

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

Институт кибернетики
Направление подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах»
Кафедра автоматизации и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	

УДК 656.045.6:004.93'12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ5А	Цавнин Алексей Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Замятин С.В.	Доцент, к.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Менеджмента	Конотопский В.Ю.	Доцент, к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области информатики и вычислительной техники.
P2	Применять глубокие специальные знания в области информатики и вычислительной техники для решения междисциплинарных инженерных задач.
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием аппаратных и программных средств информационных и автоматизированных систем, с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации аппаратных и программных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

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



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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (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
8AM5A	Цавнину Алексею Владимировичу

Тема работы:

Устройство контроля состояния водителя на основе алгоритмов компьютерного зрения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№786/с от 09.02.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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</i>	

работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация в формате *.pptx на ____ слайдах
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	В.Н. Извеков
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы (Literature Review)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. АиКС	Замятин С.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8А10	Цавнин Алексей Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM5A	Цавнину Алексею Владимировичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Устройство контроля состояния водителя на основе алгоритмов компьютерного зрения
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;

действие фактора на организм человека;

приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);

предлагаемые средства защиты;

(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

механические опасности (источники, средства защиты);

термические опасности (источники, средства защиты);

электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);

пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

метеопараметры;

напряженность зрения;

напряженность труда;

освещенность;

электромагнитные излучения;

шум.

движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования;

электрический ток.

Разработка организационных и технических мер по нормализации уровней факторов и защите от их действия

2. Экологическая безопасность: защита селитебной зоны анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС; разработка решений по обеспечению экологической безопасности
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Выбор и описание возможных ЧС; типичная ЧС – пожар. разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны оператора.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ5А	Цавнин Алексей Владимирович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 116 с., 27 рис., 19 табл., 57 источников, 3 прил. Ключевые слова: контроль бодрствования, компьютерное зрение, Raspberry Pi, OpenCV, портативное устройство, C++.

Целью работы является разработка опытного образца портативного устройства на базе существующей аппаратно-вычислительной платформы, которая с использованием алгоритмов компьютерного зрения в реальном времени оценивала состояния водителя. Базовым признаком оценки состояния водителя было выбрано состояние глаз, т.е. открыты или закрыты и как долго.

В ходе работы проведен анализ существующих решений в данной области, выделены их преимущества и недостатки. Далее был произведен сравнительный анализ существующих аппаратных платформ, которые потенциально подходят для прототипирования. Основываясь на вычислительных возможностях и стоимости был выбран микрокомпьютер Raspberry Pi 2. В рамках реализации проекта было разработано программное обеспечение на языке C++, с использованием уже существующих библиотек компьютерного зрения.

Результатом работы является опытный образец, выполняющий базовый функционал оценки состояния водителя.

Область применения: автотранспорт, операторские станции.

Значимость работы заключается в повышении уровня дорожной безопасности путем снижения числа дорожно-транспортных происшествий, вызванных засыпанием водителя.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

OpenCV – Open Source Computer Vision Library.

EDA – Electro Dermal Activity.

ARM – Advanced RISC Machine.

OpenGL - Open Graphics Library.

SPI – Serial Peripheral Interface.

USB – Universal Serial Bus.

GTK – GIMP ToolKit

ATLAS – Automatically Tuned Linear Algebra Software

FRST – Fast Radial Symmetry Transform

• ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	17
2.1. Цифровое изображение	17
2.2. Обработка изображения	18
2.3. Компьютерное зрение	18
2.4. Библиотека OpenCV	19
2.5. Распознавание объектов	20
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА	25
3.1. Выбор аппаратной платформы	25
3.2. Аппаратная структура	26
3.3. Настройка программного обеспечения	27
3.4. Общий принцип работы устройства	29
3.5. Программная реализация функций устройства	30
3.5.1. Выбор языка программирования и вопросы оптимизации	30
3.5.2. Процедура детектирования	32
3.5.3. Оценка состояния глаза	40
4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ	53
5 ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ	54
5.1. Продолжительность этапов работ	55
5.2. Расчет накопления готовности проекта	60
5.3. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	61
5.4. Расчет затрат на материалы	61
5.5. Расчет заработной платы	62
5.6. Расчет затрат на электроэнергию	64
5.7. Расчет затрат на социальный налог	64
5.8. Расчет амортизационных расходов	65
5.9. Расчет прочих (накладных) расходов	66
5.10. Расчет общей себестоимости разработки	66

5.11. Расчет прибыли, НДС и цены разработки НИР	66
5.12. Оценка экономической эффективности проекта	67
5.13. Оценка научно-технического уровня НИР	67
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	70
Аннотация	70
Введение	70
6.1. Производственная безопасность	71
6.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	71
6.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования	74
6.1.3. Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)	75
6.2. Экологическая безопасность	88
6.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	88
6.2.2. Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду	88
6.2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	89
6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
6.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	90
6.3.2. Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований	91
6.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	92
6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	94
6.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства	94
6.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А	112
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	113
ПРИЛОЖЕНИЕ В	114

ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе число автотранспортных средств, как личных, так и находящихся в муниципальном пользовании, растет большими темпами. По официальной статистике, показатель автомобилизации, т.е. число индивидуальных легковых автомобилей на 1000 жителей, в странах Европы и Америки превышает значение 600 [1]. В связи с этим, вопросы безопасности участников дорожного движения становятся актуальнее год от года.

Общемировой показатель смертности на дорогах на сегодняшний момент достигает 1,24 миллиона человека в год и с учетом текущей динамики утроится к 2030 году [2]. По статистике, около 20% дорожно-транспортных происшествий происходит по вине водителей, потерявших концентрацию в силу усталости или вовсе уснувших. [3-5].

В данной работе рассмотрен процесс создания портативного устройства на базе алгоритмов компьютерного зрения назначением которого является предотвращение и предупреждение засыпания водителя за рулем. Под процессом создания подразумевается проведение сравнительного анализа существующих портативных аппаратных платформ, которые бы отвечали требованиям производительности и вычислительной мощности, а также имели возможность быть перепрограммируемыми под пользовательский цели и задачи. Также сюда входит разработка программного обеспечения, алгоритмически выполняющего задачи распознавания таких объектов как лицо и глаза и основываясь на полученной информации принимать решение о состоянии водителя.

В ходе выполнения работы был разработан опытный образец. Результаты работы были представлены на международных и всероссийских научно-практических конференциях, а также данная работа была участником конкурса научно-технических и инженерных проектов.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

На сегодняшний момент во всем мире ведутся работы над решением данной проблемы и существующие средства, предотвращающие засыпание водителя, можно условно разделить на две группы:

- серийные комплексные системы;
- портативные устройства

Серийные системы в большинстве своем в качестве оценочных параметров используют боковое отклонение автомобиля от линии дорожной разметки. Анализ положения транспортного средства на дороге производится с помощью цифровых камер, фиксирующих дорожную разметку, и позволяющие непосредственно анализировать боковое отклонение автомобиля от линии дорожной разметки [6, 7]. Данный подход дает более точную информацию о движении автомобиля внутри полосы, но основным ограничивающим фактором является повышенное требование к качеству дорожной разметки. Кроме того, ряд интегрированных систем используют изменение угла поворота руля как основной оценочный параметр [8, 9]. Данный метод оценки состояния дорожной ситуации отслеживает управляющие воздействия непосредственно самого водителя, что позволяет более оперативно оценить движение автомобиля, однако, не всегда соответствует действительному перемещению автомобиля. По правилам допуска легковых автомобилей к эксплуатации на дорогах РФ суммарный разрешенный люфт в рулевой системе составляет 10 градусов [10]. В этом же диапазоне находятся и минимальные рулевые корректировки, отражающие произвольные отклонения автомобиля от безопасной траектории движения, что снижает эффективность данного метода контроля. Главным недостатком интегрированных решений в целом является тот факт, что они являются частью автомобилей, причем не самой дешевой ценовой категории, что делает решение вопросов безопасности на дороге недоступными для некоторых слоев населения. Наиболее популярными решениями в группе портативных устройств являются устройства, реагирующие на наклон головы водителя, который, вероятно, является следствием засыпания. Данные устройства, как

правило, выполнены в форме наушников, как, например, устройство «Антисон» (рис. 1.1). Кроме того, существуют устройства, фиксирующие кожно-гальванические реакции, которые физиологически связаны с состоянием человека [11]. Данные устройства представлены в форме перстней или браслетов для непосредственного отслеживания физического параметра человека, что может доставлять водителю некоторые неудобства. Ярким примером является устройство «Stopsleep» (рис. 1.2).



Рисунок 1.1 – Устройство «Антисон»



Рисунок 1.2 – Устройство «Stopsleep»

В отдельный класс устройств можно выделить устройства, оценивающие состояние водителя визуально, т.е. с применением компьютерного зрения и машинного обучения. Данные устройства проводят видеофиксацию движений

глаз и век, детектируют продолжительные закрытия глаза, учащенное моргание. Большинство устройств данной группы в настоящее время находятся на стадии разработки, и полноценная оценка их эффективности и проведение сравнительного анализа в настоящее время проблематичны.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Цифровое изображение

Цифровое (электронное) изображение представляет собой двумерный массив пикселей, размером $M \times N$ (рис. 2.1.1).

$A(1;1)$	$A(1;2)$	$A(1;3)$	$A(1;N)$
$A(2;1)$	$A(2;2)$	$A(2;3)$	$\vdots$
$A(3;1)$	$A(3;2)$	$A(3;3)$	$\vdots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$A(M;1)$	$A(M;2)$	$A(M;3)$	$A(M;N)$

Рисунок 2.1.1 – Массив пикселей $M \times N$

Основными характеристиками электронного изображения, помимо его размера, являются число каналов и глубина цвета. Число каналов определяет сколько цветов задействовано в формировании пикселя, т.е. цветное изображение является трехканальным, где каждый канал характеризует степень интенсивности для каждого из трех основных цветов: красный (Red), зеленый (Green) и синий (Blue). Монохромное изображение, т.е. изображение, представленное исключительно в градациях серого, является одноканальным. Глубина цвета или его интенсивность характеризует число возможных оттенков, которые можно получить для каждого цвета. Глубина характеризуется числом бит. Количество возможных оттенков определяется как:

$$D = 2^N - 1 \quad (2.1.1)$$

Где D - число оттенков цвета, N - глубина цвета

В данной работе производится обработка одно- и трехканального изображений с глубиной 8 бит. Таким образом, исходя из формулы (2.1.1), каждый пиксель изображения формируется как комбинация чисел в диапазоне от 0 до 255 по каждому из каналов.

2.2. Обработка изображения

В основе алгоритмов обработки изображений положены в основном интегральные преобразования: свертка, преобразование Фурье и др. Также используются статистические методы. Методы обработки изображений классифицируют обычно по количеству пикселей, участвующих в одном шаге преобразования. Пусть задано некоторое двумерное изображение A размером $M \times N$, где $a(M;N)$ - некоторая точка исходного изображения, $a^*(M;N)$ - модифицированная точка исходного массива.

Существует 3 основных метода обработки изображений:

- точечные методы в процессе выполнения преобразуют значение в точке $a(M;N)$ в значение $a^*(M;N)$ независимо от соседних точек;
- локальные методы для вычисления значения $a^*(M;N)$ используют значения соседних точек в окрестности точки $a(M;N)$;
- глобальные методы определяют значение $a^*(M;N)$ на основе всех значений исходного изображения A [12].

2.3. Компьютерное зрение

Как наука, данная дисциплина, имеет тесную корреляцию с вопросами искусственного интеллекта и нейронных сетей, т.е. фактически является неким инструментом, позволяющим вычислительным устройствам делать самостоятельные выводы об окружающей среде.

Целью компьютерного зрения является формирование полезных выводов относительно объектов и сцен реального мира на основе анализа изображений, полученных с помощью датчиков. [13]

Как уже было описано в разделе 2.1, каждый пиксель цветного изображения представляет собой набор из 3 целых чисел, характеризующих интенсивность каждого цвета. Таким образом, изображение или его часть, воспринимается компьютером как матрица целых чисел (рис. 2.3.1) [14].

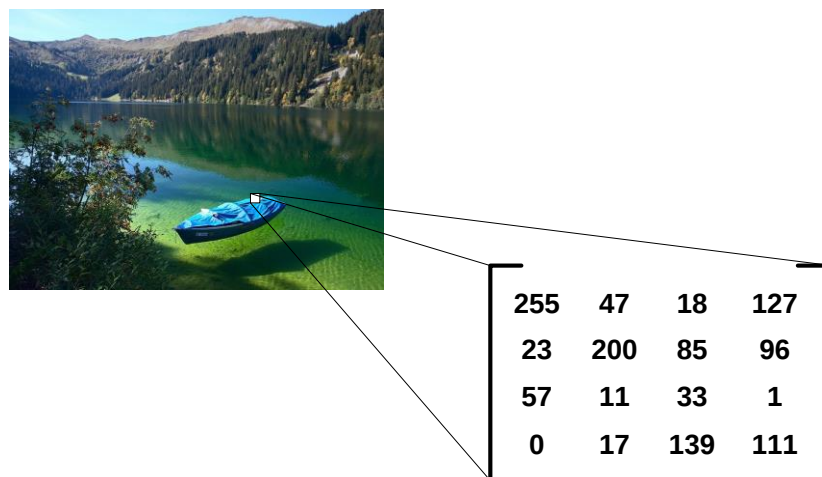


Рисунок 2.3.1 – Восприятие изображения компьютером

2.4. Библиотека OpenCV

На сегодняшний день самым распространенным инструментом для работы с компьютерным зрением является свободно распространяемая библиотека OpenCV. OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library, библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом) — библиотека, содержащая методы технического зрения, алгоритмы обработки изображений, а также численных методы с открытым кодом. Реализована на C/C++, также разрабатывается для иных языков программирования, как компилируемых так и интерпретируемых [15].

В настоящее время данная библиотека применяется с целью организации единой стандартизации в области компьютерного зрения, а также программных и аппаратных продуктов, использующих данную технологию.

Библиотека содержит следующие основные модули:

- `opencv_core` — основной модуль. В нем находятся базовые структуры, вычисления (генераторы случайных чисел и математические функции) и линейную алгебру, DCT, DFT, ввод/вывод для YAWL и XML и т. д.
- `opencv_imgproc` — обработка изображений (фильтрация, преобразование цветовых пространств, геометрические преобразования и т. д.).
- `opencv_highgui` — простой UI для ввода/вывода изображений и видео.

- `opencv_ml` — модели машинного обучения (деревья решений, SVM, обучение со стимулированием и т. д.).
- `opencv_features2d` — распознавание и описание плоских фигур и примитивов (FAST, SURF и другие, включает в себя специализированный фреймворк).
- `opencv_video` — используется для анализа движений и отслеживания объектов (шаблоны движения, оптический поток, устранение фона).
- `opencv_objdetect` — используется для обнаружения объектов на изображении (распознавание людей HOG, нахождение лиц с помощью алгоритма Виолы-Джонса и т. д.).
- `opencv_calib3d` — используется для калибровки камеры, для поиска стерео-соответствия и для элементной обработки трехмерных данных.

Одним из важнейших классов данной библиотеки, представляющий некий тип данных, хранящий изображение и поддерживающий необходимые методы, называется **Mat**. **Mat** есть n -мерный числовой одно- или мультимедийный массив. Данный класс может быть использован для хранения вещественных или комплекснозначных векторов и/или матриц, монохромных или цветных изображений, облаков точек, тензоров, векторных полей, гистограмм. Структура данных некоторого массива N типа **Mat** будет определяться массивом $N.step[]$. Таким образом, адрес каждого элемента $(i_0, \dots, i_{N.dims-1})$ массива N , где $0 \leq i_k < N.size[k]$ может быть рассчитан как

$$addr = N.data + N.step[0] \cdot i_0 + N.step[1] \cdot i_1 + \dots + N.step[N.dims-1] \cdot i_{N.dims-1} \quad 2.4.1$$

где $dims$ – размерность массива по каждому измерению.

Для двумерного массива формула 2.4.1 сокращается до следующего вида [16]:

$$addr(N_{i,j}) = N.data + N.step[0] \cdot i + N.step[1] \cdot j.$$

2.5. Распознавание объектов

Основной функционал заявленного устройства базируется на операциях распознавания в кадрированном видеопотоке определенных объектов. В данном случае, к таковым относятся лицо и глаза. На сегодняшний день главным инструментом детектирования лица и его частей на изображении в реальном времени является алгоритм Виолы-Джонса [17], [18].

Представленный метод использует в своей основе принцип «сканирующего окна» (scanning window). Как уже было указано в разделах 2.1, 2.3, цифровое изображение представляет собой двумерный массив пикселей размером $M \times N$, где каждый пиксель выражен значением в диапазоне 0 – 255 для каждого цветового канала. Поиск лица и его черт производится в активной области изображения прямоугольными признаками, описывающие найденное лицо и возвращающие границы прямоугольной области, в которой потенциально находится искомый объект в формате:

$$R = \{x, y, w, h, a\},$$

x, y - координаты центра прямоугольника, w, h - ширина и высота, a - угол наклона относительно оси ординат.

Процесс распознавания объектов в реальном времени требует высокой вычислительной скорости работы методов в связи с чем входное изображение используется в интегральном представлении. Интегральное представление позволяет быстро рассчитывать суммарную интенсивность пикселей произвольного прямоугольника, причем размеры заданного прямоугольника не влияют на время расчета. Интегральное представление можно представить в виде матрицы, размеры которой совпадают с размерами исходного изображения I , где каждый элемент рассчитывается как

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

где $I(x, y)$ - интенсивность исходного пикселя. Каждый элемент рассчитанного двумерного массива $\Pi(x, y)$ есть суммарная интенсивность пикселей в прямоугольной области, размеры которой определяются координатами $(0; 0)$, $(x; y)$. Суммирование яркостей пикселей некоторой области требует времени пропорционально размеру массива, но в интегральном представлении необходимо произвести всего 3 арифметические операции и 4 раза обратиться к памяти, что значительно повышает скорость расчета признаков Хаара в процесс распознавания. Допустим, необходимо рассчитать суммарную интенсивность прямоугольной области $ABCD$, представленной на рисунке 2.5.1.

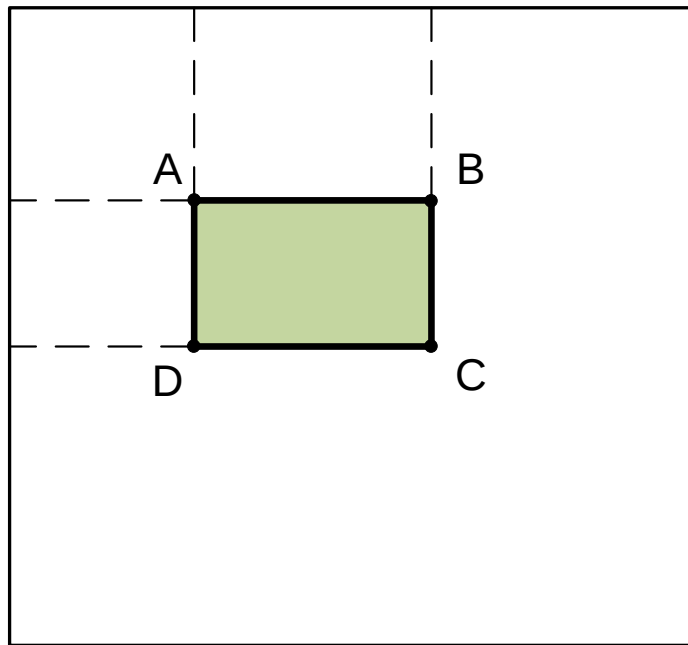


Рисунок 2.5.1 – Расчет суммарной интенсивности области в интегральном представлении

Данная сумма может быть выражена через суммы и разности смежных прямоугольных областей и справедливо следующее выражение [19]:

$$\Pi_{ABCD}(x, y) = \Pi_A(x, y) + \Pi_C(x, y) - \Pi_B(x, y) - \Pi_D(x, y).$$

Задача распознавания образов на цифровом изображении строится на специальных признаках, названных признаками Хаара. Признак Хаара

представляет собой прямоугольник, состоящий из двух или более черных и белых областей (рис. 2.5.2).

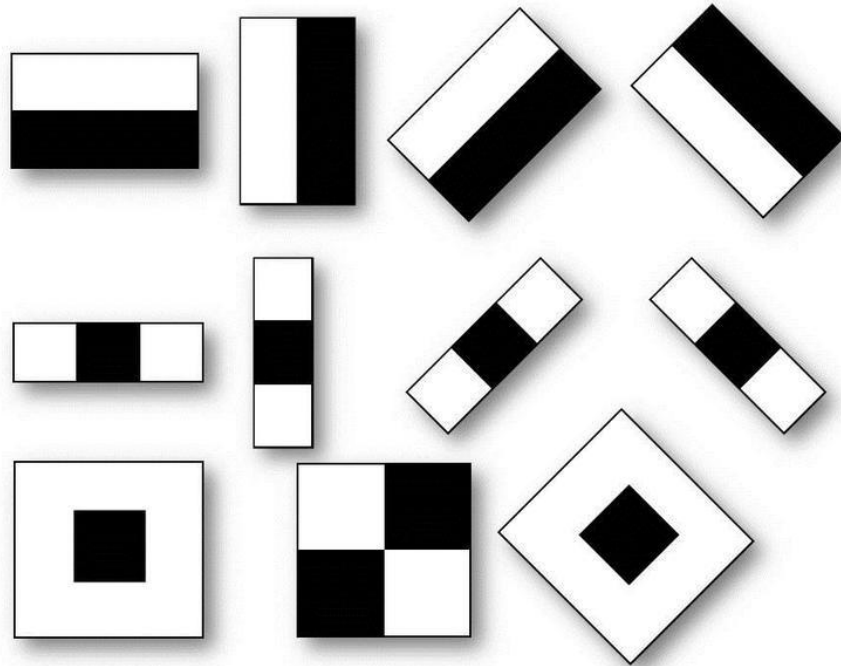


Рисунок 2.5.2 – Признаки Хаара

Каждый из представленных признаков позиционируется на входном изображении, после чего производится суммирование интенсивностей пикселей в областях. Обозначим сумму значений интенсивности пикселей исходного изображения, перекрываемых светлой частью признака Хаара, Π_{LIGHT} , а перекрываемых темной частью, соответственно, Π_{DARK} . Тогда разность $F = \Pi_{LIGHT} - \Pi_{DARK}$ является вычисляемым значением признака [20, 21]. Изначально, в методе Виолы-Джонса использовались исключительно ортогональные примитивы, однако, с развитием метода были предложены примитивы с наклоном 45 градусов относительно осей координат, а также признаки с несимметричной конфигурацией. Кроме того, вместо идеи простой разности было предложено производить вычисление значения признака как взвешенную сумму пикселей темной и светлой областей:

$$f = \sum_{i=1..N} \omega_i \cdot \Pi_i,$$

где ω - весовой коэффициент, I - суммарная интенсивность области [22].

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА

3.1. Выбор аппаратной платформы

Устройство представляет собой опытный образец, построенный на базе универсальной аппаратной портативной платформы и выполняющий минимально необходимый функционал. Для выбора аппаратной платформы был проведен сравнительный анализ существующих миникомпьютеров и аппаратно-вычислительных платформ.

В целом, методы компьютерного зрения, которые предполагается использовать в данной работе, представляют собой обработку двумерных массивов в реальном времени, что является довольно затратной операцией с точки зрения вычислительных мощностей электронного устройства. Таким образом, для выполнения поставленной задачи наиболее важными характеристиками платформы будут являться: тактовая частота процессора, объем энергозависимой и энергонезависимой памяти, наличие различных портов, устройств ввода-вывода, поддерживаемых интерфейсов, а также стоимость. Для анализа были выбраны наиболее популярные и распространенные платформы такие как BeagleBone Black, Intel Galileo, Raspberry Pi 2, CubieBoard2.

В Приложении А приведена сводная информация по характеристикам описываемых устройств.

Исходя из результатов сравнительного анализа, приведенных в Приложении А, наиболее оптимальным решением задачи выбора платформы является Raspberry Pi 2.

Raspberry Pi 2— одноплатный компьютер, изначально разработанный как бюджетная система для обучения информатике, впоследствии получивший более широкое применение. ARM11 процессором Broadcom BCM2835 с тактовой частотой 900 МГц и модулем оперативной памяти на 1Гб, размещенными по технологии «package-on-package» непосредственно на процессоре. Модель «2 В» оснащается процессором с 4 ядрами Cortex-A7 с частотой 1ГГц и оперативной памятью размером 1ГБ. Модель оснащена четырьмя USB 2.0 портами, также

присутствует порт Ethernet. Помимо основного ядра, BCM2835 включает в себя графическое ядро с поддержкой OpenGL ES 2.0, аппаратного ускорения и FullHD-видео и DSP-ядро

Главным отличием Raspberry от многих более продвинутых одноплатных компьютеров является высокоуровневая техническая поддержка, выраженная в высоком уровне оптимизации дистрибутивов программного обеспечения, наборы всевозможных библиотек с функциями и методами, которые сразу готовы для использования в авторских проектах, а также высокий уровень унификации аппаратных компонентов.

Официальной операционной системой для выбранной аппаратной платформы является вариант Debian — Raspbian. Помимо Raspbian, устройство поддерживает ряд других POSIX- систем: Debian Wheezy, Ubuntu MATE, Fedora Remix [23].

3.2. Аппаратная структура

Опытный образец имеет в своем составе следующие основные аппаратные компоненты:

- микрокомпьютер Raspberry Pi 2;
- камера;
- сенсорный дисплей.

К представленной аппаратной платформе с использованием интерфейса USB 2.0 присоединяется камера, с помощью которой производится захват изображения. На этапе прототипирования выбрана камера Logitech C170, способная производить захват видео разрешением до 1024 x 768 пикселей [24]. В силу высокого уровня поддержки и распространенности интерфейса USB, для инициализации камеры не требуется никаких программных манипуляций и дополнительных настроек.

Для демонстрации работы устройства к микрокомпьютеру был подключен сенсорный дисплей диагональю 3,2 дюйма с использованием интерфейса SPI. Данное устройство требует программной настройки путем установки драйверов.

Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 3.2.1.

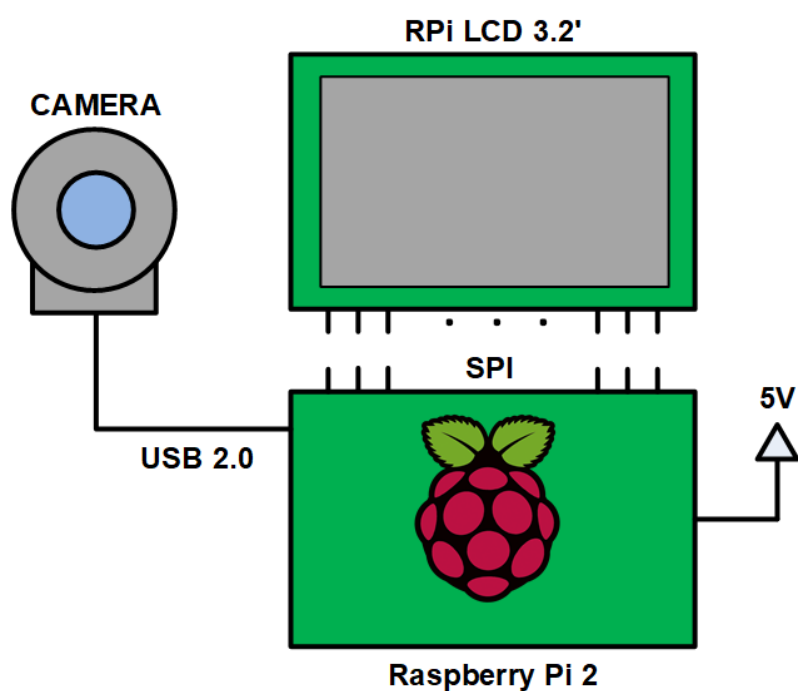


Рисунок 3.2.1 – Принципиальная схема устройства

Собранная включенная аппаратная часть представлена на рисунке 3.2.2.

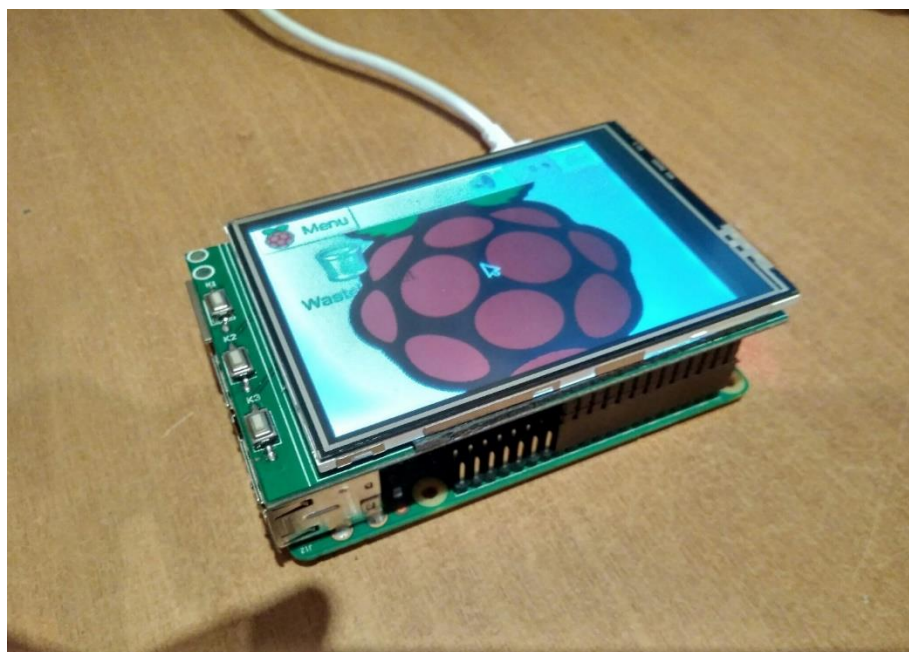


Рисунок 3.2.2. – Собранная аппаратная часть

3.3. Настройка программного обеспечения

Ключевым аспектом настройки программного обеспечения платформы является установка и настройка библиотек компьютерного зрения и, при необходимости, их компиляция с возможностью работы под различными языками программирования.

Первым этапом является подготовка операционной системы Raspbian для установки путем ее обновления. Для процедуры обновления и для последующих программных манипуляций используется терминал при подключенном к сети Интернет микрокомпьютере.

Для обновления используем 3 команды:

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get upgrade  
sudo rpi-update
```

Затем произведем инсталляцию необходимых инструментов разработки

```
sudo apt-get install build-essential git cmake pkg-config.
```

Далее, для поддержки всевозможных форматов фото- и видеофайлов воспользуемся командами

```
sudo apt-get install libjpeg8-dev libtiff4-dev libjasper-dev libpng12-dev  
sudo apt-get install libavcodec-dev libavformat-dev libswscale-dev libv4l-dev
```

Далее произведем инсталляцию фреймворка GTK, который необходим для создания графического интерфейса пользователя (GUI)

```
sudo apt-get install libgtk2.0-dev
```

Для оптимизации методов библиотеки для работы с матрицами произведем установку библиотек ATLAS

```
sudo apt-get install libatlas-base-dev gfortran
```

Установив все необходимые пакеты и обновив систему, произведем загрузку библиотеки OpenCV и ее распаковку

```
wget -O opencv-2.4.10.zip  
http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/files/opencv-unix/2.4.10/opencv-  
2.4.10.zip/download  
unzip opencv-2.4.10.zip
```

Перейдем в директорию с распакованным архивом и создадим поддиректорию для будущего построения библиотеки

```
cd opencv-2.4.10  
mkdir build  
cd build
```

Далее произведем сборку библиотеки с помощью утилиты CMake с указанными параметрами

```
cmake -D CMAKE_BUILD_TYPE = RELEASE -D  
CMAKE_INSTALL_PREFIX=/usr/local-D  
BUILD_NEW_PYTHON_SUPPORT=ON -D INSTALL_C_EXAMPLES=ON  
-D INSTALL_PYTHON_EXAMPLES=ON -D BUILD_EXAMPLES = ON ..
```

Окончательно скомпилируем OpenCV

```
make  
sudo make install
```

Теперь программная часть платформы настроена и готова к разработке пользовательского программного обеспечения [25].

3.4. Общий принцип работы устройства

Подключенная к микрокомпьютеру цифровая камера располагается в салоне автомобиля таким образом, что лицо водителя целиком попадает в поле видимости ее видеоискателя. Видеопоток, полученный с камеры поступает на

аппаратно-вычислительную часть устройства и затем подвергается дальнейшей обработке. Под обработкой понимается кадрирование потока, детектирование и выделение объектов типа «Лицо» и «Глаза». В случае, если в течение установленного времени, глаза не могут быть найдены в области лица, либо они закрыты, либо детектированы иные признаки, не соответствующие безопасному поведению водителя, производится звуковая сигнализация. Схема расположения устройства в салоне изображена на рисунке 3.4.1. Более подробно алгоритмизация и функционал устройства описаны в последующих разделах данной статьи.

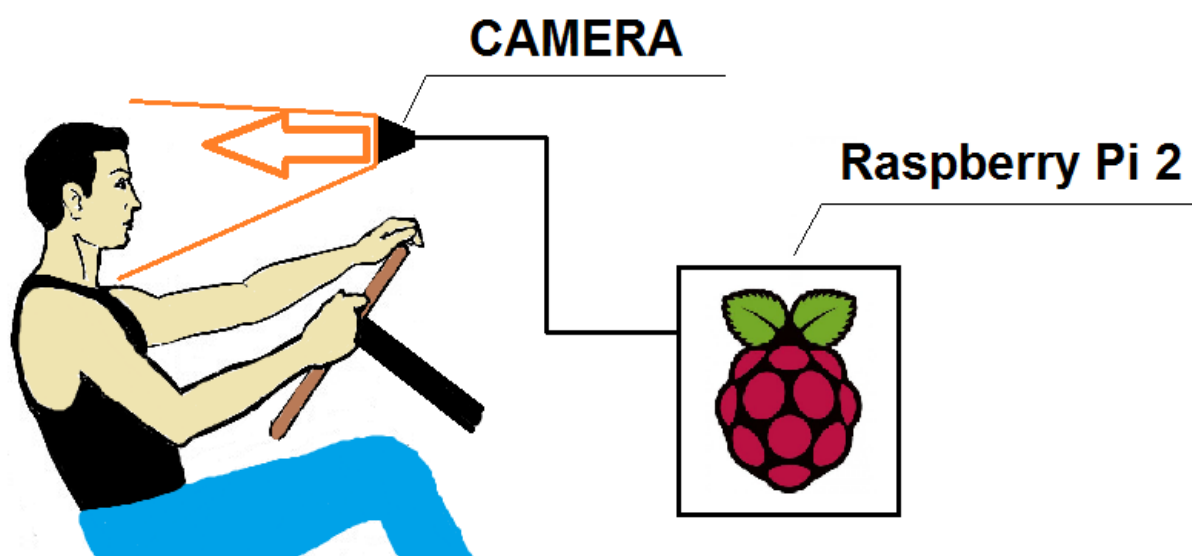


Рисунок 3.4.1 – Концептуальная схема устройства

3.5. Программная реализация функций устройства

3.5.1. Выбор языка программирования и вопросы оптимизации

Следующим этапом работы является разработка программного обеспечения. В силу высокого уровня платформенной переносимости, гибкости, оптимальности и поддержки парадигм объектно-ориентированного программирования, а также непосредственно библиотек компьютерного зрения, был выбран язык разработки C++ [26, 27].

По причине того, что разработка ведется на базе портативного устройства, которое уступает по вычислительным мощностям персональным

компьютерам, наиболее актуальными становятся вопросы оптимальности распределения ресурсов, а также минимизации вычислений.

Как было описано разделе 2, изображение, в общем случае, представляет собой двумерный массив, длительность обработки которого напрямую зависит от его размеров. Кроме того, одной из ключевых характеристик изображения, помимо его размеров, является число цветовых каналов. Стандартное цветное изображение является 3-канальным, т.е. цвет каждого пикселя формируется как сумма оттенков красного (Red), зеленого (Green) и голубого (Blue). Каждый оттенок представлен 8-битным числом. Черно-белое изображение является одноканальным, т.е. каждый элемент массива представлен одним 8-битным числом, в то время как в RGB-изображении на каждый элемент приходится сразу 3 таких числа. Таким образом, в основе оптимального быстродействия и пользования ресурсами вычислительной платформы лежат 2 принципа:

- изображение должна быть как можно меньше;
- количество каналов должно быть минимальным.

В силу указанных выше принципов повышения быстродействия, а также исходя из максимально поддерживаемого разрешения портативного дисплея, который был установлен на платформу, базовым разрешением исходного изображения, которое подвергается обработке, было выбрано 320x240 пикселей.

```
cv::VideoCapture camera(0);  
camera.set(CV_CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 320);  
camera.set(CV_CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 240);
```

Использовать изображение еще более меньшего размера в рамках решения данной задачи нецелесообразно, т.к. с уменьшением размера исходного изображения падает и точность детектирования искомых объектов.

В библиотеке OpenCV уже существует метод, позволяющий преобразовывать цветное изображение в черно-белое.

```
cv::cvtColor(frame, frame, CV_RGB2GRAY);
```

Данная процедура принимает на вход в качестве первого аргумента некоторое исходное изображение, вторым параметром результирующее изображение, третьим параметром передается символьная константа, показывающая из какого цветового пространства в какое необходимо произвести преобразование. В данном случае, из пространства RGB в черно-белое.

3.5.2. Процедура детектирования

Первым этапом работы программы является инициализация необходимого оборудования, в данном случае цифровой камеры и загрузка каскадов, необходимых для поиска лица и глаз. После успешной загрузки, камера выполняет захват изображения. Захваченный камерой видеопоток поступает на платформу, где подвергается процессу кадрирования, т.е. разделяется на отдельные кадры, обработкой которых и занимается программное обеспечение. Затем, в кадре производится поиск объекта типа «Лицо». Детектирование данного объекта осуществляется путем применения каскадов Хаара, в основе которых лежит алгоритм Виолы-Джонса. Искомый объект представляет из себя некую прямоугольную область, которая по результатам работы каскадов в наибольшей степени удовлетворяет поисковым признакам. В силу расположения камеры в салоне автомобиля, а соответственно и расстояния от лица до камеры, предположительный размер искомого объекта составляет от 20% до 75% от исходного изображения.

Для работы с каскадами создадим объект типа «Каскадный классификатор»:

```
cv::CascadeClassifier* FaceContainer = NULL;
```

Далее, произведем загрузку .XML-файла, т.е. непосредственно самого классификатора. Для этого обращаемся к методу класса **CascadeClassifier** под названием **load**. Данный метод имеет сигнатуру типа **void**, а в качестве входного параметра принимает путь до расположения файла.

```
FaceContainer ->load(<путь к файлу>);
```

Непосредственное использование каскадов осуществляется с помощью метода **detectMultiScale**.

```
CascadeForFaceDetection->detectMultiScale (frame, FaceContainer, 1.1, 3, 0,  
cv::Size (frame.rows / 5, frame.rows / 5),  
  
cv::Size (frame.rows * 3 / 4, frame.rows * 3 / 4));
```

Данный метод также имеет сигнатуру типа **void**, а в качестве входных параметров принимает изображение, на котором необходимо произвести поиск, массив типа **Cv::Rect**, т.е. предназначенных для хранения прямоугольных областей-кандидатов, внутри которых располагается искомый объект. Следующими параметрами являются коэффициент масштабирования, показывающий во сколько раз уменьшается размер изображения при повторном сканировании, и минимально необходимое число областей-соседей. Как было описано в разделе 2, метод Виолы-Джонса реализован на основе принципа сканирующего окна, т.е. одна итерация каскада есть обработка изображения окном фиксированного размера, затем производится масштабирование, и итерация повторяется. Во время данного многоитеративного подхода наблюдается высокий процент ложных срабатываний и повторных результатов. Таким образом, параметр **minNeighbors** показывает, сколько должно быть повторных срабатываний для прямоугольной области, чтобы она была сохранена в памяти как искомый объект. Установив описываемый параметр равным нулю, в контейнер будут записаны все результаты, для всех масштабов, как это показано на рисунке 3.5.2.1.



Рисунок 3.5.2.1 – Результат работы классификатора при minNeighbors=0

Как видно из рисунка 3.5.2.1 помимо непосредственно человеческих лиц в качестве областей-претендентов выделена масса других областей различного размера, которые, очевидно, не являются искомыми объектами.

Увеличивая размер параметра, т.е. необходимое число соседствующих областей-претендентов значительно снижается процент ложных срабатываний (см. рисунок 3.5.2.2).



Рисунок 3.5.2.2 – Результат работы классификатора при $\text{minNeighbors}=1$

Наиболее точный результат получается для $\text{minNeighbors}=3$, который является значением по умолчанию. Как видно на рисунке 3.5.2.3, при данном параметре найдены только искомые объекты, а процент ложных срабатываний для данного изображения равен нулю.



Рисунок 3.5.2.3 – Результат работы классификатора при $\text{minNeighbors}=3$

В большинстве случаев, дальнейшее увеличение данного параметра может понизить точность классификатора и, соответственно, искомые объекты могут не быть детектированы.

Последние 2 параметра определяют диапазон размеров сканирующего окна.

Для повышения точности работы разрабатываемого устройства, в обрабатываемом видеопотоке был разработан дополнительный программный метод, который, в случае обнаружения в кадре нескольких искомых объектов, выбирает наибольший. Данный метод позволит отфильтровать изображения от ложных срабатываний. Кроме того, в реальной ситуации не исключена возможность попадания в видеоискатель камеры лица пассажира, располагающегося на заднем сидении. Расположение камеры напротив водителя обеспечивает, что наибольший объект из найденных однозначно будет являться лицом водителя.

Данный метод возвращает объект **cv::Rect**, т.е. объект, хранящий координаты левого верхнего угла некоторой прямоугольной области, а также ее ширину и высоту. В качестве входного параметра метод принимает вектор, хранящий координаты и размеры прямоугольных областей претендентов, полученных в ходе работы классификатора. В основе работы метода лежит простейший метод пузырьковой сортировки по методу объекта типа **cv::Rect** под названием **area()**, возвращающий площадь прямоугольной области.

```
cv::Rect biggestRect(std::vector<cv::Rect> &object) const
{
    assert(!object.empty());

    cv::Rect *biggest = &object[0];
    for (auto &exemp : object)
    {
        if (exemp.area() > biggest->area())
            biggest = &exemp;
    }
    return *biggest;
}
```

После успешного детектирования области лица детектирование уже продолжается в регионе, на 15% превышающий регион найденного лица. Данный прием позволительно использовать в силу относительно небольшой амплитуды движения головы водителя во время вождения. Использование поиска уже в выделенной зоне повышает также и быстродействие за счет меньшей обрабатываемой площади. Кроме того, формируется шаблон, который будет использован для поиска наибольшего совпадения в целом кадре в случае, если по каким-либо причинам лицо человека не было детектировано в выделенном ранее регионе поиска.

Формирование шаблона производится путем смещения и обрезки, как это показано на рисунке 3.5.2.1. В результате, за шаблон принимается некоторая область размером 25% от исходного и геометрически соответствует центральной части лица, имеющая наибольшее число характерных признаков, т.е. глаза, нос, губы и т.д.

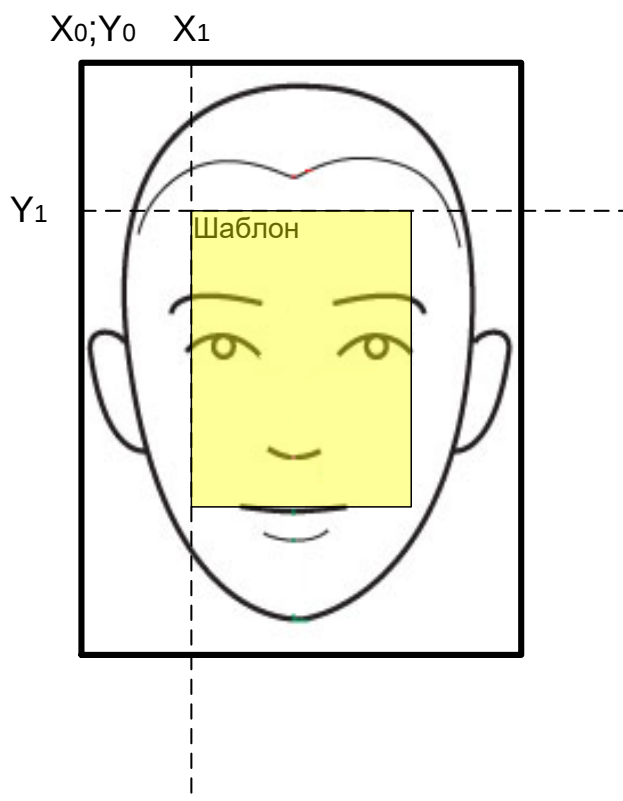


Рисунок 3.5.2.1 – Формирование шаблона лица.

Если же в течение заранее определенного времени и шаблонный поиск не даст результат, то вновь управление передается функции поиска лица во всем кадре с помощью каскадов. В случае успешного детектирования области лица и в отсутствие непредвиденных сложностей, программа циклически производит поиск в 15% зоне.

Далее для более быстрого и эффективного поиска глаз, детектирование осуществляется только в верхней половине области лица. Данный прием оптимизации основан в первую очередь на естественной физиологии лица. Однозначно известно, что глаза у человека находятся в верхней половине лица и производить поиск глаз в нижней части лица нецелесообразно. В дополнение, для снижения нагрузки на вычислительное устройство использовалась только правая половины лица. Данный прием допустим в силу того, что глаза человека в нормальной ситуации моргают в достаточной степени синхронно, чтобы всего лишь по одному глазу делать выводы о состоянии обоих глаз.

Для обрезки и выделения заданной области используем собственный метод **cropFaceOut**, возвращающий непосредственно изображение, а точнее

определенную параметрами обрезки область. В качестве аргументов функция принимает: исходное изображение, координаты области лица, а также целочисленные коэффициенты обрезки по вертикали и горизонтали соответственно.

```
cv::Mat cropFaceOut(const cv::Mat frame, cv::Rect Face, int xH, int xW)  
{  
  
    Face.height = (int)(Face.height / xH);  
  
    Face.width = (int)(Face.width / xW);  
  
    cv::Mat ROI;  
  
    ROI = frame(foundFace);  
  
    return ROI;  
  
}
```

В библиотеке OpenCV для хранения изображения используется тип данных **cv::Mat**

Детектирование лица и глаз в видеопотоке показано на рисунке 3.5.2.5.

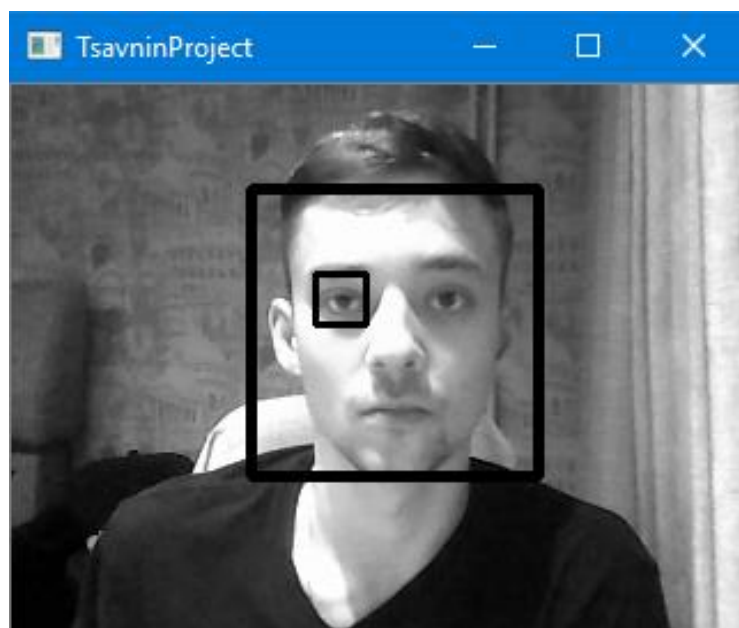


Рисунок 3.5.2.5 – Детектирование лица и глаз

Общая алгоритмизация процесса детектирования лица и глаз представлена в виде блок-схемы на рисунке 3.5.2.6.

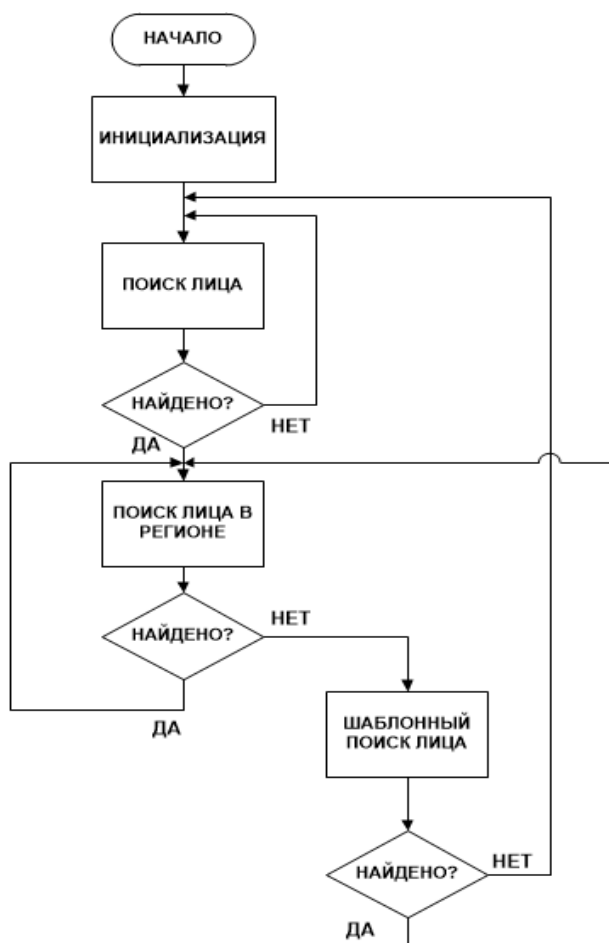


Рисунок 3.5.2.6 – Блок-схема алгоритма детектирования

3.5.3. Оценка состояния глаза

В качестве метода оценки состояния водителя была выбрана оценка состояния глаз водителя, т.е. открыты они или закрыты.

В качестве способа определения состояния глаза был выбран метод детектирования зрачка, т.е. если на изображении зрачок найден, то глаз открыт, иначе – закрыт. Первым из таких методов, которые были проанализированы в ходе исследования, был метод Fast Radial Symmetry Transform.

3.5.3.1. Fast Radial Symmetry Transform

Первый способ детектирования зрачка – обнаружение объекта эллиптической формы на основе преобразования радиальной симметрии (Fast Radial Symmetry Transform).

Данное преобразование рассчитывается из набора, состоящего из одного или нескольких интервалов N , зависящих от размера детектируемого признака. Значение, полученное в результате данного преобразования на интервале $n \in N$ показывает степень радиальной симметрии градиентов на расстоянии n от каждой точки.

Для каждого интервала n рассчитывается ориентационная проекция O_n и амплитудная проекция M_n . Они формируются путем проверки градиента g в каждой точке p , относительно которой определены положительно-ориентированные пиксели p_{+ve} и отрицательно-ориентированные пиксели p_{-ve} (рис 3.5.3.1.1).

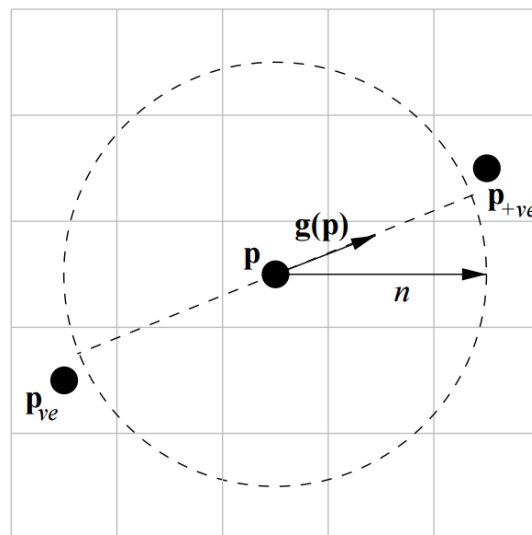


Рисунок 3.5.3.1.1 – Расположение ориентированных пикселей

Положительно-ориентированные пиксели p_{+ve} определяются как точки, на которые указывает вектор градиента, находящиеся на расстоянии n от точки p . Отрицательно-ориентированные пиксели p_{-ve} расположены диаметрально противоположны.

Координаты положительно-ориентированных пикселей определяются как

$$p_{+ve}(p) = p + \left[\frac{g(p)}{\|g(p)\|} n \right],$$

а отрицательно-ориентированных как:

$$p_{-ve}(p) = p - \left[\frac{g(p)}{\|g(p)\|} n \right].$$

Изначально, проекции ориентации и амплитуды нулевые. Для каждой пары ориентированных пикселей для соответствующей точки p_{+ve} ориентационное и амплитудное изображение увеличивается на 1 и на норму градиента $\|g(p)\|$ соответственно. Для отрицательно-ориентированных пикселей выполняется декремент ориентационной проекции и уменьшение амплитудной проекции на норму градиента $\|g(p)\|$.

$$O_n(p_{+ve}(p)) = O_n(p_{+ve}(p)) + 1,$$

$$O_n(p_{-ve}(p)) = O_n(p_{-ve}(p)) - 1,$$

$$M_n(p_{+ve}(p)) = M_n(p_{+ve}(p)) + \|g(p)\|,$$

$$M_n(p_{-ve}(p)) = M_n(p_{-ve}(p)) - \|g(p)\|.$$

В итоге, радиальная симметрия определяется как свертка

$$S_n = F_n * A_n, \quad (3.5.3.1.1)$$

где

$$F_n(p) = \left\| \tilde{O}_n(p) \right\|^\alpha \tilde{M}_n(p) \quad (3.5.3.1.2)$$

$$\tilde{O}_n(p) = \frac{O_n}{\max \{ \|O_n(p)\| \}},$$

$$\tilde{M}_n(p) = \frac{M_n}{\max \{ \|M_n(p)\| \}} [28].$$

Сверткой в математическом анализе называется операция, показывающая «схожесть» одной функции с отраженной и сдвинутой копией другой. В случае работы с изображениями — свёртка — это операция вычисления нового значения заданного пикселя, при которой учитываются значения окружающих его соседних пикселей [29].

Полное значение преобразования определяется как сумма степеней симметричности на всем наборе интервалов

$$S = \sum_{n \in N} S_n \quad (3.5.3.1.3)$$

Говоря о практическом применении преобразования, существует ряд параметров, которые должны быть определены, а именно набор интервалов $N = \{n_1, n_2, \dots\}$ для которого производится расчет S_n , Гауссово ядро A_n и параметр α , показывающий степень округлости.

Классический подход для обнаружения локальной симметрии заключается в расчете видимой симметрии в окрестности каждой точки. Данный результат может быть получен путем расчета S_n для некоторого конечного множества $N = \{1, 2, \dots, n\}$, а затем скомбинированы, используя выражение (3.5.3.1.3).

Назначение Гауссова ядра A_n заключается в снижении влияния положительно- и отрицательно-ориентированных пикселей для интервала n . Двумерный Гауссиан выбран в силу своей радиальной симметрии, что согласовывается со всеми направлениями градиента, а также легко отделима, благодаря чему его свертка может быть эффективно определена.

Для каждой точки изображения рассчитывается градиент по вертикали и по горизонтали, т.е. функция, показывающая наискорейшее направление увеличения яркости изображения.

Пусть существует некоторое множество $N = \{1, 2, \dots, n\}$, зависящее от масштабов искомого признака. Значение преобразования на заданном множестве

показывает влияние градиентов на радиальную симметрию на расстоянии n от каждой точки [30].

Была осуществлена программная реализация описываемого метода. Алгоритм работы программы представлен в виде блок-схемы (см. Приложение Б). Результат работы программы представлен на рисунке 3.5.3.1.2.

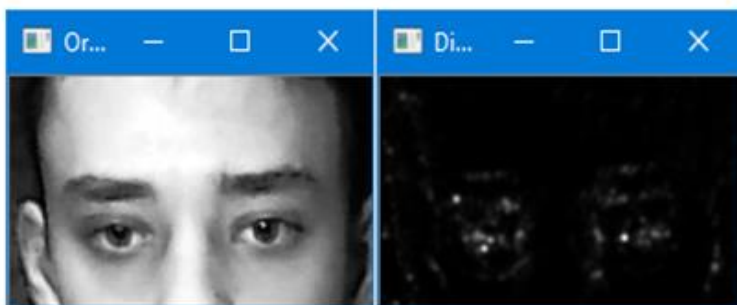


Рисунок 3.5.3.1.2 – Демонстрация работы метода FRST

Как видно из рисунка 3.5.3.1.2, данный метод точно показывает расположение опорных точек (points of interest), которым соответствуют наиболее плотные скопления результирующих точек, которые соответствуют центрам наиболее явно выраженных окружностей, а именно зрачков. Однако, стоит обратить внимание на то, что по итогам своей работы метод вернул отдельные, менее яркие скопления точек, которые потенциально соответствуют центрам, но уже менее явно выраженных окружностей. Данные скопления могут вносить дополнительную погрешность в процесс детектирования и, вероятно, требуют последующей обработки изображения в виде фильтрации или кластеризации.

3.5.3.2. Кластеризация

Кластеризацией называется процесс распределения множества объектов на группы (кластеры) по принципу наибольшей схожести. Принципиальным отличием от классификации является тот факт, что группы заранее не заданы и определяются в процесс работы кластеризационного алгоритма.

В качестве алгоритма кластеризации был выбран метод k-средних (k-means). Данный алгоритм стремится минимизировать среднеквадратичное отклонение для точек каждого из кластеров. Пусть имеются некоторый вектор входных данных $\{x_0, \dots, x_n\} \subset X$, а также функция, определяющая расстояние между объектами $\rho(x, x')$. Алгоритм кластеризации – это некоторая функция $\alpha: X \rightarrow Y$, приписывающая каждому объекту множества X метку кластера $y \in Y$ [31].

Как уже было сказано, представленный метод строит оптимальное разбиение на основе требования минимизации среднеквадратичного отклонения для точки каждого из кластеров:

$$I = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \|x_i - c_k\|^2, \quad (3.5.3.2.1)$$

где x_i - точка, c_k - центр кластера, $|C| = M, |X| = N$.

Перед началом работы алгоритма должно быть однозначно определено число кластеров. На каждой итерации алгоритма производится перераспределение точек по группам путем расчета Евклидова расстояния от точки до центра кластера.

$$\rho(x, x') = \sqrt{\sum_i^n (x_i - x'_i)^2} \quad (3.5.3.2.2)$$

где x_i - численное значение i -ой переменной для объекта x ; x'_i - численное значение i -ой переменной для объекта x' , n - число параметров, описывающих объект [32]. В данном случае $n = 2$, т.к. положение точки на изображении определяется двумя координатами.

После распределения точек по кластерам, происходит перерасчет центров масс кластеров

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^m U_{ij} \cdot x_j}{\sum_{j=1}^m U_{ij}}, \quad i = \overline{1, k}; j = \overline{1, m}, \quad (3.5.3.2.3)$$

где m - количество набора кластеров в результате работы, k - количество начального набора кластеров, U_{ij} - коэффициент принадлежности.

Очевидными недостатками данного метода являются зависимость полученного результата от начального определения центров кластеров, а также неопределенность выбора начального количества точек, определяемых в качестве центров кластеров. [33]

Программная реализация метода была осуществлена также на основе библиотек OpenCV с использованием метода **cv::kmeans**.

```
cv::kmeans(inputImage, clusterCount, labels,  
cv::TermCriteria(CV_TERMCRIT_EPS + CV_TERMCRIT_ITER, iter, eps),  
att, kmpp, centers);
```

Данный метод имеет сигнатура типа `void`, принимающий на вход некоторый входной массив данных, в данном случае изображение, заранее определенное число кластеров, критерий остановки работы метода, число попыток достижения лучшей компактности, флаг, определяющий использование классического метода `k-means` или расширенного `k-means++`. Последним параметром является возвращаемый массив центров кластеров.

Как видно из рисунка 3.5.3.1.2, наибольшие скопления соответствуют именно зрачкам и для наглядности результатов кластеризации обозначим найденный кластер окружностью и поместим на исходный видеопоток. По итогам работы программа детектирует искомый объект, а именно зрачок (см. рис 3.5.3.2.1).



Рисунок 3.5.3.2.1 – Результат работы после кластеризации

3.5.3.3. Преобразования Хафа

Еще одним популярным методом распознавания и детектирования прямых, кривых линий и окружностей, на изображениях является преобразование Хафа.

В задаче распознавания необходимо формализовать искомый объект с его параметрами. Математическая модель, описывающая окружность выглядит следующим образом:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2,$$

где (a, b) - координаты центра окружности, R - радиус окружности.

Первым этапом работы метода является обнаружение краевых пикселей. В рамках данной задачи используется оператор Собеля [34].

Оператор Собеля – это дифференциальный оператор, который вычисляет приближение градиента в каждой точке изображения. С помощью данного оператора определяется направление наискорейшего возрастания яркости, что позволяет оценить, как «резко» или «плавно» меняется яркость изображения в конкретной точке и, соответственно, какова вероятность того, что она является частью границы некоторого объекта. Для точек, находящихся в области постоянной яркости, оператор Собеля вернет нулевой вектор, для точек на

границе – вектор, пересекающий границу и направленный в сторону наибольшего увеличения яркости.

Далее, ненулевые пиксели становятся так называемыми голосующими точками, для каждой из которых производится движение на расстояние R по нормали, т.е. по направлению вектора-градиента. Итеративно повторяя данную операцию для множества голосующих точек будет найдено множество координат точек-претендентов на роль центра предполагаемой окружности, которое усредняется для точного определения центра. Затем, будут определены координаты точек, равноудаленных от полученного центра окружности на расстояние R [35, 36].

Метод проиллюстрирован на рисунке 3.5.3.3.1.

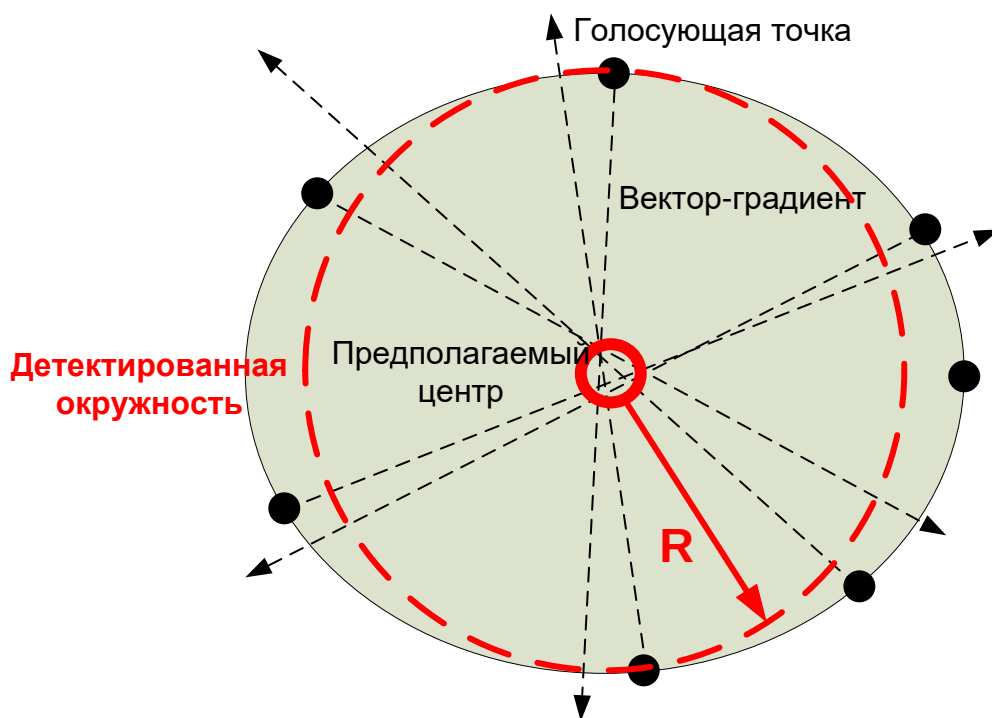


Рисунок 3.5.3.3.1 – Суть работы преобразования Хафа

Результат работы программной реализации приведен на рисунке 3.5.3.3.2

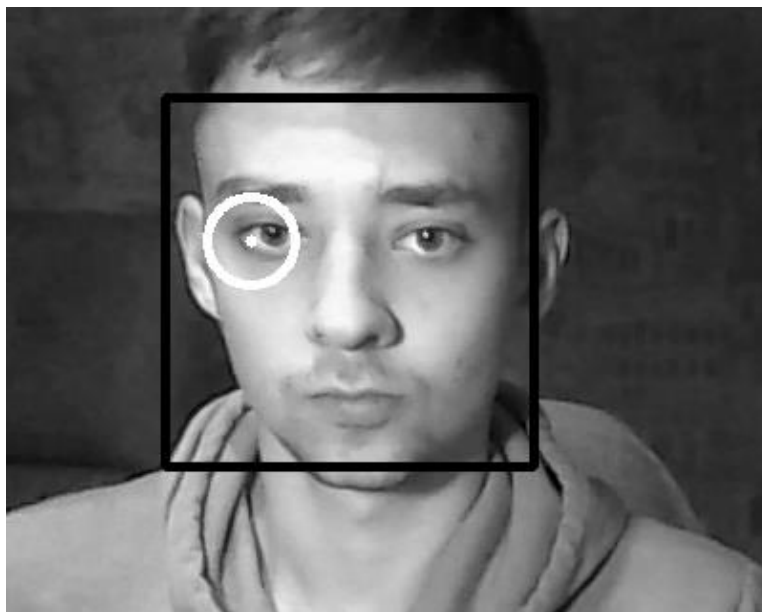


Рисунок 3.5.3.3.2 – Результат работы программной реализации преобразования Хафа

Как видно из рисунка 3.5.3.3.2 преобразование Хафа отличается пониженной точностью позиционирования искомого объекта. Кроме того, в ходе работы данного метода фиксируется множество ложных срабатываний при относительно небольшом изменении расстояния между лицом и камерой.

Таким образом, для окончательной работы был выбран метод FRST в силу более точного позиционирования и детектирования.

3.5.3.4. Реализация на аппаратной платформе

Как уже было упомянуто в разделах 3.1, 3.2, в качестве аппаратной платформы для прототипирования был выбран одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi 2, работающий под управлением операционной системы Raspbian Jessie, являющаяся специализированной модификацией операционной системы Debian.

Программная реализация методов, описанных в разделе 3.5 осуществлена с использованием языка программирования C++ под стандартом 2011 года C++11. Для сборки программы использовалась утилита CMake. Для данной утилиты были сформированы специальные текстовые файлы CMakeLists.txt, хранящие правила и цели сборки [37].

Описываемое программное обеспечение состоит из 3 файлов: заголовочный файл *.h, соответствующий ему исходный файл *.cpp, также файл main.cpp. Для данных файлов были сформированы текстовые файлы, описывающие правила сборки. Листинг сборки для заголовочных файлов приведен в таблице 3.5.3.4.1, для файлов с исходным кодом в таблице 3.5.3.4.2.

Таблица 3.5.3.4.1- CMakeLists.txt для заголовочных файлов

```
cmake_minimum_required(VERSION 2.8)
SET(CMAKE_CXX_FLAGS "-std=c++0x")
project(VideoFaceDetector)
find_package(OpenCV REQUIRED)
set(SOURCE_LIB VideoFaceDetector.cpp)
add_library(VideoFaceDetector ${SOURCE_LIB}
            ${OpenCV_Libs})
```

Таблица 3.5.3.4.2- CMakeLists.txt для main.cpp

```
cmake_minimum_required(VERSION 2.8)
SET(CMAKE_CXX_FLAGS "-std=c++0x")
project(Tsavnin)
find_package(OpenCV REQUIRED)
set(SOURCE_EXE main.cpp)
include_directories(VideoFaceDetector)
add_executable(main ${SOURCE_EXE})
add_subdirectory(VideoFaceDetector)
target_link_libraries(main VideoFaceDetector
            ${OpenCV_LIBS})
```

Далее, выполним последовательно в консоли 2 команды:

>>cmake .

>>make

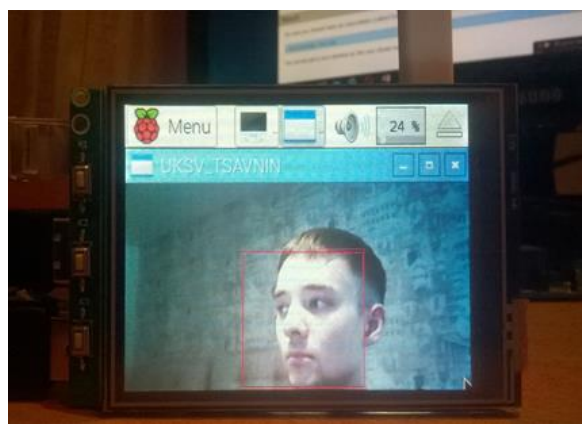
На выходе получен объектный файл main.o, который осуществит запуск всего проекта командой

>>./main.o

В силу ряда ограничений, вызванных ограниченной вычислительной мощностью аппаратной платформы, функционал конечного устройства добавлялся поэтапно. Первым этапом была реализация детектора лиц, результаты работы которого показаны на рисунке 3.5.3.4.1 (а, б).



а)



б)

Рисунок 3.5.3.4.1 а) Детектирование лица;

б) Детектирование лица с небольшим поворотом головы

Описанные в разделе 3.5. методы требуют оптимизации для ускорения своей работы, либо использование алгоритмов параллельного программирования для нормальной работы в рамках фиксированной вычислительной мощности. В силу этого, на сегодняшний момент на устройство перенесен базовый функционал, а именно детектирование лица и глаз в видеопотоке. Результаты работы приведен на рисунке 3.5.3.4.2.

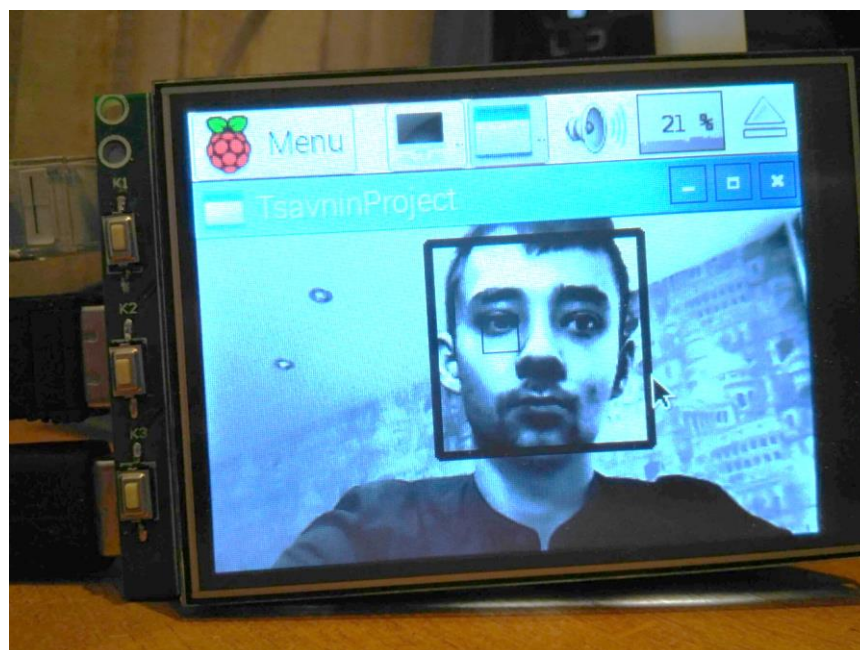


Рисунок 3.5.3.4.2 – Распознавание лица и глаз в видеопотоке

4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

По итогам работы над данным устройством проведен обзор существующих средств контроля бодрствования водителей от различных производителей различных типов, выявлены их преимущества и недостатки.

Далее, был осуществлен выбор аппаратной платформы и разработано программное обеспечение, производящее детектирование лица, глаз, а также зрачков.

Из недостатков опытного образца можно выделить сниженный показатель числа кадров в секунда (FPS), вызванный вычислительной нагрузкой на устройство. Кроме того, в силу портативности самого устройства, а также в пользу экономии ресурсов микроЭВМ, в ходе работы устройства производится обработка изображения разрешением 320 на 240 пикселей, что в ряде случаев снижает точность детектирования.

Отдельные сложности для работы устройства вызваны показателем освещенности, с понижением которого эффективность устройства снижается на порядок. Первым решением для данной проблемы будет камера с инфракрасной подсветкой.

Одной из проблем для качественного функционирования описываемого устройства являются очки. Для очков с прозрачными стеклами, либо с легкой тонировкой детектирование будет произведено с допустимыми потерями точности, но при условии, что изображение будет безбликовым. Для оценки состояния водителя в солнцезащитных очках необходимо реализовать какие-то косвенные методы анализа.

5 ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. Сведём все данные в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень выполняемых работ с указанием доли участия исполнителей

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	НР – 80% С – 20%
2. Обзор научной литературы	С	С – 100%
3. Разработка технического задания (ТЗ)	НР, С	НР – 20% С – 80%
4. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	НР – 30% С – 70%
5. Выбор аппаратной платформы	НР, С	НР – 15% С – 85%
6. Сравнительный анализ методов детектирования	НР, С	НР – 10% С – 90%
7. Разработка программного обеспечения	С	С – 100%
8. Обработка полученных результатов	НР, С	НР – 20% С – 80%
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	С – 100%
10. Оформление графического материала	С	С – 100%
11. Подведение итогов	НР	НР – 100%

На первом этапе происходит постановка цели и задачи исследования – разработки устройства контроля состояния водителя с применением

компьютерного зрения. Тематика выбирается научным руководителем и обсуждается со студентом.

На втором этапе студент производит поиск научной литературы по предоставленной тематике для ознакомления и изучения необходимого материала. В дальнейшем данный материал будет использоваться для проведения исследований и разработки устройства.

На третьем этапе студент совместно с научным руководителем разрабатывают техническое задание (ТЗ). Данный документ является основополагающим при проведении дальнейшего исследования и разработки.

На четвертом этапе реализуется календарный план выполнения работ, обусловленный сроком обучения в магистратуре.

На пятом этапе студент подбирает портативную аппаратную платформу, потенциально подходящей для дальнейшего прототипирования. В рамках данного этапа сравниваются популярные микроЭВМ и микроконтроллеры по вычислительным характеристикам и стоимости.

На шестом этапе производится обзор различных методов компьютерного зрения, необходимых для детектирования объектов типа «Лицо» и «Глаза». По анализу данных объектов программой делается вывод о состоянии водителя.

В рамках седьмого этапа производится непосредственно написание программного кода и загрузка его в аппаратную платформу

На восьмом, девятом и десятом этапе студент, под руководством научного руководителя занимается интерпретацией и обработкой результатов, а также оформлением расчетно-пояснительной записки и графического материала (графические материалы результатов исследования, презентация проекта).

Одиннадцатый этап заключается в подведении итогов проведенной работы, получении студентом обратной связи от научного руководителя и комиссии на защите дипломного проекта.

5.1. Продолжительность этапов работ

Так как отсутствует нормативная база по проводимым работам, а также достоверная информация о процессе выполнения подобных работ иными

исполнителями, воспользуемся экспертным способом оценки продолжительности выполнения запланированных работ.

Произведем оценку минимального и максимального времени выполнения каждого из этапов. Рассчитаем ожидаемое время выполнения работ, воспользовавшись формулой:

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

где $t_{ожi}$ – ожидаемое время выполнения i -го этапа работ в чел.-дн., $t_{\min}$ – минимальная продолжительность работы, дн.; $t_{\max}$ – максимальная продолжительность работы, дн.

Ожидаемое, минимальное и максимальное время исполнения в предложенной выше формуле, оцениваются в рабочих днях на человека. Произведем перевод этих величин в календарные дни, воспользовавшись следующей формулой:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_K,$$

где $T_{КД}$ – 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

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (5.1.1)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$); $T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$); $T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1.48$$

В свою очередь рабочие дни рассчитываются по следующей формуле:

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

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 ($K_D = 1–1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Для простоты расчетов примем K_D и K_{BH} , равными единице. Тогда формула для расчета календарных дней преобразуется в следующую:

$$T_{KD} = T_{PD} \cdot T_K = t_{OЖ} \cdot T_K = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} \cdot 1.48$$

Воспользовавшись данными из таблицы 1, приведенными выше формулами, произведем расчет продолжительности выполнения работ научным руководителем и студентом в календарных днях. Результаты расчетов представлены в таблице 5.1.2. На основе данной таблице составим линейный график работ, представленный на рисунке 5.1.1.

Таблица 5.1.2 – Расчет трудозатрат на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Постановка целей и задач исследования	НР, С	4	5	4,4	3,52	0,88	5,2096	1,3024
2. Обзор научной литературы	С	7	10	8,2	0	8,2	0	12,136
3. Разработка технического задания (ТЗ)	НР, С	30	40	34	6,8	27,2	10,064	40,256
4. Разработка календарного плана выполнения работ	НР, С	6	8	6,8	2,04	4,76	3,0192	7,0448
5. Выбор аппаратной платформы	НР, С	4	10	6,4	0,96	5,44	1,4208	8,0512
6. Сравнительный анализ методов детектирования	НР, С	7	20	12,2	1,22	10,98	1,8056	16,2504
7. Разработка программного обеспечения	С	30	60	42	0	42	0	62,16
8. Обработка полученных результатов	НР, С	7	10	8,2	1,64	6,56	2,4272	9,7088
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	С	14	18	15,6	0	15,6	0	23,088
10. Оформление графического материала	С	4	8	5,6	0	5,6	0	8,288
11. Подведение итогов	НР	4	5	4,4	4,4	0	6,512	0
Итого:				147,8	20,58	127,22	30,45	188,28

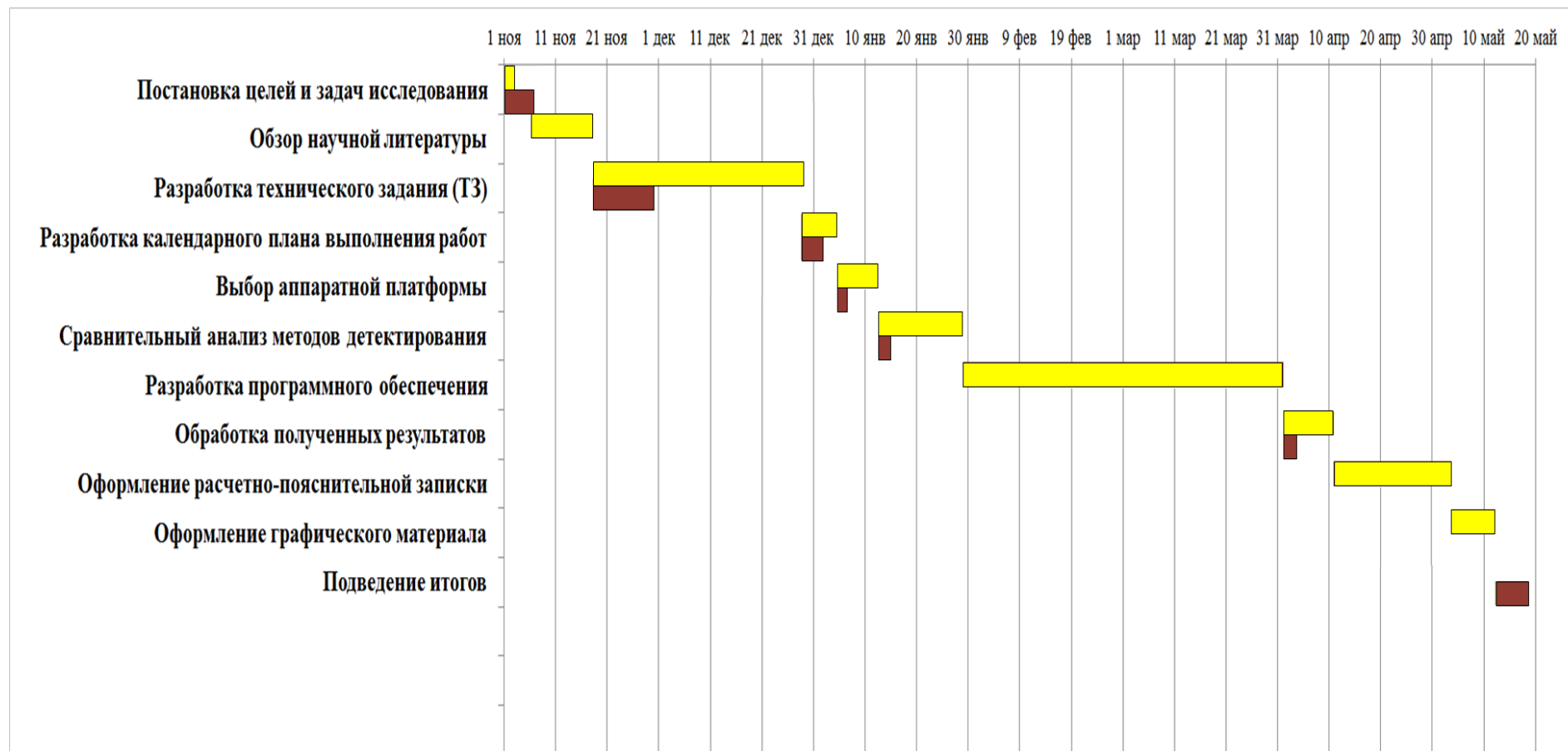


Рисунок 5.1.1 – Проектная диаграмма

- С
 - НР

5.2. Расчет накопления готовности проекта

Произведем оценку текущих результатов работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом. Степень готовности будет рассчитывать по следующей формуле:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}},$$

где TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении; $TP_{\text{общ.}}$ – общая трудоемкость проекта; TP_i^H – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении; TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, $m = 2$.

Таблица 5.2.1 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этапы работы	$TP_i, \%$	$CG_i, \%$
1. Постановка целей и задач исследования	2,97699594	2,976996
2. Обзор научной литературы	5,548037889	8,525034
3. Разработка технического задания (ТЗ)	23,00405954	31,52909
4. Разработка календарного плана выполнения работ	4,600811908	36,12991
5. Выбор аппаратной платформы	4,330175913	40,46008
6. Сравнительный анализ методов детектирования	8,254397835	48,71448
7. Разработка программного обеспечения	28,41677943	77,13126
8. Обработка полученных результатов	5,548037889	82,6793
9. Оформление расчетно-пояснительной записки	10,55480379	93,2341
10. Оформление графического материала	3,788903924	97,023
11. Подведение итогов	2,97699594	100

5.3. 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;
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

В ходе выполнения проекта отсутствуют расходы на командировочные, услуги связи, услуги сторонних организаций и арендная плата за пользование имуществом. Таким образом основу расходов данного проекта составляют:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.4. 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.

На первом этапе работ необходимо провести теоретические исследования. Для этого необходим ряд программных пакетов, таких как Microsoft Word, Excel, MathCAD, MATLAB, Arduino, Visual Studio и т.д. Большинство данных продуктов предоставляются ТПУ бесплатно для студентов и профессоров, а остальные находятся в свободном доступе на интернет ресурсах. Таким образом затраты на материальные расходы данного этапа исследований включают в себя расходы на бумагу, тетради и пр. На втором этапе проводится исследования. Для этого использовался персональный компьютер с программой MATLAB, которая была предоставлена бесплатно.

В материальные затраты также входят транспортно-заготовительные расходы (ТЗР), которые обуславливаются затратами на совершение купли-продажи материалов, их доставку. Обычно ТЗР составляют от 5% до 20% от общей цены материалов. Положим норму ТЗР равной 10%.

Таблица 5.4.1 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма
Затраты на этапе теоретических исследований			
Бумага для принтера, упак. 500 листов	257	1	514
Тетрадь общая, формат А4	89	3	267
Мультифоры, упак. 100 шт.	100	1	100
Скобы для степлера, упак. 100 шт.	47	1	47
Итого			928
Итого (с учетом ТЗР)			1020,8

5.5. Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает в себя заработную плату студента и научного руководителя, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Оклад студента принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей

квалификации в организации, в которой выполняются подобные виды работ или же там, где студент проходил преддипломную практику.

Для расчета заработной платы исполнителя примем величину месячного оклада, равную окладу младшего научного сотрудника на половину ставки, т.е. $МО_C = 14874,45$ руб.; величина заработной платы руководителя – величина месячного оклада доцента, к.т.н. $МО_{НР} = 27484,86$.

Для дальнейшего расчета зарплаты необходимо вычислить среднедневную ставку с учетом среднего количества рабочих дней в месяце. В 2017 году 247 рабочих дней, следовательно, количество рабочих дней в месяце равно 20,6. Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн} = МО/20,6$$

Для исполнителя эта величина составит примерно 361 рубль, а для научного руководителя 1334,22 рубля в день. Теперь произведем расчет основной заработной платы. Затем, учитывая премии, дополнительную заработную плату и районный коэффициент, можно рассчитать полную заработную плату по следующей формуле:

$$ЗП_{полн} = ЗП_{дн} * T_{РД} * K_{ПР} * K_{ДОП} * K_P$$

где $T_{РД}$ – трудоемкость проекта для сотрудника в рабочих днях; $K_{ПР} = 1,1$ – коэффициент премирования; $K_{доп} = 1,13$ – коэффициент дополнительной заработной платы для пятидневной рабочей недели; 1,188 для шестидневной. $K_P = 1,3$ – районный (северный) коэффициент.

Таблица 5.5.1 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23264,86	1129,36	21	1,699	39526,99
С	14874,45	361	128	1,62	74212,5
Итого					113739,49

5.6. Расчет затрат на электроэнергию

Данная статья учитывает затраты на электроэнергию, которая потребляется всем оборудованием в течение работы над проектом. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

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

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час ($Ц_{э} = 5,782 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$); $t_{об}$ – время работы оборудования, час. Время работы оборудования определяется по формуле:

$$t_{об} = T_{РД} \cdot K_t,$$

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

Для выполнения работ студентом использовался персональный компьютер и учебный стенд. Определим затраты на потребленную оборудованием электроэнергию и сведем результаты расчетов в таблицу 7.

Таблица 5.6.1 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность оборудования, кВт	K_t	Время работы оборудования, ч	Затраты на электроэнергию
Персональный компьютер	0,35	0,9	1125,8	2013,41
Принтер	0,25	0,001	0,7	2,76
Итого				2016,17

5.7. Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), который включает в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 27% от полной заработной платы по проекту и рассчитывается по

формуле $C_{соц} = C_{эл} * 0,27$. Для проведения исследования затраты на социальный налог составляют $C_{соц} = 113739,49 * 0,27 = 30,709,66$ руб.

5.8. Расчет амортизационных расходов

Расчет амортизационных расходов производится по следующей формуле:

$$C_{ам} = \frac{H_A * Ц_{об} * t_{рф} * n}{F_d},$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования; $Ц_{об}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР, F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году, $t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта; n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

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

Так как к сроку начала работ компьютер и принтер эксплуатировались более 5 и 10 лет соответственно, то срок их полезного использования истек, следовательно, амортизационные расходы на ПК и принтер оборудования равны нулю.

Паяльная станция была приобретена к началу выполнения работ и данный тип оборудования входит в пятую группу – специальное технологическое оборудование для производства электронной и радиотехники. Срок полезного использования таковой составляет от 7 до 10 лет. Зададим конкретное значение $С_A$, равное 8 годам.

Таким образом, амортизационные расходы на использование оборудования составят:

$$C_{ам} = \frac{H_A * Ц_{об} * t_{рф} * n}{F_d} = 0,00 \text{ руб.}$$

5.9. Расчет прочих (накладных) 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.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 = (1020,8 + 113739,49 + 2016,17 + 30709,66 + 0) \cdot 0,1 = 147486,12 \cdot 0,1 = 14748,61 \text{ руб.}$$

5.10. Расчет общей себестоимости разработки

Рассчитав сумму всех расходов на выполнение запланированных работ, произведем расчет общей себестоимости проекта. Результаты расчетов представлены в таблице 5.10.1.

Таблица 5.10.1 – Расчет общей себестоимости проекта

Статья затрат	Обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	1020,8
Заработная плата	$C_{\text{зп}}$	113739,49
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	30709,66
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	2016,17
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	0,00
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	14748,61
ИТОГО:		162234,73

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 162234,73$ руб.

5.11. Расчет прибыли, НДС и цены разработки НИР

Так как информация для применения сложных методов расчеты прибыли отсутствует, то прибыль может варьироваться в пределах от 5% до 20% от

себестоимости продукта. Заложим в проект прибыль, равную 12% от себестоимости. Тогда:

$$P = 0,12 * C = 19468,17 \text{ руб.}$$

Рассчитаем НДС как 18% от суммы затрат на разработку и заложенной прибыли, т.е.:

$$\text{НДС} = (P + C) * 0,18 = 32706,52 \text{ руб.}$$

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

$$C_{\text{НИР}} = 162234,73 + 19468,17 + 32706,52 = 214409,42 \text{ руб.}$$

5.12. Оценка экономической эффективности проекта

Результатом проведения НИР является создание опытного образца портативного устройства, которое с использованием алгоритмов и методов компьютерного зрения позволит предотвратить засыпание водителей и, соответственно, снизить число ДТП, вызванных данным фактором. На сегодняшний день, общемировая статистика говорит о том, что ДТП по вине спящих водителей составляет порядка 20% от числа всех ДТП.

Кроме того, данный проект позволит популяризировать технологию компьютерного зрения в социально-значимых сферах.

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

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

5.13. Оценка научно-технического уровня НИР

В данном разделе произведем оценку научно-технического уровня разработки при помощи вычисления интегрального индекса научно-технического уровня $I_{НТУ}$. Расчет данного индекса производится как взвешенная

сумма количественных оценок НИР по трем признакам: уровень новизны, теоретический уровень и возможность реализации.

Таблица 5.13.1 – Критерии оценки уровня новизны НИР

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

Таблица 5.13.2 – Критерии оценки теоретического уровня НИР

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

Таблица 5.13.3 – Критерии оценки возможности реализации НИР по времени

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

Разрабатываемая система по оценке таблицы 9 имеет уровень новизны равный 4, т.к. подобные системы существуют, однако в данной установке не применялись, поэтому необходимо было разработать подходящий алгоритм управления.

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

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

Таким образом, произведем расчет интегрального индекса НТУ НИР:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 k_i \cdot n_i = 0,4 \cdot 6 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 8$$

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

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Аннотация

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

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

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

Введение

В данной ВКР представлена разработка портативного устройства, призванного предотвратить засыпание водителей за рулем. В основе работы устройства лежат алгоритмы компьютерного зрения, с помощью которых в реальном времени производится оценка состояния глаз человека. Аппаратная часть устройства состоит из одноплатного микроЭВМ «Raspberry Pi 2», портативной камеры для видеозахвата изображения для его последующей обработки, а также сенсорный дисплей диагональю 3,2 дюйма для наглядной демонстрации работы устройства, а также для его настройки конечным пользователем. Располагаться устройство будет в салоне автомобиля таким образом, чтобы лицо водителя попадало в видоискатель камеры. В случае, если,

согласно своим алгоритмам, устройство посчитает, что человека уснул или близок к этому состоянию, то производится звуковая сигнализация инициирующая пробуждение.

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

6.1. Производственная безопасность

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

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

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

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в таблице 6.1.1.1

Таблица 6.1.1.1 – Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
- Управление механизмами поста управления, работа с ПЭВМ; - Выполнение визуальных осмотров всех основных и вспомогательных механизмов до начала их использования при выполнении работ; - Ведение технологического процесса приема и	- Повышенная температура; - Повышенная напряженность зрения; - Повышенная напряженность труда в течение смены; - Отсутствие или недостаток естественного света; - Электромагнитные излучения; - Повышенный уровень шума.	- Движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования; - Электрический ток.	- Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96; - Нормы естественного и искусственного освещения предприятий, СНиП 23-05-95; - Допустимые уровни шумов в производственных помещениях.

укладки металла в приемные карманы (стеллажи), склады цеха.			ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ; • Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; • Защитное заземление, зануление, ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ.
--	--	--	--

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6.1.3.1. Механические опасности

Основные последствия механических опасностей:

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

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

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);
- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);

- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами.
- сигнальные цвета и сигнальная разметка, знаки производственной безопасности.

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

ГОСТ Р 12.4.026-2001 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» устанавливает термины с соответствующими определениями, для правильного понимания их назначения, правила применения и характеристики знаков безопасности, сигнальных цветов и сигнальной разметки.

6.1.3.2. Требования к помещениям для работы с ПЭВМ

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) эти помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м² и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) 4,5 м².

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

6.1.3.3. Микроклимат

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

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

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, производимых сидя и не требующих систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в таблице 6.1.3.3.1, в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 и СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 6.1.3.3.1 – Нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

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

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

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах представлены в таблице 6.1.3.3.2.

Таблица 6.1.3.3.2 – Допустимые величины показателей микроклимата

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

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

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

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

6.1.3.4. Освещение

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

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

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

Для определения приемлемого уровня освещенности в помещении необходимо:

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

Рекомендуемые соотношения яркостей в поле зрения следующие:

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

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

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

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк (СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03). Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Следует ограничивать прямую блесткость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м². Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Согласно СНИП 23-05-95 нормы на освещение для оператора поста управления берутся для производственных помещений. Эти нормы представлены в таблице 6.1.3.4.1.

Таблица 6.1.3.4.1 – Нормы на освещение для оператора

Характер зрительной работы	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение		Естественное освещение КЕО E_n , % при боковом
			Освещенность при системе общего освещения, лк	Коэффициент пульсации, K_p , %	
Различение объектов высокой точности	Б	1	300	15	1,0

Расчет системы искусственного освещения на рабочем месте оператора поста управления

Расчет системы искусственного освещения проводится для прямоугольного помещения, размерами: длина $A = 4$ (м), ширина $B = 3$ (м), высота $H = 2,4$ (м), количество ламп $N = 4$ (шт).

Вычисления будут, производится по методу светового потока, предназначенного для расчета освещенности общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Согласно отраслевым нормам освещенности уровень рабочей поверхности над полом составляет 0,8 (м) и установлена минимальная норма освещенности $E = 300$ (Лк).

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

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100 / (n \cdot \eta), \quad (1)$$

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

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

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

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

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока, (%);

Φ – световой поток, излучаемый светильником.

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

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} \quad (2)$$

Коэффициенты отражения оцениваются субъективно.

Произведем расчет:

$$h = H - 0,8 = 2,4 - 0,8 = 1,6 \text{ (м)}, \quad (3)$$

где h – расчетная высота подвеса светильников над рабочей поверхностью.

Экономичность осветительной установки зависит от отношения, представленного в формуле:

$$l = \frac{L}{h}, \quad (4)$$

где L – расстояние между рядами светильников, м.

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

$$L = l \cdot h = 1,4 \cdot 1,6 = 2,24 \text{ (м)} \quad (5)$$

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

$$L = \frac{(B - L)}{2} = \frac{(3 - 2,24)}{2} = 0,38 \text{ (м)} \quad (6)$$

Определим индекс помещения вычисляя по формуле (5.2) получаем:

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

Найдем коэффициенты отражения поверхностей стен, пола и потолка.

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

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

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

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

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

Выразим E из формулы (5.1):

$$E = \frac{(F \cdot N \cdot \eta)}{(k)} = \frac{(4160 \cdot 4 \cdot 0,36)}{(1,5 \cdot 12 \cdot 1,1)} = \frac{5990,4}{19,8} = 302,5 \quad (\text{лм}) \quad (7)$$

Как видно из расчета, минимальная освещенность в пределах нормы.

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

$$N = \frac{(E \cdot k \cdot S \cdot Z)}{(n \cdot \eta \cdot F)}, \quad (8)$$

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

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

S – площадь помещения;

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

n – число рядов светильников, n = 2;

η – коэффициент использования светового потока, η = 0,36;

F – световой поток, излучаемый светильником.

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

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

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

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

6.1.3.5. Шум

В производственных условиях имеют место шумы различной интенсивности и частотного спектра, которые генерируются источниками шумов.

Для исследуемого объекта (производство и пункт управления) основными источниками шумов являются производственное оборудование (внешние источники) и оборудование поста управления (внутренние источники).

ПДУ шума для объектов типа поста управления нормируются ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Значения ПДУ согласно этим документам представлены в таблице 6.1.3.5.1. (для постоянных шумов)

Таблица 6.1.3.5.1 – Нормированные значения уровня звукового давления

Рабочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	66	1125	225	550	1100	2200	4400	8800	
	3		0	0	0	0	0	0	
ПУ	98	974	868	863	860	778	755	754	65
	3								

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

6.1.3.6. Электромагнитные излучения

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

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 6.1.3.6.1 и таблице 6.1.3.6.2, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 6.1.3.6.1 – Временные допустимые ЭМП, создаваемых ПЭВМ

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

Таблица 6.1.3.6.2 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м

Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		

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

6.1.3.7. Психофизиологические факторы

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

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

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

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

6.1.3.8. Электрический ток

. Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;

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

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

Основными мероприятиями по защите от электропоражения являются:

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

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

Контроль выполнения требований электробезопасности должен проходить на следующих этапах:

- проектирование;
- реализация;
- эксплуатация.

6.2. Экологическая безопасность

6.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

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

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

6.2.2. Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду

Одноплатные компьютеры Raspberry Pi 2 спроектированы для использования в стационарных, защищенных от внешних воздействий условиях. Условия эксплуатации превосходят требования DIN IEC 60721-3-3.

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

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

6.2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Снижение загрязнения возможно за счет совершенствования оборудования, производящего электроэнергию, применения более экономичных и результативных технологий, использования новых методов получения электроэнергии и внедрения современных методов и способов очистки и обезвреживания отходов производства. Кроме того, эта проблема должна решаться и за счет эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями, а это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Одноплатные микрокомпьютеры фирмы Raspberry Pi, могут утилизироваться, так как не содержат токсических материалов. Для безопасной с точки зрения охраны окружающей среды утилизации и удаления старых устройств необходимо обратиться к компании фирмы Raspberry, имеющей сертификат на утилизацию и удаления лома электронного оборудования.

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

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

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

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

На объекте возможные следующие ЧС:

- короткое замыкание;
- пожар.

Наиболее типичной ЧС для данного объекта является короткое замыкание.

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

Для предупреждения ЧС на объекте приняты следующие меры:

- защитное заземление;
- изоляция контактов;
- регулярная проверка целостности контактов и дорожек на плате;

Для повышения устойчивости объекта к данной ЧС приняты следующие меры:

- используется внешний стабилизатор напряжения.

В случае возникновения на объекте ЧС будут произведены следующие действия:

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

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

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

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

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

6.3.2. Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований

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

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

К причинам электрического характера относятся:

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

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

Причины возникновения короткого замыкания:

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

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

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

6.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

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

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

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т.к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество

пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;

- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

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

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

Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации.

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

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

План эвакуации людей при пожаре из помещения, где расположен диспетчерский пункт (пост управления), представлен на рис. 6.3.3.1

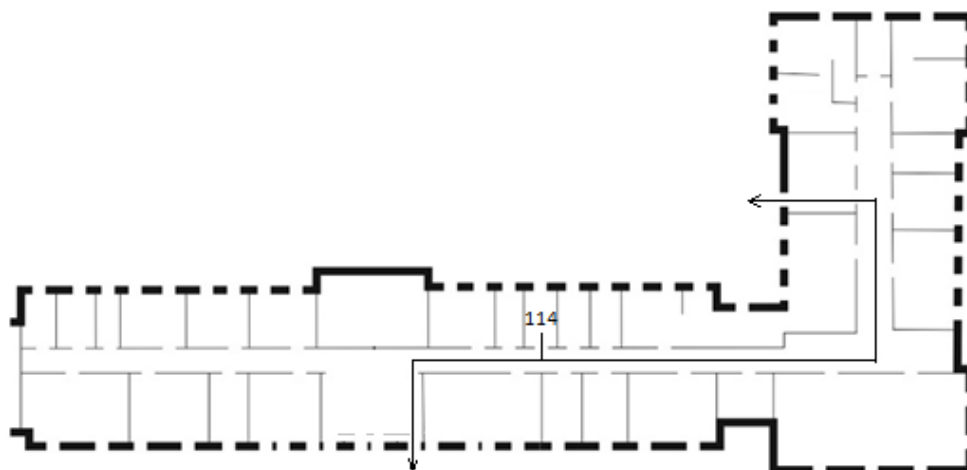


Рисунок 6.3.3.1 - План эвакуации при пожаре

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

6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства

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

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

Формы их реализации разнообразны:

- собственно, трудовые отношения;
- организация труда и управление им;
- трудоустройство работников;
- социальное партнерство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;
- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;

- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;
- социальная и правовая защита работников, решение трудовых споров;
- деятельность профессиональных союзов;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

Рассмотрим регулирование коллективных отношений.

Настоящий коллективный договор является правовым актом, регулирующим социально-трудовые отношения работников ФГАОУ НИ ТПУ с работодателем. Основной задачей коллективного договора является создание необходимых организационно-правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений.

По заключенному коллективному договору работодатель обязан:

- соблюдать трудовое законодательство и иные нормативные правовые акты, содержащие нормы трудового права, локальные нормативные акты, условия коллективного договора, соглашений и трудовых договоров;
- предоставлять работникам работу, обусловленную трудовым договором;
- обеспечивать безопасность и условия труда, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда;
- обеспечивать работников оборудованием, инструментами, технической документацией и иными средствами, необходимыми для исполнения ими трудовых обязанностей;

- обеспечивать работникам равную оплату за труд равной ценности, постоянно совершенствовать организацию оплаты и стимулирования труда, обеспечить материальную заинтересованность работников в результатах их труда;
- выплачивать в полном размере причитающуюся работникам заработную плату в сроки, установленные в соответствии с ТК РФ, коллективным договором, настоящими Правилами, трудовыми договорами;
- вести коллективные переговоры, а также заключать коллективный договор в порядке, установленном ТК РФ;
- знакомить работников под роспись с принимаемыми локальными нормативными актами, непосредственно связанными с их трудовой деятельностью;
- создавать условия, обеспечивающие участие работников в управлении организацией в предусмотренных ТК РФ, иными федеральными законами и коллективным договором формах;
- осуществлять обязательное социальное страхование работников в порядке, установленном федеральными законами;
- возмещать вред, причиненный работникам в связи с исполнением ими трудовых обязанностей, а также компенсировать моральный вред в порядке и на условиях, которые установлены ТК РФ, федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;
- принимать необходимые меры по профилактике производственного травматизма, профессиональных или других заболеваний работников, своевременно предоставлять льготы и компенсации в связи с вредными (опасными, тяжелыми) условиями труда (сокращенный рабочий день, дополнительные отпуска и др.), обеспечивать в соответствии с действующими нормами и

положениями специальной одеждой и обувью, другими средствами индивидуальной защиты;

- постоянно контролировать знание и соблюдение работниками всех требований инструкций по охране труда, производственной санитарии и гигиене труда, противопожарной безопасности;

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

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

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

Обеспечивать за счет средств работодателя:

- Проведение инструктажей по охране труда, обучение лиц, поступающих на работу с вредными и (или) опасными условиями труда, безопасным методам и приемам выполнения работ со стажировкой на рабочем месте и сдачей экзаменов, проведение периодического обучения по охране труда и проверку знаний требований охраны труда в период работы.
- Проведение обязательных периодических медицинских осмотров (обследований) работников, в том числе женщин в женской консультации, в рабочее время по графику медицинских осмотров, с сохранением за ними места работы (должности) и среднего заработка на время прохождения указанных медицинских осмотров.
- Наличие на производственных участках аптечек для оказания первой помощи пострадавшим и обработки микротравм; наличие в аптечках рекомендованного МЛПУ «Городская клиническая

больница №1» перечня средств и медикаментов, их ежегодную замену.

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

6.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

6.4.2.1. Эргономические требования к рабочему месту оператора ПЭВМ

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

Организация рабочего места программиста или оператора регламентируется следующими нормативными документами:

[ГОСТ 12.2.032-78](#) ССБТ, [ГОСТ 12.2.033-78](#) ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

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

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

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

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

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

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

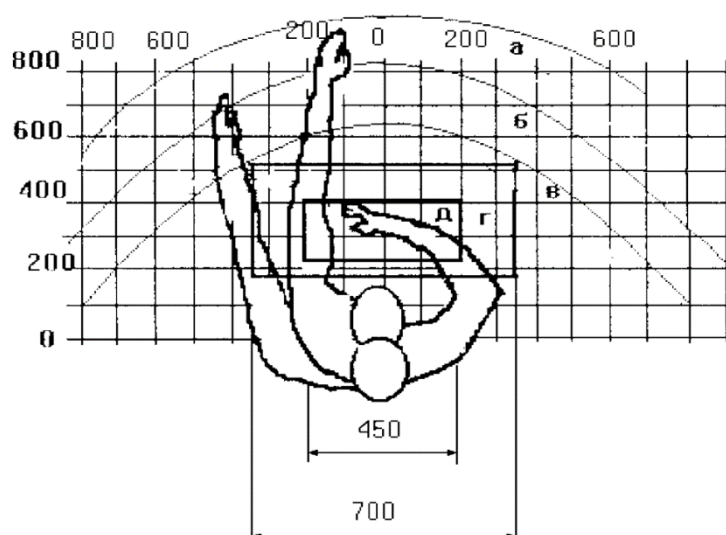


Рисунок 6.4.2.1.1 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

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

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

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

Большое значение придается характеристикам рабочего стула (кресла).

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

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

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

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

Работающий за ПЭВМ должен сидеть прямо, опираясь в области нижнего края лопаток на спинку кресла, не сутулясь, с небольшим наклоном головы вперед (до

5-7°). Предплечья должны опираться на поверхность стола, снимая тем самым статическое напряжение плечевого пояса и рук.

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

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

Положение экрана определяется:

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

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

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

Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20° ;
- плечи должны быть расслаблены;
- локти - под углом $80^{\circ} \dots 100^{\circ}$;
- предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами:

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

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы был разработано опытный образец устройства, препятствующего засыпания водителя за рулем на основе алгоритмов компьютерного зрения. В опытном образце реализован базовый функционал, направленный на детектирование объектов типа «Лицо» и «Глаза» на основе портативной аппаратно-вычислительной платформы Raspberry Pi 2.

В ходе работы был проведен сравнительный анализ потенциально подходящих для прототипирования платформ, среди популярных микроЭВМ и микроконтроллеров. По результатам сравнения платформ по объему ОЗУ, тактовой частоте центрального процессора, габаритам и стоимости была выбрана платформа Raspberry Pi 2.

Кроме того, была произведена разработка программного обеспечения на основе библиотек компьютерного зрения с использованием языка C++. Ключевым методом детектирования лица и глаз стал алгоритм Виолы-Джонса, реализованный на основе классификационных каскадов Хаара.

В качестве непосредственно метода оценки состояния человека был выбран метод оценки состояния глаз, а именно открыт или закрыт и в течение какого периода. Определение состояния глаза построено, главным образом, на детектировании зрачка. Программная реализация была осуществлена при помощи метода Fast Radial Symmetry Transform, позволяющий детектировать эллипсообразные объекты на изображении.

В ходе выполнения работы были получены опыты работы с языком программирования C++, работой с компьютерным зрением и библиотеками OpenCV на операционной системе Windows и Debian. Был изучен математический аппарат используемых методов, а также повышен уровень английского языка в ходе изучения зарубежных аналогов и литературы по данной тематике.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Цавнин А. В. Устройство контроля состояния водителя на основе алгоритмов компьютерного зрения / А. В. Цавнин, С. В. Замятин ; науч. рук. С. В. Замятин // Технологии Microsoft в теории и практике программирования : сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г.Томск, 22-23 марта 2016 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 102-103].

2. Цавнин А. В. Устройство контроля состояния водителя на основе алгоритмов компьютерного зрения / А. В. Цавнин, С. В. Замятин // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине : сборник научных трудов III Международной научной конференции, 23-26 мая 2016 г., Томск : в 2 ч. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Ч. 1. — [С. 227-228].

3. Цавнин А. В. Устройство контроля состояния водителя на основе алгоритмов компьютерного зрения / А. В. Цавнин ; науч. рук. С. В. Замятин // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 2. — [С. 296-297].

4. А. В. Цавнин, С. В. Замятин // Научная сессия ТУСУР-2016 : материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 25-27 мая 2016 г. в 6 ч. / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). — 2016. — Ч. 4. — [С. 34-36].

5. А. В. Цавнин, // Научная сессия ТУСУР-2017: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 10-12 мая 2017 г. в 8 ч. / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). — 2017. — Ч. 5. — [С. 106-108].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. European Commission. Environment and energy Collection: Pocketbook 2010, Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2011.
2. RoadsKill. Pulitzer Center [Электронный источник]/URL: <http://roadskillmap.com> – Яз. Англ. Дата обращения: 20.10.2016 г.
3. Medscape. Running on Empty: Fatigue and Healthcare Professionals. [Электронный ресурс]./ URL: http://www.medscape.com/viewarticle/768414_2 (Дата обращения 04.03.2016).
4. Sleep related vehicles accidents / J.A. Horne, L.A. Reyner. // BMJ. – 1995. – В 310. – P.565-567
5. Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study / J. Connor, R.Norton, S.Ameratunga. // BMJ. – 2002. – В 324 1125
6. Volvo Cars Support. DAC [Электронный источник]/URL: <http://support.volvocars.com/uk/cars/Pages/owners-manual.aspx?mc=Y555&my=2015&sw=14w20&article=2e82f6fc0d1139c2c0a801e800329d4e> – Яз. Англ. Дата обращения: 05.02.2017 г.
7. Ford's Driver Alert Systems keeps you in the right lane, recommends java on occasion. [Электронный источник]/URL: <https://www.engadget.com/2011/10/29/fords-driver-alert-system-keeps-you-in-the-right-lane-recommen/> – Яз. Англ. Дата обращения: 20.03.2017 г.
8. Bosch Mobility Solutions. Driver Assistance Systems. [Электронный источник]/URL: http://products.bosch-mobility-solutions.com/en/de/driving_safety/driving_safety_systems_for_passenger_cars_1/driver_assistance_systems/driver_assistance_systems_2.html – Яз. Англ. Дата обращения: 20.03.2017 г.
9. How Does Mercedes-Benz Attention Assist Work? [Электронный источник]/URL <http://www.loebermotors.com/blog/how-does-mercedes-benz-attention-assist-work/> – Яз. Англ. Дата обращения: 20.03.2017 г.

- 10.ГОСТ 51709-2001. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки.
- 11.Handbook of Psychophysiology, 2nd ed. / M.E. Dawson, A.M. Schell, D.L. Fillion.// Cambridge University Press. – 2000. – P 200 – 223.
- 12.Учебное пособие по курсу «Компьютерная обработка изображений» [Электронный источник]/URL:
http://aco.ifmo.ru/el_books/image_processing/1_01.html –. Дата обращения: 20.04.2017 г.
- 13.Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман: пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. – С. 8.
- 14.Learning OpenCV / D. Bradsky, A. Kaehler. // O'Reily Media, Inc. – 2008. – 557P.
- 15.OpenCV [Электронный источник]/URL: <http://opencv.org> . Дата обращения: 20.01.2017 г.
- 16.Basic Structures [Электронный источник] / URL:
http://docs.opencv.org/2.4/modules/core/doc/basic_structures.html Дата обращения: 23.01.2017 г.
- 17.Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features / P. Viola, M.J. Jones. // CVPR. – 2001.proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition.
- 18.Robust real-time face detection / P. Viola, M.J. Jones. // International Journal of Computer Vision, vol. 57, no. 2, 2004, pp.137–154.
- 19.Цифровая обработка изображений / Р.Гонсалес, Р.Вудс. // Техносфера, Москва. – 2005. – 1072 с.
- 20.A general framework for object detection / O.Papageorgiou // International Conference on Computer Vision, 1998
- 21.Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P. Viola, M.J. Jones. // Computer Vision and Pattern Recognition, 2001
- 22.Empirical analysis of detection cascades of boosted classifiers for rapid object detection. /R. Lienhart, E. Kuranov, V. Pisarevsky. // PRS. – 2003 pp. 297-304

23. Raspberry Pi [Электронный источник]/URL: <http://raspberrypi.ru> . Дата обращения: 17.01.2017 г.
24. Webcam C-170 [Электронный источник]/URL: <https://www.logitech.com/ru-ru/product/webcam-c170> . Дата обращения: 19.03.2017 г.
25. Install OpenCV and Python on your Raspberry Pi 2 and B+ [Электронный источник]/URL: <http://www.pyimagesearch.com/2015/02/23/install-opencv-and-python-on-your-raspberry-pi-2-and-b/> - Яз. Англ. Дата обращения: 11.04.2017 г.
26. Robert Sedgewick, Kevin Wayne. Algorithms. Fourth edition. – Addison-Wesley, 2011. – 955 P.
27. Stanley B. Lipman, Josee Lajoie, Barbara E. Moo. C++ Primer, Fifth Edition. - Addison-Wesley, 2013. – 1399 P.
28. Claus Bahlmann Fast Radial Symmetry Detection Under Affine Transformations // CVPR '12 Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Pages 932-939.
29. Обработка изображений – свёртка. [Электронный источник]/URL: <http://robocraft.ru/blog/computervision/427.html> . Дата обращения: 11.11.2016 г.
30. G. Loy and A. Zelinsky, “Fast radial symmetry for detecting points of interest,” PAMI, vol. 25, pp. 959–973, August 2003.
31. Кутуков, Д.С. Применение методов кластеризации для обработки новостного потока/Д.С. Кутуков // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). — СПб.: Реноме, 2011. — с. 77–83
32. Баргесян, А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 336 с.

- 33.Кондратьев, М.Е. Анализ методов кластеризации новостного потока. — Труды 8-й Всерос. науч. конф. «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии
- 34.History and Definition of the so-called "Sobel Operator", more appropriately named the Sobel-Feldman [Электронный источник]/ URL: <https://www.researchgate.net/publication/239398674> / - Яз. Англ. Дата обращения 25.04.2017.
- 35.Кудрина Мария Александровна Использование преобразования Хафа для обнаружения прямых линий и окружностей на изображении // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. №4-2 С.476-478.
- 36.Дегтярева А., Вежневцев А. Преобразование Хафа // On-line журнал "Графика и мультимедиа", вып. 1, 2003.
- 37.Build, Test and Package Your Software With CMake [Электронный источник]/URL <https://cmake.org> / - Яз. Англ. Дата обращения 22.04.2017.
- 38.С.В. Белов. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность). / учебник. 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2011. — 680 с.
- 39.Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ. [Электронный ресурс]. / URL: <http://an-site.ru/dk/adpz18.htm> . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.
- 40.Аэроионный состав воздуха в производственных помещениях. [Электронный ресурс]. / URL: http://studme.org/12920522/bzhd/aeroionnyy_sostav_vozduha_proizvodstvennyh_pomescheniyah . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.
- 41.ГОСТ 12.0.003-74. Классификация производственных факторов. — М.: Госстандарт РФ, 1999г.
- 42.ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

- 43.Электрически заряженные частицы воздуха – аэроионы. [Электронный ресурс]. / URL: http://ohrana-bgd.narod.ru/jdtrans/jdtrans_088.html . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.
- 44.ГОСТ 30403-96. Конструкции строительные. Метод определения пожарной опасности. – М.: Минстрой РФ, 1996.
- 45.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 46.СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс]. / URL: <http://base.garant.ru/2306278/> . Яз. рус. Дата обращения 28.05.2015 г.
- 47.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 48.Производственное освещение. Нормирование естественного освещения. [Электронный ресурс]. / URL: http://ohrana-bgd.narod.ru/mashin/mashin_031.html . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.
- 49.Лекция по БЖД на производстве – 2.3 Защита от вибраций. / URL: <http://www.mylect.ru/bgd/bgd/205-bjdproizvodstvo.html?start=18> . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.
- 50.Ионизирующее излучение. / URL: <http://ohrana-bgd.narod.ru/ioniz1.html> . Яз. рус. Дата обращения 28.05.2015 г.
- 51.НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: Министерство ГО и ЧС, 2003.
- 52.Первая помощь при ожогах. – URL: <http://www.medicus.ru/first-aid/patient/master-klass-pervaya-pomosch-pri-ozhogah-27883.phtml> . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.

- 53.Определение (расчет) категории помещений и класса зоны. / URL: <http://www.pozhcentr39.ru/kategorii-pomeshhenij/> . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.
- 54.Справочная книга для проектирования электрического освещения. // Под ред. Г.Б. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976.
- 55.Рабочее место программиста (раздел диплома по БЖД). – [Электронный ресурс]. / URL: <http://www.topreferat.ru/s12/i31073.html> . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.
- 56.Федеральный классификационный каталог отходов. – [Электронный ресурс]. / URL: <http://www.ecoguild.ru/faq/fedwastecatalog.htm> . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.
- 57.Утилизация компьютеров и оргтехники. – [Электронный ресурс]. / URL: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=485112> . Яз. рус. Дата обращения: 28.05.2015 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

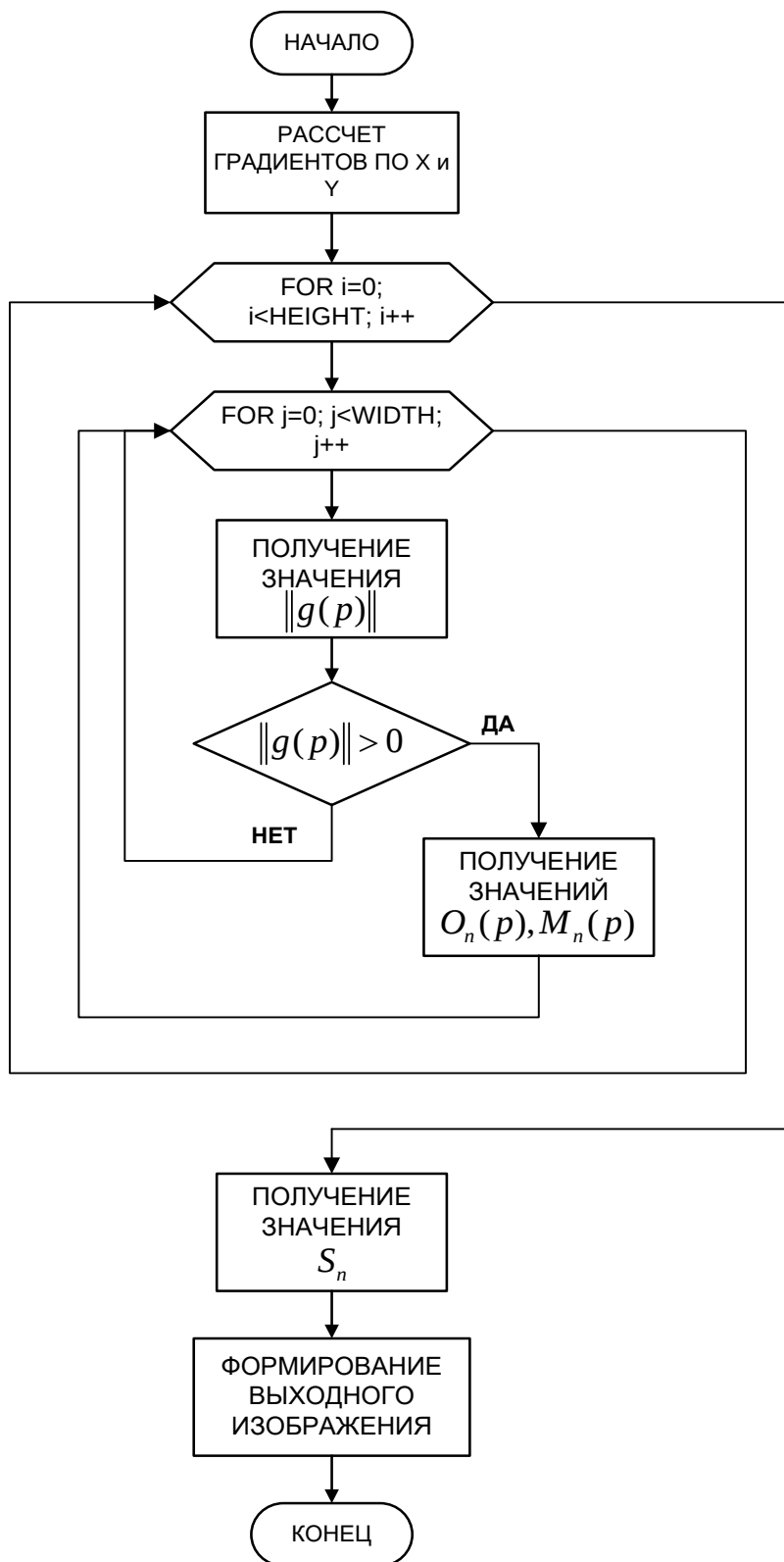
Сравнительная таблица аппаратных платформ

НАИМЕНОВАНИЕ УСТРОЙСТВА	CPU	RAM	ПОРТЫ И ИНТЕРФЕЙСЫ	СТОИМОСТЬ
BeagleBone Black	1 ГГц	512 Мб	Ethernet, HDMI, USB, 2x46 pin headers, SPI, I2C, UART	55\$
Intel Galileo Gen 2	400 МГц	512 Мб	RS-232, Ethernet, USB, SPI, I2C	73\$
Raspberry Pi 2	900 МГц	1 Гб	I2C, SPI, USB, HDMI, 2x40 pin header	40\$
CubieBoard2	1 ГГц	1 Гб	HDMI, Ethernet, I2C, SPI, SATA	68\$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Блок-схема программной реализации метода FRST



ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Раздел 1 Literature review

Студент:				
Группа	ФИО	Подпись	Дата	
8AM5A	Цавнин Алексей Владимирович			

Консультант – лингвист кафедры	ИЯИК	:		
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Денико Р.В.			

In the world, the number of vehicles on the roads has increased dramatically over the last decade; hence road safety issues are relevant as never before. The global road death toll has already reached 1.24 million per year and is on course to triple to 3.6 million per year by 2030, which underlines the importance of the problem. Estimated 20 % of vehicle crashes are attributed to drowsy driving [1, 2]. Driver drowsiness is one of the key problems in the civil transport field in a number of European countries like Germany and Great Britain. Therefore, preventing accidents caused by driver falling asleep is a relevant issue.

Nowadays, engineers and scientists all around the world are working on the solution for the considered problem. The already existing solutions can be conditionally divided in two groups:

- Serial complex systems;
- Portable devices.

The following is the review of information about the driver state estimation systems.

Table 1 - Serial driver state estimation systems their parameters

System name	Estimative parameter
Ford Driver Alert Control	Car position within a traffic lane
Mercedes ATTENTION ASSIST	Steering wheel motion estimation
Volvo Driver Alert Control	Car position within a traffic lane
Bosch Driver Drowsiness Detection	Steering wheel motion estimation

Driver state estimation systems developed by Ford and Volvo are based on the evaluation of car deviance from a road marking, i.e. car position analysis is provided with cameras that trace road marking and allow us to analyze the side deviation of a car directly. This method gives accurate information about a car situation on the road but simultaneously sets exclusive standards to road marking. However, in some countries, for example Russia, the considered estimative parameter will not have enough reliability level due to the low quality of road marking.

Embedded solutions developed by Mercedes and Bosch use steering wheel angle variation as a basic parameter for analysis. This method allows estimating drivers control actions and gives more operational efficiency. However, it doesn't always represents actual car movements. Russian law allows for the steering wheel play in the range up to 10 degrees. The same range is used for steering corrections that reflect involuntary car deviations which limits system efficiency [3].

Visual monitoring systems, i.e. computer vision based devices can be regarded as a separate class. These devices provide video capture of eyes and lids movements [4] and detect nictitation and long-lasting eyes closure. The majority of these devices is under development that makes their efficiency estimation challenging.

As a result of the review, the classification of portable driver state estimation devices was formed. All the devices were classied into several categories.

- Head inclination responding devices.

The devices control the inclination of a head to prevent a driver from falling asleep. The device is shaped and sized to fit a user's ear in the manner of a hearing aid. It will produce a sound preventing a user from falling asleep [5].

Simplicity and cheapness are the main advantages of such kind of devices, but they are insensitive to back inclination.



Figure 1.1 – “Antison” device

- Electrodermal activity (EDA) registering devices.

Electrodermal activity (EDA) has been one of the most widely used response systems in the history of psychophysiology. It is known that electrical conductivity of the skin varies, depending on the activity of the brain [6].

Such kind of devices are designed in the shape of rings or a wristband which is the optimal method to interact with a measured object. As measured resistance changes, the device estimates a driver state and in case of a drowsiness detection it generates sound, light or vibrational signal. The most well-known device of this group is called “STOPSLEEP”.



Figure 1.2 –“Stopsleep” device

- Attention measuring devices.

This group device are commonly set on car control panel and their principle of action is the following: the device has an indicator that sends light impulses at irregular intervals which a driver should response to by pressing a button. If a driver reacts slowly or even skip a response a device will signal. These devices are relatively reliable and easy to implement, but the constant distraction of a driver increases the risk of car accident [7].

Summing up the existing solutions, it must be emphasized that there is a big variety of devices aimed at preventing accidents caused by drowsiness, but almost all of them should be refined and modified and some of them are even not implemented. The imperfection of existing solution once again shoes the importance of work on devices for preventing underlines car accidents caused by drowsiness.

To summarize the considered information, it is possible to say that in spite of a large variety of existing devices and complex serial systems, there is still no universal portable solution that can be used in every vehicle and completely meet safety requirements.

Therefore, a new portable device prototyping has been considered. Prototyping includes hardware platform choice and software development. Raspberry Pi 2 was as a hardware platform due to its computational powers and cheapness. The software for face and eyes detection and head inclination calculation was developed using the C++ programming language.