаметра, а также четкие границы контуров зрачка с указанной ранее погрешностью наблюдается при разрешении съемки от 1080p. Очевидно, что повышение разрешения будет увеличиваться точность распознавания границ зрачка, повышая точность проводимого исследования методом пупиллометрии.

### **2.2.3 Фокусное расстояние камеры**

Фокусное расстояние объектива камеры при осуществлении съемки лица и глаз не менее важно, чем разрешение. Обычно веб-камеры имеют фиксированное фокусное расстояние без возможности его регулировки. Для максимально качественного детектирования глаза необходимо увеличивать область с лицом, что можно добиться использованием камер с ручной регулировкой фокусного расстояния. Дополнительно используя настройки объектива с большим фокусным расстоянием можно добиться увеличения изображения без изменения расстояния до снимаемого объекта. В работе использовалась камера с вариофокальным объективом. Это означает возможность регулировать фокусное расстояние, в частном случае диапазон регулировки от 2.8 мм до 12 мм.

При использовании камеры на обозначенном расстоянии от плоскости глаз необходимо минимизировать дисторсию изображения - оптическое искажение, при котором нарушается геометрическое подобие между объектом съемки и получаемого изображения. На степень дисторсии влияет фокусное расстояние в связке с расстоянием до фиксируемого объекта. Для минимизации искажений требуется использование подходящих фокусных расстояний, которые сохраняют правильные пропорции лица и глаз человека, которое можно подобрать опытным путем. Так же возможно использование программной обработки изображения для сведения дисторсии к минимуму.

### **2.3 Частота кадров**

Для отслеживания изменений быстропротекающих процессов изменения в пупилломоторной системе требуется соблюсти баланс между частотой получения кадров и возможностью обработки поступающего видеоряда в реальном времени.

Кадровая частота является мерой количества сменяемых кадров за единицу времени.

На рынке устройств для пользовательского использования самой распространенной частотой кадров является 25 fps (кадров в секунду). При условии обработки поступающего изображения без сжатия видеоряда (с потерей данных), каждый кадр охватывает интервал в 40мс. Так после анализа поступающих изображений и построении пупиллограммы будет получен дискретный график изменения диаметра зрачка. При отслеживании значений диаметра зрачка самыми быстротекущими процессами является латентный период перед сужением зрачка (150мс – 500мс) и непосредственно сужение зрачка (500 мс – 800 мс). При указанной частоте латентный период будет охвачен минимум четырьмя кадрами видеопотока, а период сужения будет охвачен минимум двенадцатью кадрами. При указанной частоте кадров исключены возможные коллизии, связанные с недостаточной частотой дискретизации видеопотока при отслеживании диаметра зрачка. Более того, появляется возможность не обрабатывать каждый кадр, снижая нагрузку на вычислительные мощности устройства.

### **2.4 Итоговое устройство для получения видеоряда**

Итоговые требования к техническим характеристикам устройства для проведения бесконтактного метода исследования методом пупиллометрии были соблюдены при использовании бюджетной веб-камеры, доработанной для обеспечения корректной подсветки глаза. К техническим характеристикам относятся:

- 2 мегапикселя;
- разрешение камеры 1080p;
- частота кадров 25 fps;
- вариофокальный объектив;
- узконаправленная ИК подсветка;

Для формирования импульса света, управляемого программным кодом согласно алгоритму проведения исследования методом пупиллометрии, можно использовать различные технические решения. Одним из самых доступных и бюджетных решений является использование аппаратной платформы Arduino. Итоговая конфигурация устройства отображена на Рисунок 13.

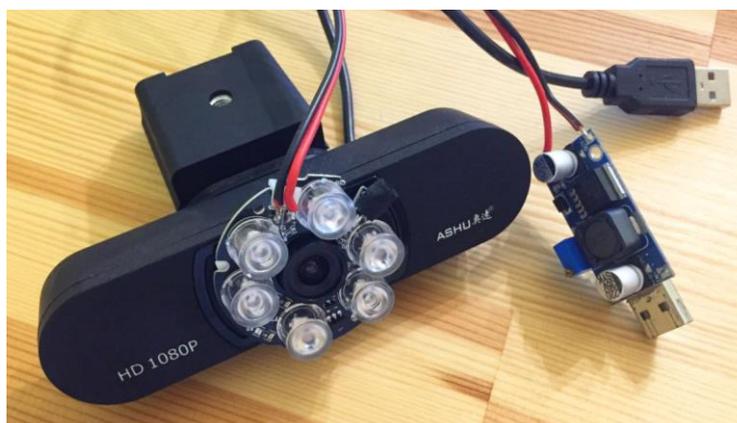


Рисунок 13 - Аппаратная часть устройства

Получаемое с устройства изображение имеет искаженные цвета в связи с отсутствием в нем ИК фильтра и работы подсветки (Рисунок 14). Изображение сделано при искусственном освещении помещения, указанного в расчетах освещения в главе социальной ответственности.

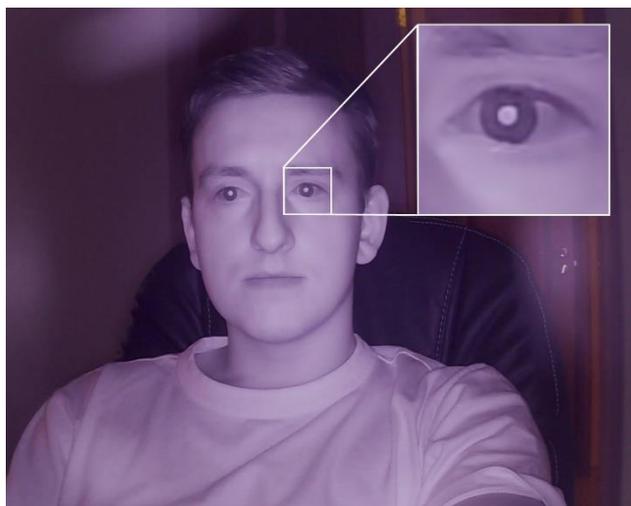


Рисунок 14 - Пример изображения с устройства в условиях искусственного освещения

## **2.5 Анализ смежных способов применения разрабатываемого модуля**

### **2.5.1 Аутентификация по радужке глаз**

Так как устройство обрабатывает изображение глаза, то появляется возможность дополнительной реализации проверки радужной оболочки глаза.

Аутентификация по радужной оболочке глаза — биометрическая технология, которая используется для подтверждения личности человека.

Данный тип биометрической технологии использует физиологический параметр — уникальность радужной оболочки глаза. На данный момент этот тип является одним из наиболее эффективных способов для идентификации и дальнейшей аутентификации личности.

Данная функциональность может быть применена для идентификации сотрудника, проходящего экспресс-диагностику.

### **2.5.2 Тепловая карта интерфейса**

На основе данных о направлении взгляда пользователя может быть создана тепловая карта интерфейса, что в дальнейшем может быть использовано для анализа удобства и практичности пользовательского интерфейса.

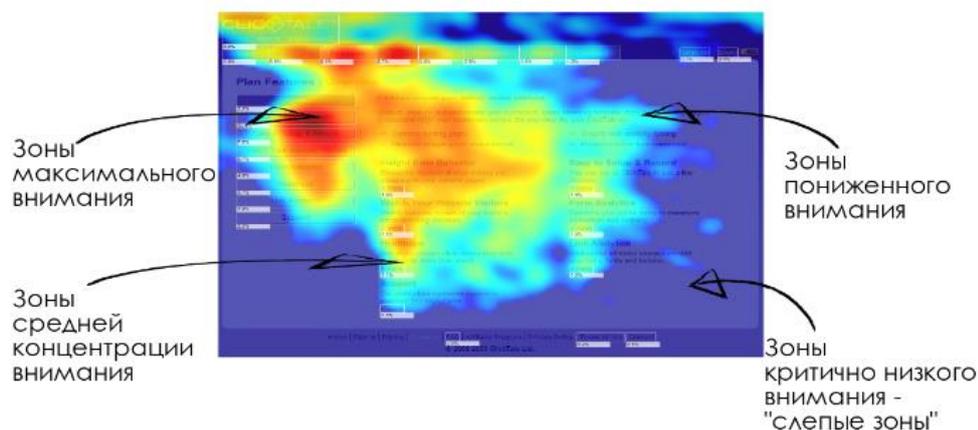


Рисунок 15 - Пример тепловой карты интерфейса

### 2.5.3 Отслеживание позы человека на кресле

В составе медицинского терминала зачастую реализовано измерение артериального давления. Идеальная поза для измерения АД – сидя, в удобном положении, в комфортных условиях. Отклонение исследуемого человека от ровного сидячего положения может привести к искажению результатов исследования как методом пуриллометрии, так и проверки артериального давления. Данные с камер, отслеживающие положение глаз человека в пространстве, могут позволить обнаружить неверную посадку и предлагать рекомендации о положении тела в ходе диагностики.

### 2.5.4 Система контроля усталости водителя

Существенная доля дорожно-транспортных происшествий происходит по причине усталости водителя. До 25% процентов ДТП происходят во время длительных поездок, во время которых внимание водителя кратно снижается. Для снижения вероятности потери внимания на дороге возможно использовать устройство в качестве системы контроля усталости водителя.

На основе поступающих данных с камеры, направленной на лицо водителя появляется возможность отслеживать признаки усталости. Отслеживая моргания, положения головы, направления взгляда позволяют в случае

появления признаков сильной усталости и засыпания предупреждать сигналом о рекомендованном отдыхе.

Возможные получаемые параметры с камеры, дающие информацию об усталости:

- отклонения в параметрах пупиллограммы при реакции на свет от встречных транспортных средств;
- характерный сонливый взгляд с полужакрытыми глазами;
- особая мимика и напряжение мышц лица;
- положение головы;
- частые зевания.

Для реализации алгоритма отслеживания усталости водителя система может учитывать параметры бодрого водителя и при наличии отклонений от нормальных значений сможет сделать выводы о текущем состоянии водителя.

## **2.6 Выводы к главе**

В главе рассмотрены составляющие аппаратной части системы с описанием и обоснованием технических требований к ней. Итоговое устройство обладает достаточными характеристиками для проведения диагностики методом пупиллометрии и имеет сравнительно небольшую стоимость.

Приоритетным направлением применения разрабатываемого устройства является его использования в качестве модуля для медицинского терминала, проводящий автоматизированный медицинский осмотр в потоковом режиме. Дополнительно рассмотрены смежные способы применения устройства, которое имеет широкий спектр возможностей для дальнейшего анализа поступающего видеоряда.

### **3 Программная реализация**

Практическая реализация приложения для детектирования диаметра зрачка была выполнена с использованием следующего стека технологий:

- язык программирования: С# с проектами целевой рабочей среды .NET Framework 4.6.1;
- Windows Presentation Foundation (WPF) – система для построения клиентских приложений, для отображения пользовательского интерфейса;
- OpenCV - библиотека для обработки изображений;
- Emgu CV - кроссплатформенная оболочка .NET для работы с OpenCV.

Выбранный стек технологий позволяет использовать полученное программное решение как подключаемый модуль (библиотека классов) в составе других программно-аппаратных комплексов, так и возможна установка на одноплатные компьютеры, например Raspberry Pi, поддерживающий данный стек технологий, для использования в качестве самостоятельного устройства.

#### **3.1 Алгоритмы и методы выделения лица и глаз**

Прежде чем приступать к выделению контуров зрачка, необходимо обнаружить регион интереса на получаемом из видеопотока изображении, в частности обнаружить на изображении регион лица и глаз.

Поиск лица на изображении является достаточно распространённой задачей компьютерного зрения. Зачастую это является первым этапом для решения более высокоуровневых задач, связанных с анализом лица и его особенностей. Для ее решения существует множество принципиально различающихся друг от друга методов, используемых для решения различного типа задач.

Для их анализа, прежде всего необходимо ввести ограничения на требования к определению на изображении лица и глаз. Как ранее описывалось, анализ методом пупиллометрии в рассматриваемых в научной работе условиях

требует определение параметров зрачка в режиме реального времени, максимально экономно используя вычислительные мощности машины. Для выполнения этого требования далее будут рассмотрены методы оптимизации для увеличения быстродействия алгоритмов.

При использовании пупиллометрии бесконтактным методом в границы получаемого с оборудования изображения полностью входит человеческое лицо. Так же положение лица является фронтальным без возможных значительных отклонений по нормали в любом направлении относительно оси объектива. Максимальным отклонением является  $20^\circ$  от оси нормали, и зависит только от роста обследуемого человека, так как оборудование для фиксации изображения имеет фиксированное положение. Это ограничение значительно упрощает задачу обнаружения лица на фотографии, так как отсутствует необходимость определения лица под углом, превышающих обозначенные ограничения.

В общем виде задачу обнаружения лица и глаз на изображении можно формализовать следующим образом.

- Имеется изображение, которое содержит лицо человека, предварительно переведенное в оттенки серого для увеличения производительности. Тогда изображение является двумерной матрицей из пикселей, которые имеют значение яркости от 0 до 255.
- Результатом работы алгоритма должны являться области изображения, описанные прямоугольниками, содержащие в себе область лица и глаз.

#### **Эмпирический подход**

Данный метод определения лица использует эмпирические данные, то есть алгоритм использует заранее подготовленный набор правил, которые характерны человеческому лицу на изображении. Примерами таких правил может являться знание о том, что человеческое лицо имеет два симметричных глаза, рот и нос, резко отличающихся по яркости от остального лица, или об особенностях яркости разных зон лица относительно других. Для реализации эмпирического метода изображение предварительно переводится в оттенки

серого и сильно сжимается, уменьшая тем самым погрешность в определении зон яркости. (Рисунок 16) Затем находится зона равномерного распределения яркости и проверка резко отличающихся зон яркости, соответствующих глазам, носу и рту.

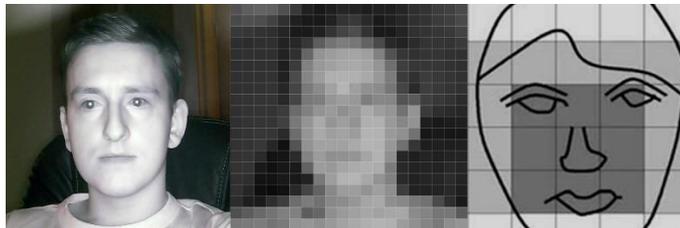


Рисунок 16 - Эмпирический подход к обнаружению лица

Описанный алгоритм широко использовался на заре становления компьютерного зрения, отличающийся высокой производительностью вычислений, но имеет ряд недостатков. Основной негативной характеристикой эмпирического подхода является низкая точность распознавания, особенно в условиях меняющейся освещенности, сложных фонов и прочих искажающих результаты внешних факторов.

### **Методы обнаружения лица по внешним признакам**

Данный метод отходит от попытки формализовать алгоритм распознавания лица на основе явных признаков изображения. Такие методы требуют предварительный этап обучения с тестовыми примерами лиц. На этапе обучения формируется математическая модель изображения лица, который потом используется для сравнения с фрагментом изображения. Обычно для поиска фрагмента с лицом используются оптимизированные методы перебор фрагментов изображения с наложением.

При формировании математической модели лица важной задачей является выделение сильных классификаторов, которые будут приоритетны при проверке признаков лица, а также уменьшение количества побочных классификаторов.

Использование нейронных сетей является распространённым способом обнаружения и классификации объектов на изображении, в частности большая часть таких решений основаны на свёрточных нейронных сетях. Решения по обнаружению лиц на основе технологии свёрточных нейронных сетей в достаточной степени инвариантны к условиям внешней среды и эмоциям на лице. Для использования нейронных сетей требуется база с обучающим набором достаточного объема, содержащие изображения лиц с различными вариациями. Так же при создании требуется настраивать саму архитектуру нейронной сети и параметры ее составляющих, такие как количество слоев, размеры слоев, количество карт с характерными чертами (feature maps) в каждом из слоев, добиваясь ключевых показателей результата ее функционирования.

### **Метод Виолы-Джонса**

Одним из выделяющихся среди прочих методов, способных находить объекты на изображении, является метод Виолы-Джонса (Viola-Jones). Его главные преимущества заключаются в высокой производительности и в малом проценте некорректных срабатываний. Метод Виолы-Джонса обладает лучшим соотношением эффективности распознавания лиц на изображении к скорости его работы. Данный метод позволяет обрабатывать поступающие изображения видеоряда в реальном времени. Алгоритм хорошо обрабатывает и при небольшом наклоне лица в пределах 30°.

Рассмотрим принцип работы метода Виолы-Джонса. Предварительно изображение переводится в его интегральное представление. Оно представляет собой совпадающую по размерам матрицу, где каждое значение хранит сумму интенсивности всех пикселей, расположенных левее и выше рассматриваемого элемента.

$$L(x, y) = \sum_{i=0}^x \sum_{j=0}^y I(i, j)$$

Где  $I(i, j)$  – яркость пикселя оригинального изображения.

Расчет такой матрицы занимает линейное время, так создание интегральной матрицы происходит за один проход.

Далее используются каскады Хаара – набор прямоугольных масок (Рисунок 17), содержащие черные и белые участки разной комбинации. Их количество в каскаде не ограничено.

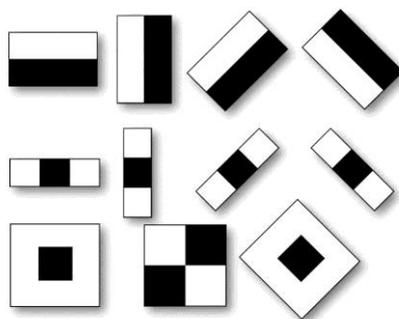


Рисунок 17 - Примитивы Хаара

Основным принципом поиска лиц на изображении является принцип сканирующего окна (scanning window). По изображению проходят окном поиска с шагом в одну ячейку окна и при различных масштабах – меняется размер ячейки окна. Для каждого его положения применяется классификатор, обнаруживающий признаки искомого объекта. Алгоритм накладывает набор масок на анализируемую область изображения и выдает числовое значение  $F$  путем сложения элементов матрицы, попадающих в светлые ( $X$ ) и темные ( $Y$ ) области соответственно, затем вычисляет разность полученных значений.

$$F = X - Y$$

Результат сравнивается с пороговой величиной, и делается вывод о присутствии или отсутствии искомого объекта в рассматриваемой области.

Естественно, для обнаружения требуемых объектов необходимо предварительное обучение классификатора в методе Виолы-Джонса. Обучение заключается в подборе такого каскада Хаара (набора масок), которые будут наиболее точно определять характерные особенности объекта. Для обучающей выборки используют как положительную, так и отрицательную выборку, схожую с обучающей выборкой для нейронных сетей. В ходе обучения модели используются различные технологии для повышения точности такой

аналитической модели. Например, алгоритмы бустинга, которые выделяют слабые и сильные классификаторы, подбирают порог для каждого из признаков.

Для практической реализации метода Виолы-Джонса в работе используется библиотека OpenCV, имеющая как простой интерфейс для его использования, так и готовые каскады Хаара, обученные на выявление области лица и глаз.

Приведем пример кода для практической реализации поиска лица на изображении

```
var faceCascade = new CascadeClassifier(_haarFacePath)
Rectangle[] facesDetected = faceCascade.DetectMultiScale(img, scaleFactor:1.1,
minNeighbors:10, minSize:new Size(100, 100));
```

Где:

faceCascade – подготовленный каскад-классификатор для поиска лиц;

facesDetected – найденные прямоугольные области с лицами;

img – исходное изображение для поиска;

scaleFactor – коэффициент, который описывает шаг изменения размера поискового окна. Значение 1.1 означает, что если не найдена область минимального размера, поисковое окно увеличивается на 10%;

minSize – минимальный размер области с лицом.

### 3.1.1 Оптимизации алгоритма

Использование метода Виолы-Джонса без оптимизаций является неоптимальным решением задачи поиска глаз из-за того, что метод обладает линейной зависимостью от разрешения изображения. Уменьшая разрешение изображения или ограничивая его область для работы алгоритма, можно добиться кратного увеличения скорости обработки каждого поступающего изображения. В частности, при входном разрешении изображения в 1920x1080 px, сжимая изображение на 500% получаем разрешение 380x216 px, при котором сохраняется возможность стабильного обнаружения лица при съемке в

описанных ранее условиях, а время обнаружение области лица сокращается с 250мс до 50мс.

К увеличению производительности так же приводит изменение минимального размера искомой области, так как чем больше размер поискового окна, тем меньше проходов по всему изображению требуется. Заранее известны пределы размера головы в видеоряде из-за фиксированного расстояния от камеры до плоскости лица, меняя входные параметры алгоритма можно повысить скорость распознавания.

Далее для поиска глаз используется ранее найденная область лица, к которой так же принимаем алгоритм поиска объекта методом Виолы-Джонса. Эту область дополнительно можно ограничить - учитывая, что положение головы будет строго перпендикулярно ширине кадра, не требуется искать глаза на всем лице, достаточно ограничиться верхней половиной области лица. Так достигается увеличение скорости определения глаз в два раза.

Если обрабатывать изображение глаза нам необходимо в каждом поступающем кадре, то полный алгоритм поиска области глаз можно оптимизировать следующим образом: после того, как найдена область лица и глаз на ней, для следующего кадра достаточно увеличить ранее найденную область глаз в два раза и наложить на новый кадр и с высокой долей вероятности в этой области будет найден глаз. В случае его отсутствия - повторяется алгоритм с полной обработкой кадра.

Все приведенные оптимизации привели к увеличению скорости распознавания области обоих глаз с 500 мс к среднему значению определения равному 20 мс. Полученный алгоритм поиска области лица и глаз обеспечивает стабильное выделение глаз на изображении, используя минимум вычислительных ресурсов в сравнении с другими описанными методами.

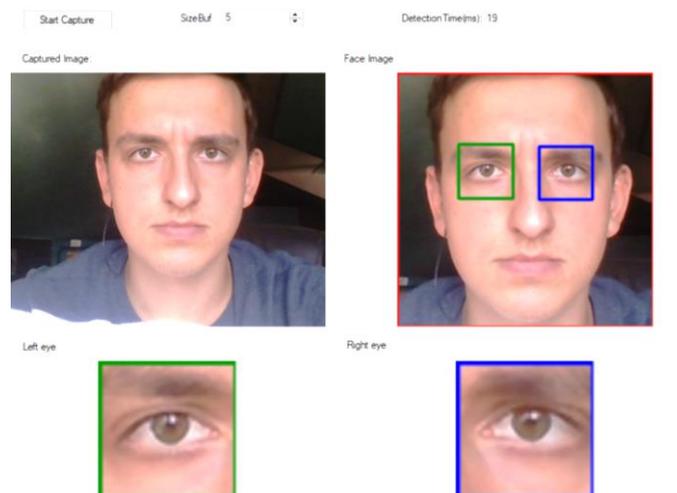


Рисунок 18 - Реализация приложения детектирования области глаз

### 3.2 Алгоритмы и методы выделения зрачка в видеопотоке

После того, как найдена область глаз, требуется выделить область зрачка на этом изображении.

В ходе работы над научно-исследовательской работой было применено и проанализировано несколько методов, входящих в состав различных алгоритмов определения границ объектов.

#### 3.2.1 Детектор границ Кенни и методология Хафа;

Отталкиваясь от гипотезы, что подсвеченную область зрачка можно определить как идеальную окружность, первой примененной последовательностью алгоритмом для обнаружения границ зрачка являлась связка алгоритмов детектора границ Кенни и преобразования Хафа.

Края или границы на изображении фактически являются кривыми, по которым происходит резкое изменение яркости или других параметров изображения.

Алгоритм детектора границ Кенни предварительно применяет Гауссово размытия для уменьшения шумов и незначительных деталей исходного изображения, затем применяется оператор обнаружения границ Собеля для получения первой производной в вертикальном и горизонтальном направлении. Оператор Собеля реализует преобразование изображения вычисляя

производную каждого пикселя изображения, результатом является приближение градиента изображения. Далее из этого градиента изображения происходит расчет углов направления границ. Углы округляются до значений направлений соответствующих  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  и проверяются величины градиента локального максимума по всем этим направлениям. Результатом работы детектора границ Кенни является бинарное изображение, которое содержит границы.

В OpenCV реализован алгоритм детектора границ Кенни и имеет параметры верхней и нижней границы градиента пикселей, подбираемых экспериментальным путем. Результат работы алгоритма представлен на рисунке (Рисунок 19)



Рисунок 19 - Результат алгоритма детектора Кенни

К результирующему бинарному изображению с границами применяется алгоритм Хафа для поиска границы окружности, описывающий зрачок.

Этот вычислительный алгоритм применяется к растровому изображению для параметрического поиска на нем заданных геометрических фигур. Для поиска зрачка был применено преобразование Хафа, имеющее следующее параметрическое описание:

$$H(x_0, y_0, r) = \sum_i h(x_i, y_i, x_0, y_0, r),$$

$$h(x_i, y_i, x_0, y_0, r) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = r^2, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

Где:

$(x_0, y_0)$  – координаты пикселя центра искомой окружности;

$(x_i, y_i)$  – координаты пикселей на этой окружности (границы);

$r$  – возможные радиусы искомой окружности.

Такое параметрическое уравнение описывает так называемый аккумуляторный массив. На двоичном изображении алгоритм проходит по всем точкам, принадлежащим границам и делает предположение о принадлежности элемента границы искомой форме, таким образом формируется пространство Хафа. Конечным шагом является выбор в полученном пространстве максимальных значений, которые формировали элементы границы.

Описанный алгоритм был реализован на практике и применен к изображениям глаза. При проверке результата работы алгоритма наблюдалось большое количество ошибочно определенных границ зрачка.

Высокий процент ошибки обусловлен тем, что значения пороговых параметров являлись не адаптивными, а строго зафиксированными при применении алгоритма для нескольких изображений глаза, снятых в разных условиях освещенности. Так же границы зрачка не обладают формой идеальной окружности, а значит при обнаружении геометрической фигуры круга, при накладывании результирующей формы на изображение глаза наблюдалась высокая погрешность в виде смещения круга относительно границ зрачка (Рисунок 20).

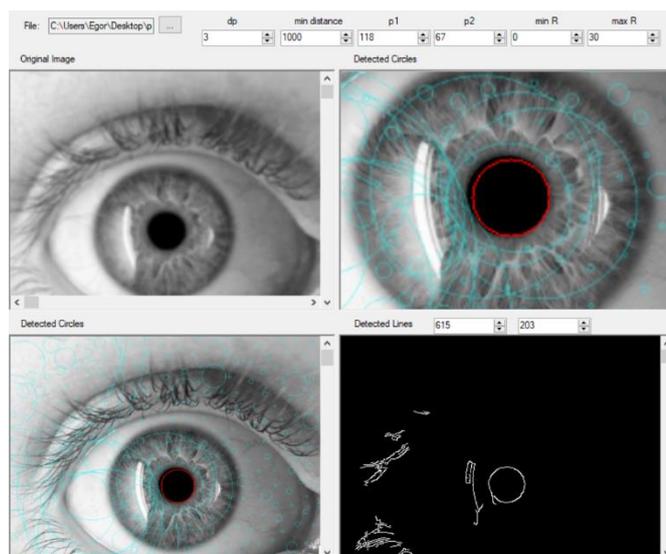


Рисунок 20 - Реализация алгоритма детектора границ Кенни и преобразования Хафа

Согласно гипотезе, после формирования границ на изображении глаза, на бинарном изображении должна присутствовать замкнутая граница зрачка, являющаяся кругом. Забегая вперед, без предварительной предобработки изображения иными способами на практике границы не всегда оказываются замкнутыми или граница зрачка не всегда присутствует после детектора границ Кенни в связи с искажением при различных условиях съемки и с фиксированными пороговыми значениями.

### 3.2.2 Бинаризация изображения;

Так как зрачок на изображении глаза при подсвечивании указанным ранее способом выделяется свечением, то к изображению можно применить алгоритм бинаризации, который может корректно однозначно выделить зрачок на изображении глаза.

Суть бинаризации изображения заключается в том, что все пиксели разделяются на две группы, по заранее определенному признаку. В общем случае для бинаризации обозначают порог яркости пикселя ( $\gamma$ ), который применяется для каждого пикселя изображения. Если значение яркости пикселя меньше порогового значения, его итоговое значение принимается за 0, если значение яркости больше - значение 1.

$$I_{\text{бин}}(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y) < \gamma \\ 0, & I(x, y) \geq \gamma \end{cases}$$

Однако условия освещенности могут меняться, и применение зафиксированного порогового значения не достаточно для корректной бинаризации границы зрачка для различных вариаций изображения.

Для решения задачи адаптивной бинаризации пороговое значение может менять свое значение как в рамках одного изображения, так и для каждого пикселя по отдельности. Примерами динамического вычисления порогового значения являются алгоритмы сбалансированного порогового отсечения гистограммы, метод Оцу, метод итеративного выбора порога и др. Так

появляется возможность рассматривать не просто каждое значение яркости пикселя по отдельности, а суммирующую яркость в его окрестности.

Однако в рамках задачи определения границы зрачка нет необходимости учитывать различную яркость объектов в рамках одного изображения. Это позволяет использовать значение яркости пикселя и рассчитанное пороговое значение для изображения.

Для реализации адаптивной бинаризации предварительно на изображении находится пиксель с максимальной интенсивностью свечения ( $\bar{I}_{\max}$ ). Так как зрачок на изображении глаза является самой светлой областью, то используя это значение, мы можем рассчитать пороговое значение для бинаризации с определенным коэффициентом:

$$\gamma = k\bar{I}_{\max}$$

Где  $k = 1,25$  – экспериментально подобранный коэффициент, расширяющий пороговое значение относительно самой яркой точки зрачка.

Перед применением бинаризации, необходимо уменьшить количество шумов на изображении с помощью алгоритма сглаживания. Так границы на изображении становятся более ровными, а примененное пороговое значение на границах зрачка обладает наибольшей точностью определения его реальных границ. В итоговом алгоритме используется размытие по Гауссу.

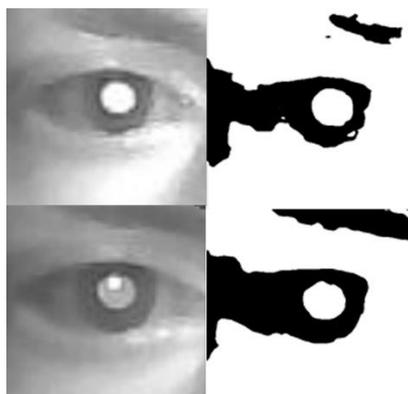


Рисунок 21 - Применение алгоритма бинаризации к изображениям глаза

На изображении первого глаза приведен пример с ярко выделяющимся и практически однородным зрачком. Однако при данном методе съемки возможно наличие бликов в области зрачка. При использовании алгоритма адаптивной

бинаризации удастся исключить влияние таких шумов на изображении зрачка без потери точности определения его границ.

Далее необходимо избавиться от паразитных областей, образующихся из-за бликов и иных неоднородностей. Для решения этой задачи можно применить группу морфологических трансформаций к изображению.

Основными морфологическими операциями являются:

- erode – операция сужения;
- dilate – операция расширения.

Эти операции применяются для избавления от мелких погрешностей и вкраплений, являющихся шумами. Последовательно применяя операцию сужения и расширения к бинаризованному изображению можно добиться избавления от узких вкраплений черных участков и сплавления областей в монолитные контура. Эти операции доступны в библиотеке OpenCV, где так же содержатся морфологические операции размыкания и замыкания, которые являются последовательностью основных операций сужения и расширения. В алгоритме использовался метод MorphologyEx с типом операции MorphOp.Close. Результат до и после морфологического преобразования указан на рисунке (Рисунок 22).

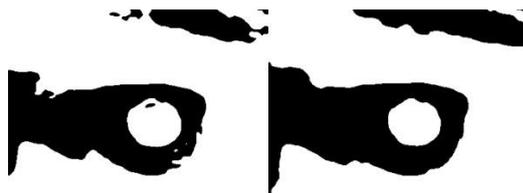


Рисунок 22 - Последовательное применение морфологических операций

### 3.2.3 Определение границ зрачка на бинарном изображении

В результате полученного бинарного изображения необходимо выделить контур, описывающий зрачок глаза. Это можно сделать с помощью ранее описанного детектора границ Канны или функции findContours в библиотеке OpenCV.

Функция `findContours` применяется только для бинарных изображений, результатом является массив контуров на изображении, где каждый контур представляет собой вектор точек. Такой вектор точек называется цепным кодом Фримена, и представляет собой массив из последовательности отрезков, имеющих определенную длину и направление.

Результатом функции является массив контуров, которые имеют инструменты для их дальнейшей обработки и наложения на исходное изображение (Рисунок 23).

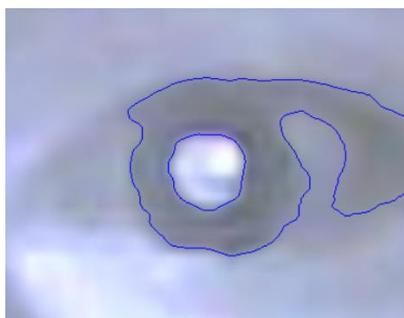


Рисунок 23 - Найденные контура, наложенные на оригинальное изображение

Последним этапом для нахождения границы зрачка требуется выявить требуемый контур, описывающий границы зрачка.

Самым эффективным способом в данном случае является выявление контура, имеющего геометрические характеристики круга. То есть проверяем прохождение каждого контура заданному условию:

$$\frac{4 * \pi * S}{P^2} \geq 0.8$$

Коэффициент 0.8 выявлен и применен экспериментальным образом, так границы зрачка на любом изображении с учетом погрешностей определения проходят данное условие.

Значения площади и периметров просто получить у полученных контуров используя методы `ContourArea` и `ArcLength` соответственно. Полученные значение измеряются в пикселях.

В предыдущей главе было упомянуто, что для расчёта диаметра зрачка оптимально использовать значение его площади, так его значение можно

вычислять в виде числа с плавающей точкой. Так как значение радиуса находится в прямой квадратичной зависимости к площади зрачка, то точность определения радиуса этим методом так же увеличивается.

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Далее для построения пупиллограммы так же используются пиксели в качестве единицы измерения радиуса.

Итоговая схема алгоритма обработки изображения видеопотока выглядит следующим образом:

- 1) Перевод изображения в оттенки серого;
- 2) Определение области лица на изображении;
- 3) Определения области глаз на изображении;
- 4) Применение сглаживающего фильтра;
- 5) Адаптивная бинаризация изображения;
- 6) Применение последовательности морфологических операций;
- 7) Выделение контуров на бинаризованном изображении;
- 8) Выявление контура, описывающего зрачок, с применением геометрического признака окружности.

В результате работы над алгоритмом было реализовано приложение, позволяющее в реальном времени отслеживать границы зрачка (Рисунок 24). Получаемые значения о диаметрах зрачка формируют данные пупиллограммы для ее дальнейшей обработки и анализа.



Рисунок 24 - Результат работы алгоритма обнаружения зрачка в видеопотоке

### 3.3 Оценка точности алгоритма определения границ зрачка

Главной сложностью при планировании эксперимента для проверки точности определения границ зрачка является отсутствие баз данных с размеченными изображениями глаза, снятых методом светлого зрачка. Несмотря на большое количество баз изображений глаз, снятых методом темного зрачка (BATH, CASIA и др), их использование не представляется возможным из-за особенностей предложенного алгоритма определения грани.

Для оценки точности выделения границ зрачка были использованы записи процесса работы алгоритма в реальном времени с использованием предложенного оборудования. Данные для анализа содержали рассчитанное значение площади выделенного зрачка в пикселях и наложенную на исходное изображение определенную алгоритмом замкнутую границу контура зрачка. Далее для сравнения точности обнаружения границ зрачка реализована ручная разметка зафиксированных изображений эксперимента.

Изображения видеопотока просматриваются человеком-экспертом, который выделяет на них область зрачка. Предполагается, что человек делает это достаточно надёжно и точно, поэтому полученные области считаются

истинными. Недостатком такого подхода является то, что для значимого количества изображений человек может выделить лишь простые области, а именно примерные окружности границ зрачка. Выделение более детальных областей (точная граница зрачка, выделение затенений веками, бликами, ресницами) требует большой работы и осуществимо лишь для малого числа изображений. Таким образом, была использована экспертная разметка, включающая выделение на каждом из изображений окружности, приближающих зрачок. Так экспертная оценка имеет целочисленное значение диаметра зрачка в пикселях. Полученное значение площади окружности, выделенное экспертом-человеком сравнивалось с рассчитанным алгоритмом значением площади замкнутого контура. На каждом изображении видеопотока выполняется обработка для одного глаза.

Для оценки погрешности измерений проанализировано две записи в разных условиях освещенности. В каждой видеозаписи анализировалось 60 кадров видеопотока.

Для оценки погрешности использовалось среднеквадратичное отклонение на основании несмещенной оценки дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_d)^2}{n - 1}}.$$

Где:

$x_i$  – полученный алгоритмом диаметр зрачка;

$x_d$  – действительное значение диаметра зрачка, определенное экспертом;

$n$  – количество рассматриваемых кадров.

Значения диаметров зрачка анализируемой видеозаписи представлено на рисунке (Рисунок 25).

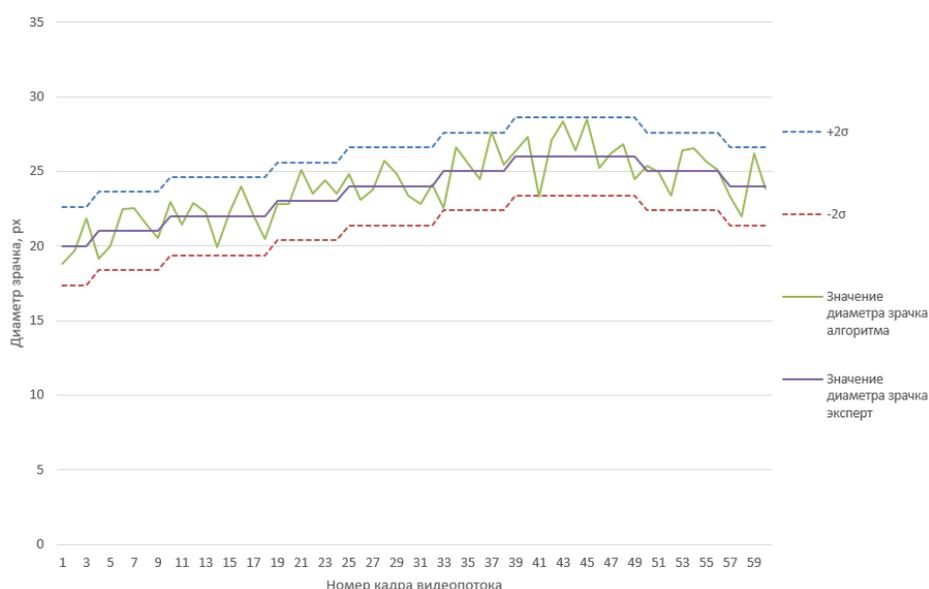


Рисунок 25 - Значения диаметров зрачков анализируемой видеозаписи

Относительная погрешность каждого измерения рассчитывалась по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} * 100\%$$

Результаты проверки погрешности анализируемой погрешности представлены в таблице (Таблица 3).

Таблица 3 - Результаты анализа погрешности работы алгоритма обнаружения диаметра зрачка

| Параметр /<br>Условие<br>освещения    | Кадров в<br>записи,<br>шт | $D_{\min}$ ,<br>рх | $D_{\max}$ ,<br>рх | Максимальная<br>относительная<br>погрешность, % | Среднее<br>квадратическое<br>отклонение, рх |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---|---|
| Искусственное<br>освещение<br>комнаты | 60                        | 20                 | 26                 | 13,3  | 2,27  |
| Отсутствие<br>освещенности            | 60                        | 28                 | 32                 | 7,23  | 1,8   |

Значение освещенности в комнате при использовании искусственного освещения описано в разделе социальной ответственности. При съемке в условиях отсутствия освещения диаметр зрачка увеличивается, что влечет за

собой уменьшение относительной погрешности в связи с квадратичной зависимостью площади зрачка от его диаметра.

По результатам оценки погрешности видим значение максимальной относительной погрешности равной 13,3%, в пикселях значение этой ошибки равнялось 2,66 px. В работе [23] показано, что отклонения в измерении размеров зрачка более чем на 2 пикселя приводят к неприемлемым искажениям пупиллограмм и делают их непригодными для анализа. Из этого можно сделать вывод, что требуется минимальная доработка регистрирующего устройства для увеличения разрешения изображения глаза. Этого можно добиться, применяя объектив с большим коэффициентом увеличения чем текущий объектив камеры. Однако алгоритм показал хорошие результаты и высокую точность определения диаметра зрачка в реальном времени.

### 3.4 Анализ ошибок

В ходе работы сравнивались полученные ошибочно выявленные контуры зрачка с выделенным контуром вручную. Существует ряд метрик, позволяющих произвести численную оценку качества работы алгоритма сегментации, называемые мерами сходства. Для оценки использовались индекс Серенсена-Дайса и индекс Жаккара.

Индекс Жаккара – бинарная мера сходства, предложенная Полем Жаккаром в 1901 году. Коэффициент вычисляется как соотношение мощностей двух множеств, каждое из которых содержит элементы, входящие в сегментированную область. В контексте обработки цифровых изображений, под мощностью множества понимается площадь или величина пропорциональная ей – количество пикселей, которую занимает эта область. Коэффициент Жаккара является отношением площади пересечения двух областей к площади объединения этих областей.

$$K_J = \frac{c}{a + b - c}$$

где  $a$  – количество видов на первой пробной площадке,

$b$  – количество видов на второй пробной площадке,

$c$  – количество видов, общих для 1-й и 2-й площадок.

Коэффициент Серенсена-Дайса – бинарная мера сходства, предложенная датским ученым Торвальдом Серенсеном в 1948 году. Мера Серенсена эквивалентна мере Жаккара и мере Сокала-Снита для конечных множеств:

$$K_S = \frac{2c}{a + b}$$

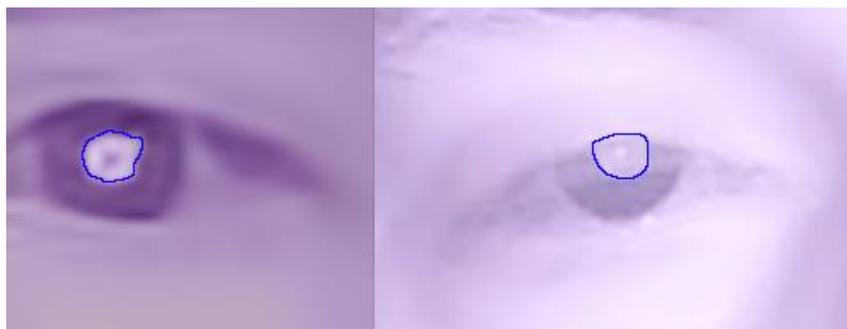


Рисунок 26 - Примеры некорректно распознанной границы зрачка

Основной причиной появления выбросов измерений контура зрачка в видеоряде является естественный процесс моргания человека. Процесс моргания при частоте видеопотока 25 fps занимает около 5 последовательных кадров. Неверно распознанные границы зрачка на изображении глаза в момент моргания уменьшает индекс Серенсена-Дайса и индекс Жаккара.



Рисунок 27 - Процесс моргания в видеопотоке

Так проанализирована последовательность из 10 кадров, включающая момент моргания.

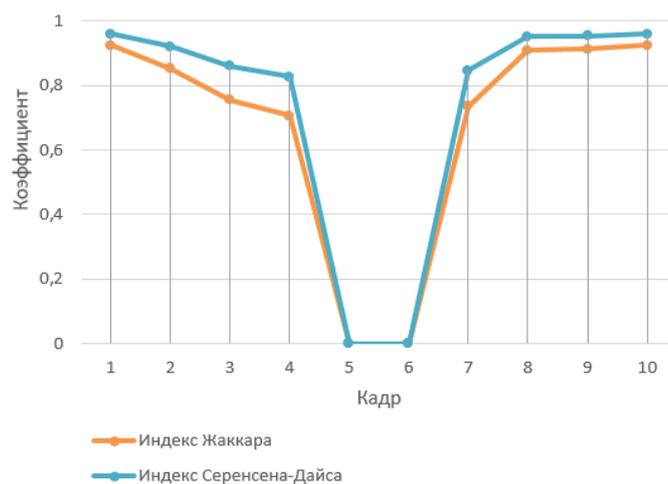


Рисунок 28 - График значений мер сходства при моргании

Из графика (Рисунок 28) видно, что при полном отсутствии определенных границ зрачка на изображении меры сходства принимают нулевое значение. В случае, когда глаз полностью в открытом состоянии, значения мер сходства для определенной границы зрачка принимают значения более 0,9. Это говорит о высоком качестве выделения границ искомого объекта.

Приведенную причину появления выбросов на пупиллограмме легко обнаружить математически, однако более надежным способом отсеечения ошибочно определенных кадров является детектирование самого моргания, что легко отследить по поведению детектора Хаара, так как в момент закрытия глаза область интереса глаза перестает быть различимой.

Второй причиной возникновения некорректного определения границы зрачка является наличие блика от подсветки при непрямом взгляде на объектив детектируемой камеры. Так блик располагается на фактической границе зрачка и объединяясь с яркой областью зрачка, увеличивает ее площадь на изображении. Так значение мер сходства на изображении (Рисунок 26) индекс Жаккара равен 0,81, а индекс Серенсена-Дайса равен 0,89.

Для избегания подобного типа отклонений можно применить различные методы сглаживания и обработки границ, такие как алгоритм Джарвиса для построения выпуклой оболочки. Однако однозначное определение подобной коллизии программным методом является комплексной задачей, для которой

требуется больше вычислительных мощностей, используемых для обработки каждого кадра.

### **3.5 Выводы к главе**

В результате работы над реализацией алгоритма распознавания границ зрачка был предложен алгоритм, позволяющий с приемлемой для построения пупиллограммы точностью определять параметры зрачка в видеопотоке, поступающего с аппаратной части системы, в реальном времени.

Проанализированы составляющие алгоритма, решающие проблему выделения зрачка изображения, отражен ход реализации поставленной задачи. Приведены рекомендации по оптимизации вычислительной сложности алгоритма. Представлены данные о точности предложенного алгоритма в разных условиях освещенности, проанализированы возникающие ошибки с использованием мер сходства.

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

Для оптимизации проверки состояния здоровья все чаще используются автоматизированные программно-аппаратные комплексы, проводящие экспресс-диагностику сотрудников перед выходом на смену и в конце рабочего дня. В составе таких медицинских портов имеется целый ряд проверяемых объективных параметров, в который может быть включена оценка состояния центральной нервной системы.

Существует множество вербальных, объективных и субъективных методов оценки состояния центральной нервной системы человека. Почти все методы ориентированы на оценку при непосредственном физическом присутствии как проводящего оценку персонала, так и человека – объекта исследования. Однако существует естественный и объективный индикатор состояния центральной нервной системы, оценив который, с высокой долей вероятности можно судить о наличии неких отклонений в его работе.

Проведено множество исследований, показывающие высокую точность и информативность показателей оценки состояния ЦНС методом пупиллометрии. Реакция зрачка глаза на любые внешние раздражители является безусловным рефлексом организма. Такое свойство пупиллометрии является важным фактором объективности исследования, так как практически отсутствует возможность намеренной подделки результатов исследования. Исследование методом пупиллометрии является простым и доступным способом оценки широкого спектра физиологических процессов.

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

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для

построения линейного графика хронологически упорядоченные вышеуказанные данные сведены в таблицу 1.

В соответствии с видами работ участниками планирования выбраны:

- 1) Научный руководитель (НР);
- 2) Исполнитель ВКР (И).

Таблица 1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

| Этапы работы     | Содержание работ   | Загрузка исполнителей                                |
|------------------|--|--|
| Подготовительный | Выбор темы ВКР   | Научный руководитель – 100%                          |
|                  | Выбор и описание направления исследования                            | Научный руководитель – 80%<br>Исполнитель ВКР – 80%  |
|                  | Подбор литературы для изучения предметной области                    | Научный руководитель – 30%<br>Исполнитель ВКР – 100% |
|                  | Календарное планирование работ                                       | Научный руководитель – 30%<br>Исполнитель ВКР – 80%  |
|                  | Обсуждение требуемых результатов работы                              | Научный руководитель – 80%<br>Исполнитель ВКР – 100% |
| Основной         | Опыты реализации устройства для подсветки зрачка в составе с камерой | Исполнитель ВКР – 100%                               |
|                  | Реализация алгоритмов обнаружения региона интереса исследования      | Исполнитель ВКР – 100%                               |
|                  | Реализация алгоритмов и методов выделения параметров зрачка          | Исполнитель ВКР – 100%                               |
|                  | Тестирование и отладка реализованного комплекса                      | Научный руководитель – 30%<br>Исполнитель ВКР – 100% |
|                  | Описание мероприятий по социальной ответственности                   | Исполнитель ВКР – 100%                               |
|                  | Описание ресурсоэффективности и ресурсоснабжения исследования        | Исполнитель ВКР – 100%                               |
| Заключительный   | Составление отчета о проделанной работе                              | Исполнитель ВКР – 100%                               |
|                  | Защита ВКР   | Исполнитель ВКР – 100%                               |

#### 4.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

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

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

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

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

#### **4.1.2 Разработка графика проведения научного исследования**

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по следующей формуле:

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

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

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

$K_D$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_D = 1,2$ ).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле.

$$T_{KD} = T_{PD} \times T_K,$$

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

$T_K$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

Для шестидневной рабочей недели  $T_K = 1,22$  ( $T_{КАЛ} = 366$ ,  $T_{ВД} = 52$ ,  $T_{ПД} = 14$ ).

Для пятидневной рабочей недели  $T_K = 1,48$  ( $T_{КАЛ} = 366$ ,  $T_{ВД} = 104$ ,  $T_{ПД} = 14$ ).

Все рассчитанные значения представлены в таблице 2. Диаграмма Ганта представлена в таблице 3.

Таблица 2 – Трудозатраты на выполнение проекта

| Название работы  | Исполнители | Продолжительность работ, дни |           |          | Трудоемкость работ по исполнителям, чел-дн. |       |          |       |
|--|-------------|------------------------------|-----------|----------|---|-------|----------|-------|
|  |             | $t_{min}$                    | $t_{max}$ | $t_{ож}$ | $T_{РД}$                                    |       | $T_{КД}$ |       |
|  |             |                              |           |          | НР  | И     | НР       | И     |
| Выбор темы ВКР   | НР          | 1                            | 2         | 1,4      | 1,68  | –     | 2,05     | –     |
| Выбор и описание направления исследования                            | НР, И       | 3                            | 5         | 3,8      | 3,65  | 3,65  | 4,45     | 5,4   |
| Подбор литературы для изучения предметной области                    | НР, И       | 8                            | 10        | 8,8      | 3,17  | 10,56 | 3,87     | 15,63 |
| Календарное планирование работ                                       | НР, И       | 4                            | 6         | 4,8      | 1,73  | 4,61  | 2,11     | 6,82  |
| Обсуждение требуемых результатов работы                              | НР, И       | 1                            | 3         | 1,8      | 1,73  | 2,16  | 2,11     | 3,2   |
| Опыты реализации устройства для подсветки зрачка в составе с камерой | И           | 9                            | 11        | 9,8      | –   | 11,76 | –        | 17,4  |
| Реализация алгоритмов обнаружения региона интереса исследования      | И           | 10                           | 13        | 11,2     | –   | 13,44 | –        | 19,89 |

Продолжение таблицы 2

| Название работы   | Исполнители | Продолжительность работ, дни |           |           | Трудоемкость работ по исполнителям, чел-дн. |              |              |               |
|---|-------------|------------------------------|-----------|-----------|---|--------------|--------------|---------------|
|   |             | $t_{min}$                    | $t_{max}$ | $t_{ож}$  | $T_{РД}$                                    |              | $T_{КД}$     |               |
|   |             |                              |           |           | НР  | И            | НР           | И             |
| Реализация алгоритмов и методов выделения параметров зрачка   | И           | 10                           | 13        | 11,2      | –   | 13,44        | –            | 19,89         |
| Тестирование и отладка реализованного комплекса               | НР, И       | 3                            | 5         | 3,8       | 1,37  | 4,56         | 1,67         | 6,75          |
| Описание мероприятий по социальной ответственности            | И           | 3                            | 5         | 3,8       | –   | 4,56         | –            | 6,75          |
| Описание ресурсоэффективности и ресурсоснабжения исследования | И           | 4                            | 6         | 4,8       | –   | 5,76         | –            | 8,52          |
| Составление отчета о проделанной работе                       | И           | 3                            | 5         | 3,8       | –   | 4,56         | –            | 6,75          |
| Защита ВКР  | И           | 1                            | 1         | 1         | –   | 1,2          | –            | 1,78          |
| <b>Итого:</b>   |             |                              |           | <b>70</b> | <b>13,33</b>                                | <b>80,26</b> | <b>16,26</b> | <b>118,78</b> |

Таблица 3 – Диаграмма Ганта

| № работы | <i>T<sub>кд</sub></i> |       | Февраль |    |    | Март |    |    | Апрель |    |    | Май |     |     | Июнь |     |
|----------|-----------------------|-------|---------|----|----|------|----|----|--------|----|----|-----|-----|-----|------|-----|
|          | НР                    | И     | 10      | 20 | 30 | 40   | 50 | 60 | 70     | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130  | 140 |
| 1        | 2,05                  | –     | ■       |    |    |      |    |    |        |    |    |     |     |     |      |     |
| 2        | 4,45                  | 5,4   | ■       | ■  |    |      |    |    |        |    |    |     |     |     |      |     |
| 3        | 3,87                  | 15,63 |         | ■  | ■  | ■    |    |    |        |    |    |     |     |     |      |     |
| 4        | 2,11                  | 6,82  |         |    |    | ■    | ■  |    |        |    |    |     |     |     |      |     |
| 5        | 2,11                  | 3,2   |         |    |    |      | ■  | ■  |        |    |    |     |     |     |      |     |
| 6        | –                     | 17,4  |         |    |    |      |    | ■  | ■      |    |    |     |     |     |      |     |
| 7        | –                     | 19,89 |         |    |    |      |    |    | ■      | ■  |    |     |     |     |      |     |

Продолжение таблицы 3

| № работы | Т <sub>кд</sub> |       | Февраль |    |    | Март |    |    | Апрель |    |    | Май |     |     | Июнь |     |
|----------|-----------------|-------|---------|----|----|------|----|----|--------|----|----|-----|-----|-----|------|-----|
|          | НР              | И     | 10      | 20 | 30 | 40   | 50 | 60 | 70     | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130  | 140 |
| 8        | –               | 19,89 |         |    |    |      |    |    |        |    | ■  |     |     |     |      |     |
| 9        | 1,67            | 6,75  |         |    |    |      |    |    |        |    |    | ■   | ■   |     |      |     |
| 10       | –               | 6,75  |         |    |    |      |    |    |        |    |    |     |     | ■   |      |     |
| 11       | –               | 8,52  |         |    |    |      |    |    |        |    |    |     |     |     | ■    |     |
| 12       | –               | 6,75  |         |    |    |      |    |    |        |    |    |     |     |     |      | ■   |
| 13       | –               | 1,78  |         |    |    |      |    |    |        |    |    |     |     |     |      | ■   |

■ – научный руководитель (НР);

■ – исполнитель ВКР (И).

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

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

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

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

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 ÷ 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

Результаты расчета материальных затрат представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет затрат на материалы

| Наименование материалов        | Цена за ед., руб. | Количество | Сумма, руб. |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Бумага для принтера формата А4 | 350               | 1 уп.      | 350         |
| Картридж для принтера          | 800               | 1 шт.      | 800         |
| Веб-камера                     | 1000              | 1 шт.      | 1000        |
| <b>Итого:</b>                  |                   |            | <b>2150</b> |

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны  $C_{mat} = 2150 \times 1,05 = 2257,5$  руб.

#### 4.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и исполнителя ВКР, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

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

$$ЗП_{дн-м} = MO / D_{мес},$$

При шестидневной рабочей неделе в 2020 году в месяце в среднем 25 рабочих дня. При пятидневной рабочей неделе в 2020 году в месяце в среднем 21 рабочий день.

Расчет затрат на полную заработную плату представлен в таблице 5. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{ПР} = 1,1$ ;  $K_{доп.ЗП} = 1,188$ ;  $K_p = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_u = 1,1 \times 1,188 \times 1,3 = 1,699$ . Вышеуказанное значение  $K_{доп.ЗП}$  применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае  $K_u = 1,62$ .

Таблица 5 – Затраты на заработную плату

| Исполнитель   | Оклад,<br>руб./мес. | Среднедневная<br>ставка,<br>руб./раб. день | Затраты<br>времени,<br>раб. дни | Коэффициент | Фонд<br>з/платы,<br>руб. |
|---------------|---------------------|--|---------------------------------|-------------|--------------------------|
| НР            | 33664               | 1346,65                                    | 14                              | 1,699       | 32031,42                 |
| И             | 30000               | 1428,57                                    | 81                              | 1,62        | 187456,96                |
| <b>Итого:</b> |                     |  |                                 |             | <b>219488,38</b>         |

#### 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:  $C_{соц} = C_{зн} \times 0,3$ .

Итак,  $C_{соц} = 219\,488,38 \times 0,3 = 65\,846,514$  руб.

#### 4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

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

$$C_{эл.об} = P_{об} \times t_{об} \times Ц_{э},$$

где  $P_{об}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{э}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $Ц_{э} = 6,59$  руб. кВт/час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для исполнителя ( $T_{РД}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{РД} \times K_t,$$

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

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \times K_C,$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

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

Расчет затрат на электроэнергию приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Затраты на электроэнергию

| Наименование оборудования | Время работы оборудования $t_{об}$ , час | Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт | Затраты Эл.об, руб. |
|---------------------------|--|--------------------------------------|---------------------|
| Персональный компьютер    | $81 \times 8 \times 0,5 = 324$           | 0,3                                  | 640,55              |
| Струйный принтер          | $75 \times 0,5 = 37,5$                   | 0,1                                  | 24,71               |
| Веб-камера                | $60 \times 0,5 = 30$                     | 0,004                                | 0,79                |
| <b>Итого:</b>             |  |                                      | <b>666,05</b>       |

#### 4.2.5 Расчет амортизационных расходов

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

$$C_{AM} = \frac{H_A \times Ц_{ОБ} \times t_{рф} \times n}{F_D},$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

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

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант

позволяет получить более объективную оценку  $C_{AM}$ . Для компьютера  $F_D = 300 * 8 = 2400$  часа, для принтера и веб-камеры  $F_D = 500$  часов.

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

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

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

Для определения  $H_A$  следует обратиться фрагменту из постановления правительства РФ «О классификации основных средств, включенных в амортизационные группы». Оно позволяет получить рамочные значения сроков амортизации (полезного использования) оборудования  $\equiv C_A$ . Например, для ПК это 2-3 года. Необходимо задать конкретное значение  $C_A$  из указанного интервала, в данном случае, 2,5 года. Далее определяется  $H_A$  как величина обратная  $C_A$ , в данном случае это  $1 / 2,5 = 0,4$ . Для принтера  $H_A = 1 / 2 = 0,5$ .

Расчет амортизационных затрат приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет амортизационных затрат

| Наименование оборудования | $n$ | $C_{об}$ | $t_{рф}$          | $H_A$ | $F_D$ | $C_{AM}$ , руб. |
|---------------------------|-----|----------|-------------------|-------|-------|-----------------|
| Персональный компьютер    | 1   | 70000    | $81 * 8 = 648$    | 0,4   | 2400  | 7560            |
| Струйный принтер          | 1   | 4000     | $75 * 0,5 = 37,5$ | 0,5   | 500   | 150             |
| Веб-камера                | 1   | 1000     | $60 * 0,4 = 30$   | 0,4   | 500   | 24              |
| <b>Итого:</b>             |     |          |                   |       |       | <b>7734</b>     |

#### 4.2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;

- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день.

Расходы по услугам связи составили 100 руб. Итого по данному пункту

$$C_{np} = 100 \text{ руб.}$$

#### 4.2.7 Расчет прочих расходов

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

$$C_{проч} = (C_{mat} + C_{зн} + C_{соц} + C_{эл.об} + C_{ам} + C_{нп}) \cdot 0,1$$

$$\text{Таким образом, } C_{проч} = (2257,5 + 219\,488,38 + 65\,846,514 + 666,05 + 7734 + 100) \cdot 0,1 = 29\,603,84 \text{ руб.}$$

#### 4.2.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Изучение методов сегментации анатомических структур сердца».

Расчет общей себестоимости разработки приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат                       | Условное обозначение | Сумма, руб.      |
|-------------------------------------|----------------------|------------------|
| Материалы и покупные изделия        | $C_{mat}$            | 2257,5           |
| Основная заработная плата           | $C_{зн}$             | 219488,38        |
| Отчисления в социальные фонды       | $C_{соц}$            | 65846,514        |
| Расходы на электроэнергию           | $C_{эл.}$            | 666,05           |
| Амортизационные отчисления          | $C_{ам}$             | 7740             |
| Непосредственно учитываемые расходы | $C_{np}$             | 100              |
| Прочие расходы                      | $C_{проч}$           | 29603,84         |
| <b>Итого:</b>                       |                      | <b>325702,28</b> |

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 325\,702,28$  руб.

#### 4.2.9 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и

коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере  $5 \div 20$  % от полной себестоимости проекта. В данном случае прибыль составляет 32 570,83 руб. (10 %) от расходов на разработку проекта.

#### **4.2.10 Расчет НДС**

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В данном случае это  $(325\,702,28 + 32\,570,83) * 0,2 = 71\,655,82$  руб.

#### **4.2.11 Цена разработки ВКР**

Цена разработки ВКР равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в данном случае  $C_{ВКР} = 325\,702,28 + 32\,570,83 + 71\,655,82 = 429\,928,93$  руб.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{P_i}}{\Phi_{max}},$$

где  $I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость проекта (в т.ч. аналоги).

Преимущество проекта состоит в том, что при покупке дополнительных экземпляров веб-камер и оснащении ими медицинского кабинета, стоимость остается существенно ниже стоимости конкурентных решений. Таким образом, рассчитаем показатели для проекта с тремя экземплярами веб-камер. Стоимость данного проекта составит  $325\ 702,28 + 1000 + 1000 = 327\ 702,28$  рублей:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{327702,28}{681720} = 0,48.$$

Продукт EyeLink 1000 Plus. Стоимость данного программно-аппаратного комплекса составляет  $1500\$ * 3 = 342\ 000$  рублей:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{342000}{681720} = 0,5.$$

Продукт GP3 HD Professional Bundle. Стоимость данного программно-аппаратного комплекса составляет  $2990\$ * 3 = 681\ 720$  рублей:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{681720}{681720} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки (0,48) отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i,$$

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

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

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

| Критерии                                       | Весовой коэффициент параметра | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
|--|-------------------------------|--------|--------|--------|
| 1. Автоматизация труда                         | 0,30                          | 5      | 5      | 5      |
| 2. Функциональная мощность                     | 0,23                          | 4      | 4      | 5      |
| 3. Удобство в эксплуатации и конфигурируемость | 0,11                          | 5      | 4      | 5      |
| 4. Потребность в ресурсах памяти               | 0,16                          | 5      | 4      | 4      |
| 5. Устойчивость алгоритма                      | 0,20                          | 4      | 5      | 5      |
| <b>Итого:</b>                                  | <b>1</b>                      |        |        |        |

$$I_{p_i} = 5 \times 0,30 + 4 \times 0,23 + 5 \times 0,11 + 5 \times 0,16 + 4 \times 0,20 = 4,57,$$

$$I_{p_i} = 5 \times 0,30 + 4 \times 0,23 + 4 \times 0,11 + 4 \times 0,16 + 5 \times 0,20 = 4,5,$$

$$I_{p_i} = 5 \times 0,30 + 5 \times 0,23 + 5 \times 0,11 + 4 \times 0,16 + 5 \times 0,20 = 4,84.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр.исп.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{финр.исп.2}} \text{ и т.д.}$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,57}{0,48} = 9,52,$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,5}{0,5} = 9,$$

$$I_{исп.3} = \frac{4,84}{1} = 4,84.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}.$$

$$I_{исп.1} = \frac{9,52}{9,52} = 1,$$

$$I_{исп.2} = \frac{9}{9,52} = 0,95,$$

$$I_{исп.3} = \frac{4,84}{9,52} = 0,51.$$

Сравнительная эффективность разработки приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительная эффективность разработки

| № | Показатели  | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
|---|---|--------|--------|--------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки           | 0,48   | 0,5    | 1      |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,57   | 4,5    | 4,84   |
| 3 | Интегральный показатель эффективности                   | 9,52   | 9      | 4,84   |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 1      | 0,95   | 0,51   |

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения, как наиболее эффективный.

## **5. Социальная ответственность**

### **5.1. Введение**

Одной из задач охраны труда на производстве является оценка состояния здоровья сотрудников перед выходом на смену, которая заключается в предсменных, предрейсовых или плановых медицинских осмотрах. Для оптимизации проверки состояния здоровья все чаще используются автоматизированные программно-аппаратные комплексы, проводящие экспресс-диагностику сотрудников перед выходом на смену и в конце рабочего дня. В составе таких медицинских портов имеется целый ряд проверяемых объективных параметров, в который может быть включена оценка состояния центральной нервной системы.

Существует множество вербальных, объективных и субъективных методов оценки состояния центральной нервной системы человека. Почти все методы ориентированы на оценку при непосредственном физическом присутствии как проводящего оценку персонала, так и человека – объекта исследования. Однако существует естественный и объективный индикатор состояния центральной нервной системы, оценив который, с высокой долей вероятности можно судить о наличии неких отклонений в его работе.

Проведено множество исследований, показывающие высокую точность и информативность показателей оценки состояния ЦНС методом пупиллометрии. Реакция зрачка глаза на любые внешние раздражители является безусловным рефлексом организма. Такое свойство пупиллометрии является важным фактором объективности исследования, так как практически отсутствует возможность намеренной подделки результатов исследования. Исследование методом пупиллометрии является простым и доступным способом оценки широкого спектра физиологических процессов.

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

### **5.2.1. Правовые нормы трудового законодательства для рабочей зоны пользователя ПК**

В ходе работы над темой исследования выпускной квалификационной работы проводились различные теоретические исследования, анализ и структуризация полученных данных, а также проектирование и программирование системы с использованием персонального компьютера.

Как разработка, так и эксплуатация программного обеспечения проходит за рабочим местом ПК. Именно поэтому в данной части выпускной квалификационной работы приведено влияние вредных факторов, получаемых от использования средств вычислительной техники, а также способы его минимизации.

Обеспечение производственной и экологической безопасности является необходимым условием реализации любых проектов, в том числе конструкторских и исследовательских. В общем, обеспечение безопасности предполагает создание безопасных и благоприятных рабочих условий для лиц, задействованных в работе над проектом, а также условий, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды.

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

К мероприятиям, относящимся к компоновке рабочей зоны, относятся работы по организации рабочего места пользователя, позволяющие наилучшим образом организовать деятельность сотрудника, делая его работу максимально удобной и безопасной.

Большое значение для профилактики статических физических перегрузок имеет правильная организация рабочего места человека, работающего с ПК.

Характеристика помещения, где выполнялась научно-исследовательская работа: ширина комнаты составляет  $b = 3\text{м}$ , длина  $a=4\text{м}$ . Тогда площадь

помещения будет составлять  $S=12\text{м}^2$ . В помещении имеется окно, через которое осуществляется вентиляция помещения. В помещении отсутствует принудительная вентиляция. В зимнее время помещение отапливается. Рабочая поверхность имеет высоту 0,75м. Электроснабжение от сети переменного напряжения 220 В. Помещение без повышенной опасности в отношении поражения человека электрическим током по ГОСТ Р 12.1.019-2009.

Компьютер, расположенный на рабочей поверхности обладает следующими характеристиками: процессор Intel Core i7, оперативная память 16 ГБ, операционная система Microsoft Windows 10, частота процессора 2,5ГГц, основной дисплей с диагональю 15,6 дюйма, разрешением 1920 на 1080, вспомогательный дисплей с диагональю 21,5 дюйма, разрешением 1920 на 1080.

Место для работы на компьютере и взаиморасположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При устройстве рабочего места человека, работающего за ПК необходимо соблюсти следующие основные условия: наилучшее местоположение оборудования и свободное рабочее пространство.

Основными элементами рабочего места являются стол и стул, т.к. рабочим положением является положение сидя. Рациональная планировка рабочего места определяет порядок и местоположение предметов, в особенности тех, которые для работ необходимы чаще.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680–800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной — не менее 500 мм, глубиной на уровне колен — не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног — не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до

переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420–550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм.

Мониторы должны быть расположены на уровне глаз оператора на расстоянии 500–600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране. Должна предусматриваться возможность регулирования экрана.

Рабочие места с компьютерами должны размещаться так, чтобы расстояние от экрана одного монитора до тыла другого было не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями мониторов - не менее 1,2 м.

### **5.3. Профессиональная социальная безопасность.**

Для обеспечения производственной безопасности необходимо проанализировать воздействия на человека вредных и опасных производственных факторов, которые могут возникать при разработке, внедрении или эксплуатации проекта.

Производственный фактор считается вредным, если воздействие этого фактора на работника может привести к его заболеванию. Производственный фактор считается опасным, если его воздействие на работника может привести к его травме [26].

Все производственные факторы классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические и психофизические. Для данной работы целесообразно рассмотреть физические и психофизические вредные и опасные факторы производства, характерные как для рабочей зоны специалиста, применяющего рассматриваемые в данной работе методы, так и для рабочей зоны пользователя готового продукта – медицинского сотрудника лечебно-профилактического учреждения. Выявленные факторы представлены в таблице 1 [27].

Таблица 1 – Вредные и опасные производственные факторы при выполнении работ за ПК

| Источник фактора, наименование видов работ | Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)   |   | Нормативные документы  |
|--|---|---|--|
|  | Вредные   | Опасные   |  |
| Работа за ПК                               | 1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.<br>2. Повышенный уровень электромагнитных излучений.<br>3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.<br>4. Монотонный режим работы. | 1. Опасность поражения электрическим током.<br>2. Опасность возникновения пожара. | СанПиН 2.2.4.548-96 [7*];<br>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [9*];<br>СП 52.13330.2011 [10*];<br>ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [11*];<br>СНиП 21-01-97 [12*]. |

### 5.3.1. Анализ вредных производственных факторов

#### Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны

Данный фактор является вредным производственным фактором и является фактором микроклимата рабочей среды, параметры которого регулируются СанПиН 2.2.4.548-96. К параметрам, характеризующим микроклимат в производственных помещениях, относятся:

- Температура воздуха ( $t$ , °C);
- Температура поверхностей ( $t$ , °C);
- Относительная влажность воздуха ( $\varphi$ , %);
- Скорость движения воздуха ( $v$ , м/с);
- Интенсивность теплового облучения ( $I$ , Вт/м<sup>2</sup>).

В производственных помещениях для работы с ПК происходит постоянное выделение тепла самой вычислительной техникой, вспомогательными приборами и средствами освещения. Поскольку сотрудник находится в непосредственной близости с источниками выделения тепла, то

данный фактор является одним из важнейших вредных факторов производственной среды медицинского сотрудника, а высокая температура воздуха способствует быстрому перегреву организма и быстрой утомляемости [28].

Влажность оказывает большое влияние на терморегуляцию организма. Так, например, высокие показатели относительной влажности (более 85 %) затрудняют терморегуляцию, снижая возможность испарения пота, низкие показатели влажности (менее 20 %) вызывают пересыхание слизистых оболочек человека [29].

Санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые значения величин показателей микроклимата рабочих мест для различных категорий работ в теплый и холодный периоды года. Для специалиста, создающего и применяющего методы сегментации, или пользователя, выполняющего работу за ПК, категория работ является лёгкой (1а), т.к. работа проводится сидя, без систематических физических нагрузок. Оптимальные параметры микроклимата в офисных помещениях приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оптимальные параметры микроклимата производственных помещений пользователя ПК

| <b>Период года</b> | <b>Температура воздуха, °С</b> | <b>Температура поверхностей, °С</b> | <b>Относительная влажность, %</b> | <b>Скорость движения воздуха, м/с</b> |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Холодный           | 22–24                          | 21–25                               | 60–40                             | 0,1                                   |
| Теплый             | 23–25                          | 22–26                               | 60–40                             | 0,1                                   |

Холодный период года – среднесуточная температура воздуха 10 °С и ниже, теплый период года – среднесуточная температура воздуха выше 10 °С.

В таблице 3 приведены допустимые показатели микроклимата для офисных помещений [30].

Таблица 3 – Допустимые показатели микроклимата производственных помещений пользователя ПК

| Период года | Температура воздуха, °С  |                          | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность, воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с, для диапазона температур воздуха |                                    |
|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|
|             | ниже оптимальных величин | выше оптимальных величин |                              |                                     | ниже оптимальных величин, не более                               | выше оптимальных величин, не более |
| Холодный    | 20,0–21,9                | 24,1–25,0                | 19–26                        | 15–75                               | 0,1  | 0,1                                |
| Теплый      | 21,0–22,9                | 25,1–28,0                | 20–29                        | 15–75                               | 0,1  | 0,2                                |

### **Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Уровень электромагнитных излучений на рабочем месте пользователя ПК является вредным фактором производственной среды, величины параметров которого определяются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Основными источниками электромагнитных излучений в помещениях для работы пользователей ПК являются дисплеи компьютеров и мобильных устройств, сеть электропроводки, системный блок, устройства бесперебойного питания, блоки питания.

Излучения, применительно к дисплеям современных ПК, можно разделить на следующие классы:

- Переменные электрические поля (5 Гц – 400 кГц);
- Переменные магнитные поля (5 Гц – 400 кГц).

Воздействие данных излучений на организм человека носит необратимый характер и зависит от напряженности полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемого тела. При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения нервной системы, кровеносной сердечно-сосудистой системы, органов пищеварения и половой системы [31].

В таблице 4 приведены допустимые уровни параметров электромагнитных полей [32].

Таблица 4 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ПК на рабочих местах

| Наименование параметров                       |                                    | Допустимые значения |
|---|------------------------------------|---------------------|
| <b>Напряженность электрического поля</b>      | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц    | 25 В/м              |
|   | в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц | 2,5 В/м             |
| <b>Плотность магнитного потока</b>            | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц    | 250 нТл             |
|   | в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц | 25 нТл              |
| <b>Напряженность электростатического поля</b> |                                    | 15 кВ/м             |

### **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным производственным фактором, возникающим при работе с ПК, уровни которого регламентируются СП 52.13330.2011.

Работа с компьютером подразумевает постоянный зрительный контакт с дисплеем ПК и занимает от 80% рабочего времени. Недостаточность освещения снижает производительность труда, увеличивает утомляемость и количество допускаемых ошибок, а также может привести к появлению профессиональных болезней зрения.

Разряд зрительных работ специалиста, выполняющего работу за ПК, относится к разряду III и подразряду г (работы высокой точности). В таблице 5 представлены нормативные показатели искусственного освещения при работах заданной точности [33].

Таблица 5 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий для пользователей ПК

| Характеристика зрительной работы | Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм | Разряд зрительной работы | Подразряд зрительной работы | Контраст объекта с фоном | Характеристика фона | Искусственное освещение                |                       |                              |
|----------------------------------|--|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|--|-----------------------|------------------------------|
|                                  |  |                          |                             |                          |                     | Освещённость, лк                       |                       |                              |
|                                  |  |                          |                             |                          |                     | При системе комбинированного освещения |                       | При системе общего освещения |
|                                  |  |                          |                             |                          |                     | всего                                  | В том числе от общего |                              |
| Высокой точности                 | От 0,3 до 0,5  | III                      | г                           | Средний, большой         | Светлый, средний    | 400                                    | 200                   | 200                          |

Работа выполнялась в жилой комнате по месту жительства автора научно исследовательской работы. В рассматриваемом помещении используется комбинированное освещение - искусственное и естественное. Искусственное освещение создается светодиодными лампами дневного освещения. Характеристики лампы: цветовая температура 5000К, номинальная мощность 8 Вт, световой поток 940 лм. При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 регламентируется минимальная искусственная освещенность рабочих мест в 400 лк при общем освещении.

Проведем расчет для выявления соответствия уровня освещенности рабочей зоны, создаваемый искусственным освещением комнаты.

Световой поток, создаваемый каждой из ламп, рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{\text{л.расч}} = \frac{E \times S \times z \times k}{n \times \eta}$$

где  $\Phi_{\text{л.расч}}$  – световой поток одной лампы, лм;

$E$  – минимальная освещенность, лк,  $E = 400$  лк;

$S$  – площадь помещения,  $m^2$ ,  $S = 12$   $m^2$ ;

$z$  – коэффициент неравномерности освещения,  $z = 1$ ;

$k$  – коэффициент запаса,  $k = 1$ ;

$\eta$  – коэффициент использования осветителей, %;

$n$  – число светильников в помещении

Коэффициент неравномерности освещения для светодиодных светильников допускается принять  $Z=1,0$ .

Коэффициент запаса для помещений, освещаемых светодиодными лампами, берется равным 1,0, так как загрязнения светопропускающих поверхностей источников света у светодиодных светильников отсутствует.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения ( $i$ ), рассчитываемому по выражению:

$$i = \frac{A \times B}{h * (A + B)}$$

где  $A$  – длина помещения, м,  $A = 4$  м;

$B$  – ширина помещения, м,  $B = 3$  м.

Для соответствующих размеров комнаты со светлым потолком и стенами, оклеенными светлыми обоями, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен  $\rho_c = 30$  % и потолка  $\rho_n = 50$  %.

По следующей формуле определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $h$ ):

$$h = H - h_p - h_c$$

где  $H$  – высота потолка в помещении, м,  $H = 2,3$  м;

$h_p$  – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м,  $h_p = 0,75$  м;

$h_c$  – расстояние от потолка до светильника, м,  $h_c = 0$  м.

Из расчетов следует, что  $h = 1,55$  м, тогда  $i = 1,11$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений  $i$ ,  $\rho_c$  и  $\rho_{\Pi}$  примем  $\eta = 55\%$ . Учитывая, что количество светодиодных ламп в помещении равно 8, определяем световой поток, который должна создавать каждая из ламп:

$$\Phi_{\text{л.расч}} = \frac{400 \times 12 \times 1 \times 1}{8 \times 0.55} = 1090 \text{ лм.}$$

В помещении установлены светодиодные лампы со световым потоком  $\Phi_{\text{л.станд}} = 940$  лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \times 100\% \leq 20\%$$

$$-10\% \leq \frac{940 - 1090}{940} \times 100\% \leq 20\%$$

$$-10\% \leq -15,95\% \leq 20\%$$

Таким образом, светодиодные лампы дневного цвета в количестве 8 штук, номинальной мощностью 8 Вт, не достаточны для обеспечения минимальной требуемой освещенности в анализируемом помещении. Для обеспечения достаточной освещенности помещения требуется доукомплектовать искусственное освещение комнаты одной дополнительной светодиодной лампой того же типа.

## Монотонный режим работы

Меры, позволяющие снизить воздействие этого вредного производственного фактора, которые регулируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, являются важными в работе пользователя ПК. Они позволяют увеличить производительность труда и предотвратить появление профессиональных болезней из-за монотонности работы, которые очень сильно влияют на сознание и психофизическое состояние

Организация работы с ПК осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности. Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А – работа по считыванию информации с экрана с предварительным запросом; группа Б – работа по вводу информации; группа В – творческая работа в режиме диалога с ПК. Работа специалиста, создающего и применяющего описанные в данной работе методы сегментации, относится к группам А и Б, в то время, как деятельность медицинского сотрудника, который будет использовать методы сегментации в профессиональной деятельности, относится к группе В. Категории трудовой деятельности различаются по степени тяжести выполняемых работ. Для снижения воздействия рассматриваемого вредного фактора предусмотрены регламентированные перерывы для каждой группы работ – таблица 6 [31].

Таблица 6 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида категории трудовой деятельности с ПК

| Категория работы с ПК | Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПК |                             |             | Суммарное время регламентированных перерывов, мин. |                      |
|-----------------------|--|-----------------------------|-------------|--|----------------------|
|                       | группа А, количество знаков                            | группа Б, количество знаков | группа В, ч | при 8-часовой смене                                | при 12-часовой смене |
| I                     | до 20 000  | до 15 000                   | до 2        | 50   | 80                   |
| II                    | до 40 000  | до 30 000                   | до 4        | 70   | 110                  |
| III                   | до 60 000  | до 40 000                   | до 6        | 90   | 140                  |

### **5.3.2. Анализ опасных производственных факторов**

#### **Опасность поражения электрическим током**

Поражение электрическим током является опасным производственным фактором и, поскольку пользователь ПК имеет дело с электрооборудованием, то вопросам электробезопасности на его рабочем месте должно уделяться много внимания. Нормы электробезопасности на рабочем месте регламентируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, вопросы требований к защите от поражения электрическим током освещены в ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ.

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно.

Помещение, где расположено рабочее место пользователя ПК, относится к помещениям без повышенной опасности ввиду отсутствия следующих факторов: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы, высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Для пользователя ПК при работе с электрическим оборудованием обязательны следующие меры предосторожности:

- Перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;
- При обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить человеку, ответственному за оборудование [32, 34].

## **Опасность возникновения пожара**

Возникновение пожара является опасным производственным фактором, т.к. пожар в учреждении наносит большой материальный ущерб, а также часто сопровождается травмами и несчастными случаями. Регулирование пожаробезопасности производится СНиП 21-01-97.

В помещениях с ПК повышен риск возникновения пожара из-за присутствия множества факторов: наличие большого количества электронных схем, устройств электропитания, устройств кондиционирования воздуха; возможные неисправности электрооборудования, освещения, или неправильная их эксплуатация может послужить причиной пожара.

Возможные виды источников воспламенения:

- Искра при разряде статического электричества;
- Искры от электрооборудования;
- Искры от удара и трения;
- Открытое пламя [35].

### **5.3.3. Мероприятия и рекомендации по устранению и минимизации**

Для поддержания нормальных значений параметров микроклимата на рабочих местах рекомендуется оснащать их системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Также, в некоторых случаях, целесообразно обеспечить питьевое водоснабжение. В помещениях для работы с ПК должна производиться ежедневная влажная уборка, а также систематическое проветривание после каждого часа работы [30].

Для защиты пользователей ПК от негативного воздействия электромагнитных полей в первую очередь необходимо, чтобы используемая техника удовлетворяла нормам и правилам сертификации. При работе с ПК установлены регламентированные перерывы, а также иногда предусмотрено использование экранов и фильтров в целях защиты сотрудника [32].

Для создания и поддержания благоприятных условий освещения для пользователей ПК, их рабочие места должны соответствовать санитарно-

эпидемиологическим правилам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Рабочее помещение должно иметь естественное и искусственное освещение, соответствующее показателям, представленным в таблице. Для рассеивания естественного освещения следует использовать жалюзи на окнах рабочих помещений.

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПК рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПК и без него. В случаях, когда характер работы требует постоянного взаимодействия с компьютером (работа специалиста, создающего и применяющего методы сегментации) с напряжением внимания и сосредоточенности, при исключении возможности периодического переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПК, рекомендуется организация перерывов на 10–15 мин. через каждые 45–60 мин. работы. При высоком уровне напряженности работы рекомендуется психологическая разгрузка в специально оборудованных помещениях [30].

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током относятся:

- При производстве монтажных работ необходимо использовать только исправный инструмент, аттестованный службой КИПиА;
- С целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены;
- При включенном сетевом напряжении работы на задней панели должны быть запрещены;
- Все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал;
- Необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки [32, 34].

Для профилактики организации действий при пожаре должен проводиться следующий комплекс организационных мер: должны обеспечиваться регулярные проверки пожарной сигнализации, первичных

средств пожаротушения; должен проводиться инструктаж и тренировки по действиям в случае пожара; не должны загромождаться или блокироваться пожарные выходы; должны выполняться правила техники безопасности и технической эксплуатации электроустановок; во всех служебных помещениях должны быть установлены «Планы эвакуации людей при пожаре и других ЧС», регламентирующие действия персонала при возникновении пожара.

Для предотвращения пожара помещение с ПК должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения: углекислотными огнетушителями типа ОУ-2 или ОУ-5; пожарной сигнализацией, а также, в некоторых случаях, автоматической установкой объемного газового пожаротушения [35].

#### **5.4. Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате разработки и реализации, предлагаемых в ВКР решений.

Создание и применение программно-аппаратного комплекса отслеживания реакции зрачков, а также работа за ПК не являются экологически опасными работами, потому объекты, на которых будет производиться ее использование пользователями медицинских портов относятся к предприятиям пятого класса, размер селитебной зоны для которых равен 50 м [36].

Непосредственно устройство и методы обработки не наносят вреда окружающей среде ни на стадиях разработки, ни на стадиях эксплуатации. Однако, средства, необходимые для разработки, внедрения и эксплуатации могут наносить вред окружающей среде.

Современные ПК производят практически без использования вредных веществ, опасных для человека и окружающей среды. Исключением являются аккумуляторные батареи компьютеров и мобильных устройств. В аккумуляторах содержатся тяжелые металлы, кислоты и щелочи, которые могут наносить ущерб окружающей среде, попадая в гидросферу и литосферу, если они были

неправильно утилизированы. Для утилизации аккумуляторов необходимо обращаться в специальные организации, специализировано занимающиеся приемом, утилизацией и переработкой аккумуляторных батарей [37].

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

В рабочей среде пользователя ПК возможно возникновение следующих чрезвычайных ситуаций техногенного характера:

- Пожары и взрывы в зданиях и на коммуникациях;
- Внезапное обрушение зданий.

Среди возможных стихийных бедствий можно выделить метеорологические (ураганы, ливни, заморозки), гидрологические (наводнения, паводки, подтопления), природные пожары.

К чрезвычайным ситуациям биолого-социального характера можно отнести эпидемии, эпизоотии, эпифитотии.

Экологические чрезвычайные ситуации могут быть вызваны изменениями состояния, литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы в результате деятельности человека [29].

Наиболее характерной для объекта, где размещаются рабочие помещения, оборудованные ПК, чрезвычайной ситуацией является пожар.

Помещение для работы пользователей ПК по системе классификации категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д (из 5-ти категорий А, Б, В1-В4, Г, Д), т.к. относится к помещениям с негорючими веществами и материалами в холодном состоянии [38].

Каждый сотрудник организации должен быть ознакомлен с инструкцией по пожарной безопасности, пройти инструктаж по технике безопасности и строго соблюдать его.

Запрещается использовать электроприборы в условиях, не соответствующих требованиям инструкций изготовителей, или имеющие неисправности, которые в соответствии с инструкцией по эксплуатации могут привести к пожару, а также эксплуатировать электропровода и кабели с

поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией. Электроустановки и бытовые электроприборы в помещениях по окончании рабочего времени должны быть обесточены (вилки должны быть вынуты из розеток). Под напряжением должны оставаться дежурное освещение и пожарная сигнализация. Недопустимо хранение легковоспламеняющихся, горючих и взрывчатых веществ, использование открытого огня в помещениях офиса.

Перед уходом из служебного помещения сотрудник обязан провести его осмотр, закрыть окна, и убедиться в том, что в помещении отсутствуют источники возможного возгорания, все электроприборы отключены и выключено освещение. С периодичностью не реже одного раза в три года необходимо проводить замеры сопротивления изоляции токоведущих частей силового и осветительного оборудования.

Повышение устойчивости достигается за счет проведения соответствующих организационно-технических мероприятий, подготовки персонала к работе в ЧС [27].

Сотрудник при обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т.п.) должен:

- Немедленно прекратить работу и вызвать пожарную охрану по телефону «010», сообщив при этом адрес, место возникновения пожара и свою фамилию;
- Принять по возможности меры по эвакуации людей и материальных ценностей;
- Отключить от сети закрепленное за ним электрооборудование;
- Приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;
- Сообщить непосредственному или вышестоящему начальнику и оповестить окружающих сотрудников;
- При общем сигнале опасности покинуть здание согласно «Плану эвакуации людей при пожаре и других ЧС».

Для тушения пожара применять ручные углекислотные огнетушители (типа ОУ-2, ОУ-5), находящиеся в помещениях офиса, и пожарный кран внутреннего противопожарного водопровода. Они предназначены для тушения начальных возгораний различных веществ и материалов, за исключением веществ, горение которых происходит без доступа воздуха. Огнетушители должны постоянно содержаться в исправном состоянии и быть готовыми к действию. Категорически запрещается тушить возгорания в помещениях офиса при помощи химических пенных огнетушителей (типа ОХП-10) [39].

## **5.6. Заключение**

В разделе «Социальная ответственность» рассматриваются вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению. Целями данного раздела являются принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве, и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

В данном разделе были проанализированы разработанные в ходе выпускной квалификационной работы решения с точки зрения социальной ответственности за моральные, общественные, экономические, экологические возможные негативные последствия и ущерб здоровью человека в результате их разработки, производства и внедрения. Кроме того, разработанные решения были проанализированы на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, оценена степень воздействия их на человека, общество и природную среду, предложены методы минимизации этих воздействий и защиты от них.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод пупиллометрии является достоверным, точным и объективным методом исследования функционального состояния центральной нервной системы для диагностики различных физиологических изменений.

При регистрации параметров пупиллограммы зрачка в реальном времени можно делать вывод о том, есть ли признаки отклонения работы нервной системы обследуемого человека.

В работе рассмотрена практическая сторона применения метода пупиллометрии, выявлены достаточные условия для проведения исследования. Сформирована конфигурация аппаратной части устройства для проведения обследования методом пупиллометрии.

Проанализированы алгоритмические решения для детектирования границ зрачка на изображении. Реализован собственный алгоритм для определения границ зрачка на изображениях поступающего видеопотока в реальном времени с описанием хода реализации.

Проанализированы точность работы предложенного алгоритма, возникающие проблемы детектирования и сегментации, приведены рекомендации по программному и аппаратному обеспечению.

Был проведен анализ ресурсоэффективности, в котором отражено преимущество в том, что стоимость проекта остается существенно ниже стоимости конкурентных решений.

Был проведен анализ опасных и вредных факторов. В результате анализа, помещение, в котором была выполнена работа, было приведено в соответствии с требованиями по минимальной освещенности.

Результирующий программно-аппаратный комплекс может быть использован для анализа параметров зрачка в реальном времени в составе устройств, требующих проведения обследования методом пупиллометрии, таких как автоматизированные медицинские терминалы и системы мониторинга усталости водителей.

### Список публикаций

Шубкин Е.О. Анализ состояния ЦНС с использованием метода пупиллометрии / Е.О. Шубкин // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 17–20 февраля 2020 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – [С.52-53]

## Список использованных источников

1. Куцало А.Л. Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики наркотической интоксикации: диссертация кандидата медицинских наук: 14.00.20 /: Институт токсикологии. - Санкт-Петербург, 2004. - 118 с.: 40 ил. РГБ ОД)
2. Куприянов А. С. Методы обработки и анализа пупиллограмм /: ИЗВ. ВУЗОВ. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. 2009. Т. 52, № 8 /: Научно проектный центр оптоэлектронных комплексов наблюдения. – Санкт-Петербург, 2008. – 2с
3. Ананин В.Ф. Объективные методы исследования зрения человека. В кн. Физиология человека, 1976, т.2, 4, с.693
4. Предрейсовый медицинский осмотр водителей: требование закона — условие безопасности [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kp.ru/guide/predreisovy-i-osmotr-voditelei.html> свободный (Дата обращения: 22.04.2020)
5. Матвеев И. А. «Методы и алгоритмы автоматической обработки изображений радужной оболочки глаза» дис. канд./д-ра технических. наук. Москва 2014.
6. Радужная оболочка глаза, строение [Электронный ресурс]. URL: <http://zrenue.com/anatomija-glaza/40-raduzhka/345-raduzhnaja-obolochka-glaza-raduzhka-stroenie.html> свободный (Дата обращения: 22.04.2020)
7. Laeng B., Sirous S., Gredebäck G. «Pupillometry: A window into the preconscious?» Perspectives on Psychological Science 7, 2012, с.18–27.
8. Грушко Ю. В. Аппаратно-программный комплекс для коммуникации людей, страдающих нарушениями двигательных функций, нервнопаралитическими синдромами и другими болезнями ЦНС, посредством технологии EyeTracking (окулографии) // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2019. Т. 27. № 2. С. 55-73. DOI: 10.26117/2079-6641- 2019-27-2-55-73

9. Котляревский Л.И. Образование зрачковых условных рефлексов и дифференцировка на непосредственный и речевой раздражители. /Л.И. Котляревский //Архив биологических наук, 1935. – Вып. 39. - №2. – С. 477-489
10. Татаренков, Д. А. Анализ методов обнаружения лиц на изображении / Д. А. Татаренков. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 4 (84). – С. 270-276. – URL: <https://moluch.ru/archive/84/15524/> (дата обращения: 18.05.2020).
11. Ахметвалеев, А.М. Нейросетевое моделирование функционального состояния человека на примере диагностики зрачкового рефлекса // Проблемы анализа и моделирования региональных социально-экономических процессов: материалы докладов VII Международной очной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. – С. 37-41.
12. Бакуткин И.В. Возможности хромопупиллометрии в оценке функционального состояния органа зрения / И. В. Бакуткин, В. В. Бакуткин // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – № 9, ч. 1. – С. 30-31
13. Большаков А.А., Лобанов В.В., Бакуткин В.В., Радченко М.А. Разработка бесконтактного прибора для экспресс-диагностики наркотической интоксикации // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине: сб. статей по материалам Всероссийской молодежной конференции. СГУ им. Н.Г. Чернышевского. – Саратов, 2012. – С. 233-236.
14. Кальницкая В.Е., Погребной А.И. Особенности реакции организма подростков, употребляющих психоактивные вещества (по данным пупиллометрии) // Актуальные вопросы физической культуры и спорта. – 2008. – Т. 10. – С. 124-128.
15. Кальницкая В.Е., Погребной А.И., Якобашвили В.А. Особенности пупилограммы у наркоманов в период острой абстиненции // Актуальные вопросы физической культуры и спорта. – 2003. – Т. 6. – С. 221-230.

16. Кальницкая В.Е., Погребной А.И. Биноккулярная синхронная пупиллометрия в мониторинге функционального состояния спортсменов высокой квалификации // Физическая культура, спорт - наука и практика. – 2012. – № 2. – С. 41-45.
17. Колесников В.В., Кальницкая В.Е., Погребной А.И., Якобашвили В.А., Ким Дэхун, Макарчук И.Е., Сурков А.С., Ганькин К.А., Варченко Н.Н. Особенности зрачкового рефлекса у больных наркоманией в период острой абстиненции // Вопросы наркологии. – 2004. – № 4. – С. 39-46
18. Open source eye tracking platform: сайт. – URL: <https://pupil-labs.com/products/core/> свободный (дата обращения: 02.06.2020).
19. Диагностические терминалы КРОК. Сайт – URL: <https://habr.com/ru/company/croc/blog/424501/> свободный (дата обращения: 02.06.2020).
20. GP3 Eye Tracker Сайт – URL: <https://www.gazept.com/product/gazepoint-gp3-eye-tracker/> свободный (дата обращения: 02.06.2020).
21. Top 12 Eye Tracking Hardware Companies (Ranked) Сайт – URL: <https://imotions.com/blog/top-eye-tracking-hardware-companies/> свободный (дата обращения: 02.06.2020).
22. Tobii Eye Tracker Сайт – URL: <https://gaming.tobii.com/tobii-eye-tracker-4c/> свободный (дата обращения: 02.06.2020).
23. Матвеев И.А. Методы и алгоритмы автоматической обработки изображений радужной оболочки глаза: дис. ... доктора технических наук. – М., 2014. – 209 с
24. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.12.2015) // Консультант Плюс. 2015. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_law\\_34683/?utm\\_campaign=law\\_doc&utm\\_source=google.adwords&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=Labor%20Code&gclid=CjwKEAjwgPe4BRCB66GG8PO69QkSJAC4EhHhU-5yAFZCJfmzkTLNGnrpgHNAyFPhhPzRo-sZGWmqnBoCPynw\\_wcB](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_34683/?utm_campaign=law_doc&utm_source=google.adwords&utm_medium=cpc&utm_content=Labor%20Code&gclid=CjwKEAjwgPe4BRCB66GG8PO69QkSJAC4EhHhU-5yAFZCJfmzkTLNGnrpgHNAyFPhhPzRo-sZGWmqnBoCPynw_wcB) (дата обращения: 25.04.2020).

- 25.СНиП 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Информационно-издательский центр Минздрав России, 1996.
- 26.Охрана труда. Основы безопасности жизнедеятельности // [www.Grandars.ru](http://www.Grandars.ru). 2016. URL: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/ohrana-truda.html> (дата обращения: 25.04.2020).
- 27.ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация // Библиотека ГОСТов. 2016. URL: <http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml> (дата обращения: 25.04.2020).
- 28.Ефремова О. С. Требования охраны труда при работе на персональных электронно-вычислительных машинах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство «Альфа-Пресс», 2008. – 176 с.
- 29.Назаренко О. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О. Б. Назаренко, Ю. А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.
- 30.СанПиН 2.2.4.548-96. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 25.04.2020).
- 31.Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник / С. В. Белов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 680 с.
- 32.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы // Библиотека гостей и нормативов. 2016. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/7a1/4294817617.pdf> (дата обращения: 26.04.2020).

- 33.СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 // Докипедия. URL: <https://dikipedia.ru/document/5319189> (дата обращения: 25.04.2020).
- 34.ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-12-1-019-2009-ssbt> (дата обращения: 25.04.2020).
- 35.СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 25.04.2020).
- 36.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и других объектов // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902065388> (дата обращения: 25.04.2020).
- 37.СанПиН 2.1.7.1322-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. 2.1.7. Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901862232> (дата обращения: 25.04.2020).
- 38.НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200032102> (дата обращения: 25.04.2020).
- 39.ППБ 01–03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.

## Приложение А

### CNS analysis using pupillometry

Студент:

| Группа | ФИО                  | Подпись | Дата |
|--------|----------------------|---------|------|
| 8ИМ8М  | Шубкин Егор Олегович |         |      |

Руководитель ВКР:

| Должность  | ФИО                              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------|----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОИТ | Пономарев Алексей<br>Анатольевич | к.т.н.                    |         |      |

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ИШБИП:

| Должность  | ФИО                               | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОИЯ | Диденко Анастасия<br>Владимировна | к.ф.н.                    |         |      |

## **1.1 Historical overview of the study of the eye and pupil**

The function of the eye and pupil was interesting to people in ancient times. This was especially interesting those who are engaged in the treatment and research of the way and features of the human body.

The first method of studying of the pupil is visual method by using pupilloscopes of simple constructions. They allowed measuring the diameter of the pupil using a measurement scale or templates. However, this method did not allow us to get the parameters of the pupil in dynamics: data on the rate of change in the diameter and other calculated parameters of changes in the diameter of the pupil. One of the simplest and most common devices was the Gaab pupillometer. The device is a plate with black dots of a certain diameter, with gradation from 1mm to 9mm. Holding the plate up to the eye, the actual pupil size is compared with the points applied to the device and the most matching size is selected. The accuracy of determining the pupil diameter did not exceed 0.5 mm.

The method based on dynamic response shooting was a more advanced registration of reflexes and does not require fixing the head. For many years, this method has caused difficulties due to the lack of technical possibilities. The first attempts to shoot on film were made in Lowenstein and Friedman (Lowenstein O., Friedman E., 1942). Special film and infrared illumination were used to track the reaction.

## **1.2 Eye as an object of recognition**

The iris is a ring-shaped formation that separates the posterior and anterior chambers of the eye. The iris regulates the flow of light to the surface of lens, to the front surface of which it is adjacent. The iris is part of the vascular membrane and consists of muscles that change the size of the pupil. The flow regulation function is realized both by direct changes in the pupil diameter and by the activity of the optical filter of the eye. The iris generally does not have a perfect round shape, and the

diameter in the horizontal direction is slightly larger than the diameter in the vertical direction. The average size of the iris is 12.5 mm wide and 12 mm high.

The pupil of a healthy person is in the form of a correct circle and is located in the center of the iris. The diameter of a human pupil can vary between 1.1 and 8 mm.

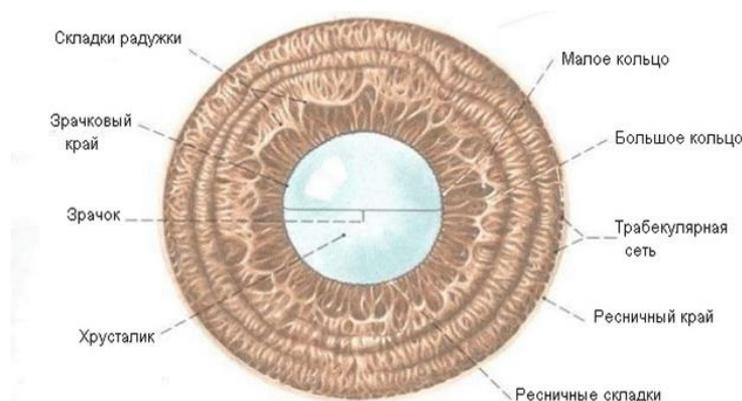


Figure 1 – Structure of the iris

Based on the size of the pupil diameter, it is divided into three types:

- midriatic (wide) – pupils with a diameter of more than 4 mm;
- myotic (narrow) – no more than 1.5 mm;
- normal – 1.5-4 mm

In 1988 Velkhover E. S. and his coauthors performed a study on 750 subjects in order to study the shape of the pupil. The results were visually recorded 3% of the total number of subjects deviations in the shape of the pupil from the round shape. The most popular deformations of the pupil shape are oval in any orientation and local flattening.

The dependence of the pupil size on the refraction of the eye and the age of the person was also studied (Smirnov V. A., 1953; Merkulov I. I., 1961). The dependency is shown in Table 1.

Table 1– Dependence of pupil diameter on age and visual acuity

| Age   | Pupil diameter, mm |                               |                                   |
|-------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
|       | Myopes<br>(myopia) | Emmetropia<br>(normal vision) | Hypermetropia<br>(farsightedness) |
| 20-30 | 3,55               | 3,25                          | 3,25                              |
| 30-40 | 3,6                | 3,45                          | 3,3                               |
| 40-50 | 3,6                | 3,2                           | 3,1                               |

Under normal conditions, the largest changes in pupil dilation occur as a reaction to changes in brightness. When the brightness changes from light to dark the pupil size increases by 3-4 mm, or about 120%.

### 1.3 Pupillometry as a method of express diagnostics

The main feature of the method is the objectivity of the study due to the fact that the reaction of the pupils to an external pathogen (light source) is an unconditional reflex and can not be controlled by the cerebral cortex in any way. This means that the results of the study can not be intentionally faked by simulating different states.

The fundamental research in the area of pupillometry method study is the dissertation of A. L. Kutsalo. This article describes the general mechanisms of action of opiates and its effects, including on the human pupil, supported by clinical, experimental, laboratory and mathematical-static methods of research. The article considers the anatomy and physiology of the pupil, possible pathologies and limitations of the pupillometry method, including those related to age-related changes. Important parameters of pupillographic indicators in drug addicts were studied and identified, which had the most significant amplitude-time deviations in comparison with the data of pupillograms of a healthy person.

This work forms the evidence base for the effectiveness of the realization and use of the pupillometry method in order to study the state of the central nervous

system with the selection of significant parameters in a time series. Therefore, the author concludes that the described method allows performing express diagnostics of the CNS state with an efficiency of at least 95%. Such a high confidence rate in the framework of express diagnostics is sufficient for the initial detection of signs of intoxication during a stream-based automatized test.

## 1.4 Pupillographic parameters

Pupillography is a dynamic recording of the pupil's response to a light flash. All parameters that are described below are calculated based on the dependence of two values recorded by the pupillometry device – the pupil diameter at a certain time. Based on the data recorded by the device, a pupillogram is constructed - a graph of the dependence of the pupil diameter on time (figure 2). Based on this graph, the significant parameters of the pupillogram are calculated.

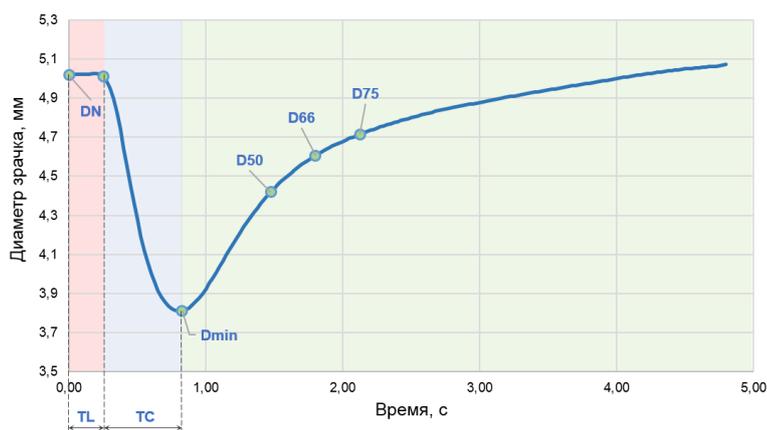


Figure 2 – Pupillogram with the main parameters

The pupillogram graph begins when the light pulse is applied to the retina. The time of exposure of the retina to the light in various studies is taken within the range of 0.2-1 seconds.

The list of informative parameters of the pupillogram described in the literature includes some important parameters for the study. It is possible to calculate all these important parameters based on the graph.

### Initial diameter (DN)

The original pupil diameter is fixed before the light pulse is given. This parameter depends on the overall functional state of the human body, as well as on

the external conditions of the study – the general lighting of the room, the characteristics of the measuring device, and the method of measurement.

### **Latent period of narrowing (TL)**

This value describes the delay before changes in the pupil size. . The pupillogram has the form of a horizontal section of the graph. According to data from various studies, the rate of latent period of narrowing is 0.15-0.5 seconds. This variation in the value is due to the fact that the studies were performed by different methods of registering the pupil reactions – both in complete darkness and with a light source that is weak, as well as a different source of light stimulus with different power.

### **Narrowing amplitude (AC)**

The parameter describes the difference between the maximum and minimum value of the pupil diameter. This parameter is affected by the duration of exposure to the light stimulus and the location of its impact on the retina. This parameter is also affected by background lighting during the study – an increase in background light causes contraction of the pupils, which means that the narrowing amplitude decreases accordingly.

### **Tapering time (TC)**

The period from the beginning of the pupil reaction to the moment of greatest contraction. It largely depends on the time when the light flow is applied. The time of narrowing in various studies ranges between 0.5-0.8 seconds.

### **Rate of contraction (VC)**

VC is the change in the pupil diameter over time. Is defined by the formula:

$$VC = \frac{AC}{TC}$$

The main difficulty faced by researchers when describing the parameters of pupillograms is to calculate the reaction rate, since it changes significantly over time. The first studies divided the area of narrowing into stages that were characterized by a fast or slow rate of narrowing.

A more precise way to describe the change in the rate of contraction was proposed by Machemer (N. Machemer, 1941), who considered the contraction curve as an exponent:

$$d = d_0 + ke^{-at}$$

d – the pupil diameter in a given time;

d<sub>0</sub> – the minimum pupil size;

k – a constant;

e – base of the natural logarithm, a mathematical constant;

a – speed change indicator determined by the slope of the logarithmic curve.

By differentiating the above expression, it is easy to determine the reaction rate at any time t.

### **Latency extension period (TLR)**

The time during which the maximum contraction of the pupil is observed. The effect is observed after the light stimulus is stopped.

### **Extension time (TR)**

Extension time is period from the completion of maximum pupil contraction to the restoration of the original size. It looks like a gentle curve. Additionally, the extension time value can be used for relative resizing values. For example, the pupillogram graph (figure 2) shows the point D50, which reflects the expansion time up to 50% of the amplitude of the pupil size change.

### **Speed of expansion (VR)**

VR is the value calculated using the formula:

$$VR = \frac{AC}{TR}$$

### **Total reaction time (T)**

This is the total time of the cycle of changing the size of the pupil from the moment of exposure to the stimulator to the end of the pupillary reaction. All phases and parameters for each person are individual, as is the pupillogram itself.

## **1.5 Pupillomotor symptoms**

Studies have shown that alcohol intoxication significantly changes the parameters of the resulting pupillogram, especially the most obvious sign is the parameter of the latent period of expansion. When a single exposure to alcohol (30 g of alcohol, diluted with 30 g of water) on a normal healthy person, the latent expansion period is extended by 5-6 times.

In the vast majority of cases, taking various psychotropic drugs changes the diameter of the pupils and distorts the parameters of the pupil's reaction. In people with drug addiction, the use of such means as morphine and heroin revealed a pattern in the form of more narrowed pupils, compared with the normal state. However, the use of cocaine, on the contrary, leads to pathological pupil dilation.

The mechanism of action is associated with a violation of the normal functioning of the nervous system, narrowing of blood vessels, weakening of muscles, which clearly affects the results of the study by pupillometry. Since the function of changing the size of the pupil is controlled by the autonomic nervous system, there is a change in pupillomotor parameters due to the experience of strong emotions, such as joy, fear, etc., which is also accompanied by other involuntary reactions of the body: heartbeat, blood pressure, sweating, breathing. Moreover, based on this reaction, there have been attempts to develop a system that functions as a lie detector, which detects likely changes in the emotional state of a person when trying to deceive. The system was developed at the center for measurement technologies and automation of the faculty of physics of the Lomonosov Moscow State University.