

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Система виденья для людей с нарушением зрения</b>

УДК 004.932.2-056.262

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8EM91	Паксеев Иван Николаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин А.В.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко О.Ю.	д-р мед. наук		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Малышенко А.М.	д.т.н., профессор		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	способен представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК(У)-2	владеет в полной мере основным физико-математическим аппаратом, необходимым для описания и исследования разрабатываемых систем и устройств
ОПК(У)-3	владеет современными информационными технологиями, готовностью применять современные и специализированные средства автоматизированного проектирования и машинной графики при проектировании систем и их отдельных модулей, знать и соблюдать основные требования информационной безопасности
ОПК(У)-4	готов собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	способен использовать методы современной экономической теории при оценке эффективности разрабатываемых и исследуемых систем и устройств, а также результатов своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	готов использовать на практике приобретенные умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, выполняемых малыми группами исполнителей
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули, с применением методов формальной логики, методов конечных автоматов, сетей Петри, методов искусственного интеллекта, нечеткой логики, генетических алгоритмов, искусственных нейронных и нейро-нечетких сетей
ПК(У)-2	способен использовать имеющиеся программные пакеты и, при необходимости, разрабатывать новое программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования

ПК(У)-3	способен разрабатывать экспериментальные макеты управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводить их исследование с применением современных информационных технологий
ПК(У)-4	способен осуществлять анализ научно-технической информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области мехатроники и робототехники, средств автоматизации и управления, проводить патентный поиск
ПК(У)-5	способен разрабатывать методики проведения экспериментов и проводить эксперименты на действующих макетах и образцах мехатронных и робототехнических систем и их подсистем, обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств
ПК(У)-6	готов к составлению аналитических обзоров и научно-технических отчетов по результатам выполненной работы, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок
ПК(У)-7	способен внедрять на практике результаты исследований и разработок, выполненных индивидуально и в составе группы исполнителей, обеспечивать защиту прав на объекты интеллектуальной собственности
ПК(У)-8	готов к руководству и участию в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей
ПК(У)-9	способен к подготовке технического задания на проектирование мехатронных и робототехнических систем их подсистем и отдельных устройств с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники, а также новых устройств и подсистем
ПК(У)-10	способен участвовать в разработке конструкторской и проектной документации мехатронных и робототехнических систем в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями
ПК(У)-11	готов разрабатывать методику проведения экспериментальных исследований и испытаний мехатронной или робототехнической системы, способностью участвовать в проведении таких испытаний и обработке их результатов
<b>Дополнительно сформированная университетом профессиональная компетенция</b>	
ДПК(У)-12	готов к решению задач научно-педагогической деятельности в области профессионального образования, планированию и проведению учебных занятий и разработке учебно-методических пособий и указаний

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Мальшенко А.М.  
 (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
8EM91	Паксееву Ивану Николаевичу

Тема работы:

Система виденья для людей с нарушением зрения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 134-27/с от 14.05.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	6.06.2021
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является устройство для навигации людей с нарушением зрения до локальных целевых объектов окружающего пространства.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор работ по теме навигации людей с нарушением зрения;</li> <li>2. Проектирование структурной схемы устройства для людей с нарушением зрения;</li> <li>3. Подготовка набора данных (сбор изображений и разметка аннотаций) для задачи распознавания номеров маршрутов;</li> <li>4. Обучение детектора объектов YOLOv4;</li> <li>5. Проведение тестирования обученного детектора.</li> </ol>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Структурная схема устройства</li> </ol>
--	---

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

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Федоренко Ольга Юрьевна, профессор ООД ШБИП, д-р мед. наук
Раздел на иностранном языке	Сидоренко Татьяна Валерьевна, Доцент ОИЯ ИШИТР, канд. пед. наук

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

Анализ предметной области
Analytical part

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	28.02.2021
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Тырышкин А.В.	к.т.н., доцент		28.02.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ91	Паксеев Иван Николаевич		28.02.2021

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (специальность) – 15.04.06 Мехатроника и робототехника  
 Уровень образования – Магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

<b>Магистерская диссертация</b>
---------------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	6.06.2021
--	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.05.2021	Аналитическая часть	25
26.05.2021	Практическая часть	35
20.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
23.05.2021	Социальная ответственность	10
25.05.2021	Приложение на иностранном языке	15

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Тырышкин А.В.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Мальшченко А.М.	д.т.н., профессор		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЕМ91	Паксеев Иван Николаевич

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.06 Мехатроника и робототехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Оклад инженера – 22 695 руб., Оклад руководителя – 35 111,5 руб.</i>
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<i>Районный коэффициент 30 %; Коэффициент дополнительной заработной платы 12 %; Накладные расходы 16 %.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %.</i>

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

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ, - определение трудоемкости работ, - создание диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на разработку: - затраты на специальное оборудование; - заработная плата (основная и дополнительная), - социальные отчисления, накладные расходы.</i>
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки	<i>Определение потенциального эффекта разработки.</i>

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

1. Диаграмма Ганта	
2. Таблицы	
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.2021

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М. В.	к. э. н.		01.03.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ЕМ91	Паксеев Иван Николаевич		01.03.2021

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЕМ91	Паксеев Иван Николаевич

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

### Система видения для людей с нарушением зрения

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: устройство «видения» и навигации для людей с нарушением зрения. Оборудованием, на котором производится работа, является ноутбук. Область применения: разрабатываемое устройство может использоваться для обеспечения людей с нарушением зрения дополнительными средствами восприятия окружающего пространства. Рабочим местом является жилое помещение с площадью в 12 кв.м. Помещение оборудовано отоплением, вентиляцией и соответствует нормам освещенности. Имеется одноместный стол с настольной светодиодной лампой мощностью 11 Вт.</p>
---	--

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

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</li> <li>– ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком;</li> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);</li> <li>– СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение;</li> <li>– СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;</li> <li>– ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;</li> <li>– СН 2.2.4/ 2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы;</li> <li>– ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность;</li> <li>– ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность;</li> <li>– СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– Отклонение параметров микроклимата;</li> <li>– Повышенный уровень шума;</li> <li>– Зрительное напряжение;</li> <li>– Психофизиологические факторы (монотонность труда, нервно-психические перегрузки, перенапряжение зрительных анализаторов).</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Поражение электрическим током;</li> <li>– Статическое электричество;</li> <li>– Короткое замыкание.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Атмосфера: воздействие отсутствует; Гидросфера: воздействие отсутствует; Воздействие на литосферу происходит при утилизации: <ul style="list-style-type: none"> <li>– компьютера и периферийных устройств (принтеры, МФУ, веб-камеры, наушники, колонки, телефоны);</li> <li>– люминесцентных ламп;</li> <li>– макулатуры.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: аварии на системах жизнеобеспечения населения; Наиболее типичная ЧС: возникновение пожара на рабочем месте.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко О. Ю.	д-р мед. наук		01.03.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ91	Паксеев Иван Николаевич		01.03.2021

## Реферат

Магистерская выпускная квалификационная работа содержит 100 страниц, 10 рисунков, 16 таблиц, список использованных источников из 46 наименований и 2 приложения.

Ключевые слова: навигация, инерциальная навигация, незрячие люди, электротактильная стимуляция, компьютерное зрение, тактильные интерфейсы, нейронные сети, сенсорное замещение, гаптика, трансферное обучение, СТЗ – система технического зрения.

Объектом исследования является устройство для навигации людей с нарушением зрения до локальных целевых объектов окружающего пространства.

Цель работы – проектирование структурной схемы устройства с пониженной когнитивной нагрузкой на аудиоканал и решение задачи поиска номеров маршрутов автобусов в рамках поиска локальных объектов.

В процессе исследования были изучены патенты, статьи и устройства по тематике навигации людей с нарушением зрения. Также были исследованы работы по теме электротактильной стимуляцией.

В результате исследования была разработана структурная схема устройства, был сделан подбор устройств и технологий для реализации устройства, был собран и размечен набор данных из 2110 изображений автобусов с номерами маршрутов, разделённый на 5 классов. На собранном наборе был обучен детектор на основе нейронной сети YOLOv4. Также получены рекомендации для повышения качества распознавания номеров маршрутов детектором.

Область применения: навигация людей с нарушением зрения.

В будущем планируется продолжить развитие данной темы в рамках работы в области медицинской робототехники.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1 Анализ предметной области .....	15
1.1 Навигация.....	15
1.1.1 Глобальное позиционирование.....	16
1.1.2 Wi-Fi Positioning System.....	16
1.1.3 Bluetooth Beacon .....	17
1.1.4 Инерционные навигационные системы.....	18
1.1.5 Система технического зрения.....	19
1.1.6 Вывод по навигации .....	20
1.2 Распознавание изображений.....	21
1.3 Аудио информирование .....	21
1.4 Тактильные технологии.....	23
1.5 Гибкая электроника.....	24
2 Практическая часть .....	28
2.1 Анализ интервью.....	28
2.2 Существующие решения .....	30
2.3 Проектирование структурной схемы устройства .....	34
2.3.1 Пользовательский интерфейс .....	34
2.3.2 Система технического зрения.....	35
2.3.3 Распознавание сцены.....	36
2.3.4 Навигация.....	36
2.3.5 Устройство обработки данных .....	37
2.3.6 Деление информации на два канала.....	37
2.3.7 Тактильный канал .....	39
2.3.8 Аудиоканал .....	40
2.3.9 Структурная схема устройства .....	40
2.4 Поиск номера маршрута.....	41
2.4.1 Создание набора данных .....	42

2.4.2 Аннотация данных .....	43
2.4.3 Обучение собственного детектора .....	44
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	50
4 Социальная ответственность .....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
Список публикаций студента.....	80
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	81
Приложение А (обязательное) Приложение на английском языке .....	86
Приложение Б (справочное) Интервью с незрячим человеком .....	96

## ВВЕДЕНИЕ

По оценкам, в 2020 году в России порядка 31 миллиона человек имеют проблемы со зрением, а 550 тысяч слепы [1]. Отсутствие зрения у людей влечет за собой низкую мобильность у этой группы населения. Для них становится проблематично добираться из одной точки города в другую, делать повседневные вещи, которые для зрячих не представляют затруднений. В связи с этим, в последнее время наблюдается рост внимания к проблемам людей с нарушением зрения.

В России с 2011 года реализуется программа «Доступная среда». В рамках программы жизненно важные учреждения (больницы, университеты, органы власти т.п.) должны быть оборудованы средствами для возможного равного использования их услуг людьми с различными заболеваниями, в первую очередь, это люди на инвалидных креслах и остальные маломобильные группы.

За последние пять лет стало появляться больше работ и проектов, призванных облегчить жизнь слепых и слабовидящих людей. В связи с наличием почти у каждого человека смартфона, стало возможным предложить людям приложения, которые позволяют распознавать объекты, описывать то, что находится на изображении, осуществлять навигацию. Рынок устройств также увеличился. Появились навигаторы способные прокладывать маршрут, учитывая окружающее пространство человека. Все это стало доступным, благодаря развитию технологий, появлению новых датчиков, удешевлению и уменьшению габаритов старых.

Однако, до сих пор существующие решения не позволяют обеспечить достаточно комфортное и безопасное передвижение пользователей. Так, основным способом для осуществления навигации человека является голосовое информирование о направлении движения. Сообщение пользователю подсказок и указаний к действиям сопряжено с нагрузкой на аудиоканал, что влечет за собой увеличение когнитивной нагрузки и отвлечение от звуков окружающего пространства. По заявлению людей с нарушением зрения, им важно слышать

окружение, это позволяет ориентироваться в пространстве и понимать где они находятся.

В данной дипломной работе исследуется устройство локальной навигации для людей с нарушением зрения. Рассматриваются существующие технические решения, патенты и статьи. Выявлены основные недостатки, которые решаются спроектированным устройством. Проведено исследование в рамках задачи распознавания номеров маршрутов автобусов и сформулированы рекомендации к набору данных для обучения нейронных сетей. Написана заявка на изобретение способа и устройства.

## **1 Анализ предметной области**

Незрячим людям довольно сложно передвигаться в городской среде в силу отсутствия информации об окружении. Поэтому они пользуются различными устройствами и программами помимо белой трости, позволяющими им ориентироваться в пространстве, находить вещи и узнавать информацию об окружающей среде. Основными технологиями в устройствах для незрячих людей являются:

- Навигация,
- Распознавание изображений и обработка данных,
- Аудио контакт с пользователем,
- Тактильные технологии.

Рассмотрим работы и решения из данной области.

### **1.1 Навигация**

Основной трудностью для людей с нарушением зрения является отсутствие возможности свободного перемещения. Используя белую трость и смартфон для навигации, незрячему человеку все еще тяжело предвидеть существующие статические и динамические препятствия, особенно на незнакомых маршрутах. В силу этого, необходимо обеспечить пользователя технологиями, которые решали бы задачу глобальной и локальной навигации.

Целью глобальной навигации является определение местоположения пользователя в пространстве с помощью системы спутников (например, GPS/Глонасс), основываясь на данных карт. На основе положения и целевых задачах формируется глобальный маршрут движения к цели.

Целью локальной навигации является построение маршрута, который бы избегал столкновений пользователя с близко расположенными объектами окружающего пространства. Реализуется это на основе информации с системы технического зрения, которая определяет типы препятствий окружающих пользователя, расстояния до них, азимутальное направление расположения объектов и их габариты.

### **1.1.1 Глобальное позиционирование**

Основным методом для навигации человека из пункта А в пункт Б является использования технологии на базе спутниковых систем (GPS, Глонасс, Beidou и другие). Сейчас на рынке широко представлены навигаторы на базе смартфонов. Они позволяют строить маршрут для людей с нарушением зрения и озвучивать его для совершения передвижения.

Принцип работы GPS/Глонасс заключается в том, что точно известны координаты спутника отправляющего закодированное сообщение и время отправки и приема этого сообщения. Ориентируясь на разницу между отправкой и приемом радиосигнала, спутники вычисляют расстояние между собой и навигатором [2]. Для повышения точности позиционирования используют данные нескольких спутниковых систем одновременно или используют метод дифференциальной коррекции. Он заключается в том, что навигационная аппаратура учитывает поправки к данным со спутников, поступающие из альтернативных источников. Такими источниками могут быть наземные станции, которые обрабатывают сигналы от спутников и уточняют расстояние до него. Таким образом, зная точные координаты самой станции, можно уточнить местоположение спутника. Кадастровые инженеры, используя специальное оборудование и программы, способны обеспечить точность разметки до сантиметров [3]. Однако это не применимо в условиях плотной застройки, где использование систем спутниковой навигации затруднено (нет прямой видимости, сигнал зашумлен, отражен) [4]. Для внутренней навигации необходимо использовать другие способы ориентирования, иначе точность может составить сотни метров. Одними из таких методов может быть определение положения по Wi-Fi или Bluetooth.

### **1.1.2 Wi-Fi Positioning System**

WPS (Wi-Fi Positioning System) – система позиционирования, основывающаяся на определении текущих координат пользователя по Wi-Fi

точкам. Система используется преимущественно для навигации внутри помещений. Точность зависит от количества ближайших точек доступа, положение которых занесено в базу данных. В базу данных вносятся MAC-адреса точек доступа Wi-Fi, и соответствующее им местоположение [5]. Использование данной системы удобно тем, что не требует затрат на установку дополнительного оборудования – точки беспроводных сетей Wi-Fi уже имеются во многих организациях и торговых центрах. Примером решения задачи внутренней навигации с помощью модуля Wi-Fi является патент «Indoor and outdoor seamless navigation and positioning system» [6], где реализована система плавного переключения между внешней и внутренней навигацией. Точка Wi-Fi используется для определения местоположения внутри помещений, где сигнал спутников достаточно слабый, чтобы точно ориентироваться.

Однако точность такой системы может периодически меняться в зависимости от положения точки, замены на новую точку и т.д. Для поддержания системы ее необходимо периодически корректировать и проверять.

### **1.1.3 Bluetooth Beacon**

Беспроводная технология Bluetooth Beacon (BLE) – технология достоинством которой является малое энергопотребление маячков. Маячки – это передатчики, которые передают свои идентификаторы ближайшим портативным устройствам. Одной из областей применения данной технологии является навигация. Устройство помогает определить смартфону его местоположение. Так же Bluetooth-маячки используют для контекстной рекламы и запуска определенных событий при приближении к какой-либо точке (магазин, кафе, организация и п.) на смартфоне.

Пример использования Bluetooth-маячков описан в статье «NavCog3: An Evaluation of a Smartphone-Based BlindIndoor Navigation Assistant with Semantic Features in aLarge-Scale Environment» [7]. В данной работе их использовали для

определения местоположения пользователя в торговом центре. Перед применением Bluetooth Beacon была проведена большая предварительная работа, которая включала в себя сканирование пространства с помощью LiDAR и построение карты торгового центра с внесением в нее всех точек интереса (магазины, лестницы, лифты, эскалаторы и т.д.). Разработанное приложение ориентировалось по данным с маячков в количестве 220 штук, расположенных по всему торговому центру на потолке и внизу стен. Определяя местоположение, программа озвучивала маршрут, давала указания или сообщала контекстную информацию.

Недостатком данного приложения является то, что для навигации необходимо произвести большой сбор информации для каждого потенциально посещаемого слепыми здания/помещения. Это в свою очередь вызывает увеличение цены и времени на поддержку программы. Вся контекстная информация о здании была записана заранее и озвучивалась по определению положения или запросу пользователя.

Также при малом энергопотреблении самого маячка основным недостатком является расход батареи телефона. Это вызвано постоянным сканированием сигнала, особенно, в непосредственной близости к передатчикам. Еще одним недостатком является отсутствие средств безопасности передачи данных и необходимость установки большого количества таких маячков в помещениях, потенциально посещаемых людьми с нарушением зрения.

#### **1.1.4 Инерционные навигационные системы**

Для обеспечения надежности системы при исчезновении сигнала со спутников используются инерционные навигационные системы (ИНС). ИНС зачастую реализованы с использованием акселерометров, гироскопов, магнитометров и т.д. Совокупность сенсоров позволяет прогнозировать текущую координату, используя в качестве начальных условий последний полученный сигнал от системы глобального позиционирования. Однако,

недостатком такой системы является наличие постоянно накапливающейся ошибки, что необходимо учитывать.

Использование инерциальной навигации вкуче с другими устройствами позволяет обеспечить увеличение точности позиционирования. Так в статье «Motion Context Adaptive Fusion of Inertial and Visual Pedestrian Navigation» [8] инерциальная навигация дополняется визуальной навигацией, где камера заменяет гироскоп и одомер. Расчёт реализован с помощью нейронных сетей, которые обучали на видео с различными типами движения, такими как бег, ходьба и лазанье. Результат работы устройства показал, что точность определения положения возросла в среднем на 4% в двух тестах, когда движение было медленным, и на 14%, когда движение было быстрым.

Данная статья интересна тем, что показывает перспективу получения дополнительных данных об ориентации с камер устройства, что может позволить повысить локальную навигацию пользователя при отсутствии сигнала от спутников.

### **1.1.5 Система технического зрения**

Система технического зрения (СТЗ) необходима для обеспечения локальной навигации. В условиях динамически изменяющегося окружающего пространства появляется задача распознавать окружающие объекты и получать данные об их положении и расстоянии относительно пользователя. На основе этой информации создаются 2D карты окружения и 3D сцены, по которым можно рассчитать маршрут, избегающий препятствий и динамических объектов.

Подобная система реализуется посредством цифровых камер и датчиков глубины. Для обработки полученных данных используется современное программное обеспечение (ПО) на основе сверточных нейронных сетей, способное анализировать информацию из изображений и видео.

Примерами использования СТЗ для локальной навигации могут быть патенты «Способ и система точной локализации слабовидящего или слепого

человека» [9] и «Аудиопомощь в навигации» [10], в которых с помощью стереозрения и данных с датчиков глубины строится карта окружения, на базе которой оценивается расстояние между объектами и прокладывается маршрут для пользователя.

Основным недостатком такого метода навигации является нагрузка на вычислительную часть устройства.

### **1.1.6 Вывод по навигации**

На основании данных технологий и приведенных выше работ можно сделать следующие выводы:

1. Следует за основной метод определения местоположения взять глобальную спутниковую навигацию. Она общедоступна и не требует дополнительных вложений;

2. При навигации в помещении или в отсутствии сигнала от спутников предпочтение стоит отдать инерциальной навигации. Использование этой технологии не требует затратных вложений в противовес обеспечения настройки Wi-Fi точек со стороны организаций занимающих помещения (например, торговые центры) или установки по всему помещению Bluetooth-маячков;

3. Использование визуальной навигации на основе данных с цифровых камер и датчика глубины необходимо для локальной навигации с распознаванием типа препятствий, которую не способны обеспечить другие технологии.

Комплексное использование вышеперечисленных технологий обеспечит пользователя навигацией, которая решает задачу определения местоположения и передвижения даже при отсутствии сигнала с одной из технологий. Надежность позиционирования повышается за счет включения в систему инерциальных датчиков. СТЗ обеспечит локальную навигацию в динамически изменяющейся среде.

## **1.2 Распознавание изображений**

Для людей с нарушением зрения является проблемой поиск предметов и получение информации об объектах окружающего пространства. В связи с этим существуют решения, которые позволяют людям компенсировать недостаток информации об окружающей среде. Среди таких решений: приложения для смартфонов и удаленные помощники. Главный принцип обоих способов состоит в описании того, что захватила камера смартфона. В случае приложений это обрабатывается с помощью нейронных сетей, результатом работы которых становится сгенерированное описание изображения. Примером такого приложения может быть «Seeing AI» – приложение от Microsoft, на которое написан патент «Augmented imaging assistance for visual impairment» [11]. Удаленный помощник представляет собой услугу, в которой оператор, подключившись к камере смартфона пользователя, словесно описывает ему то, что видит. Примером такого сервиса может служить приложение «Be My Eyes» [12].

В силу современного уровня развития и роста качества технологий использование нейронных сетей становится более доступным, как в облачных сервисах, так и на базе смартфонов.

## **1.3 Аудио информирование**

Технология синтеза речи широко представлена в смартфонах и различных голосовых помощниках. Она используется для более быстрого и удобного получения информации. Одним из ярких примеров может быть Яндекс.Станция – «умная» колонка с голосовым помощником «Алиса». Также технологии синтеза речи используются в программах для незрячих людей для работы за персональным компьютером.

Синтез речи применяется в тех случаях, когда необходимо взаимодействие интерфейса с человеком. Качество синтезатора речи оценивают по его схожести с человеческой речью. Синтезированную речь можно получить различными путями, от записи определенных основ и словаря с их

последующим комбинированием, до обучения системы правилам и чтению по тексту, что делает систему гибкой к разным тематикам.

Актуально использование этой технологии в устройствах и программах для людей с нарушением зрения, когда не представляется возможным прочесть надписи, названия, узнать что изображено на экране или вокруг пользователя. Поэтому все подобные системы для незрячих людей оборудованы аудио сопровождением. Примером такой системы может служить голосовой навигатор, описанный в статье «NavCog3: An Evaluation of a Smartphone-Based Blind Indoor Navigation Assistant with Semantic Features in a Large-Scale Environment» [7]. NavCog3 предоставляет пошаговые инструкции и немедленную обратную связь при обнаружении неправильной ориентации. Программа может своевременно выдавать инструкции поворота, чтобы пользователь с нарушениями зрения мог легко выполнять правильные повороты без помощи. Кроме того, она предоставляет уведомления о приближении к повороту, чтобы пользователи могли подготовиться. После поворота (или в начальной точке) система информирует пользователя о расстоянии от текущей позиции до следующей точки и о действиях, которые они должны предпринять, при повороте или переходе между этажами.

Однако основной проблемой аудио информирования является когнитивная перегрузка аудиоканала человека. Учитывая постоянно изменяющееся окружение и время, затраченное на сообщение пользователю обновившихся данных, человек получает большой объем информации, которая зачастую имеет обобщенный характер. Людям с нарушением зрения важно слышать звуки окружающей среды, так как это позволяет им ориентироваться в пространстве и понимать, где они могут находиться. Загруженность аудиоканала влечет отвлечение внимания, что может привести к опасным для жизни ситуациям. В силу этого можно использовать альтернативный канал сообщения.

#### **1.4 Тактильные технологии**

В силу повышенных требований к анализу получаемой пользователем информации, появляется необходимость ее отсеивания, деления и сведения к допустимому минимуму. Как следствие, есть необходимость снять нагрузку с аудио канала пользователя, который перегружен потоком информации о навигации и окружении. Среди доступных средств для передачи человеку данных остается тактильный канал, передача на который осуществляется тактильной стимуляцией кожи человека посредством вибродвигателей или электродов.

Основным видом информации, сообщаемой пользователю тактильно, является направление движения. Вибротактильные пояса и жилеты, передающие человеку направление, позволили заменить карты и навигаторы. Использование таких устройств позволило снять нагрузку и уменьшить время реакции на изменение маршрута. Так время, затраченное на движение по маршруту незрячими людьми, использующими тактильные устройства, было равнозначно времени, затраченному зрячими, использующими навигатор [13, 14].

В данной работе выбор остановлен на методе электростимуляции. Это связано с тем, что использование вибродвигателей ограничивает объем информации, который можно передать пользователю в силу их габаритов. Использование электродов позволяет значительно увеличить количество элементов в тактильной матрице. В связи с этим возрастет разрешающая способность, что означает возможность передачи более сложных сигналов пользователю.

Принцип работы электростимуляции описан в работах «Electro-Tactile Display with Tactile Primary Color Approach» [15] и «Design of electrotactile stimulation to represent distribution of force vectors» [16] где описана методика электростимуляции подушечки пальца. Основной целью такой стимуляции является создание у пользователя фантомных ощущений.

Примером устройства использующего тактильную матрицу для взаимодействия с окружающим пространством является BrainPort Vision [17]. Оно обеспечивает пользователю возможность «видеть» окружающее пространство посредством стимуляции поверхности языка матрицей электродов. Рисунок, передающийся человеку, соответствует контурам окружающих его объектов.

На данный момент тактильные технологии получают все большее распространение. Особенно активное применение они нашли в устройствах для виртуальной реальности. Способность создавать фантомные ощущения у пользователя, соответствующие происходящему в виртуальной среде, позволяет увеличить погружение в процесс. Примером может быть костюм для виртуальной реальности Teslasuit [18]. Он предназначен для обучения сотрудников, тренировка которых непосредственно на объекте может быть опасна.

Одним из недостатков является достаточная массивность устройств в силу большого количества электродов, которая может вызвать неудобство использование этой технологии.

### **1.5 Гибкая электроника**

Чтобы стало возможным реализовать устройство, габариты которого позволяли бы комфортно его использовать (носить и передвигаться с ним), необходима электроника небольших размеров. Решением может стать гибкая электроника.

Гибкая электроника выступает сферой физики, химии и электроники, которая занимается созданием электронных устройств на основе новых полупроводниковых материалов [19]. Под гибкой электроникой понимается совокупность различных технологий, которые позволяют обеспечить устройству гибкость и небольшие габариты. С ростом таких технологий растет дешевизна производственных процессов, что позволяет снизить стоимость конечного изделия.

В последние годы публикуется достаточно много работ, в которых исследуются различные методы изготовления, конструкции полупроводниковых устройств, материалов и комбинации различных областей науки. В данной работе описано применение тактильных технологий для изготовления тактильных поверхностей. Таким поверхностям (матрицам) необходимо быть достаточно легкими и гибкими, что осуществляется за счет использования меньших по габариту электронных составляющих и токопроводящих тканей, разработка которых ведется в настоящий момент.

Доказательством актуальности гибкой электроники является организация конференции The IEEE International Conference on Flexible, Printable Sensors and Systems. Первая конференция была организована в 2019 году. Количество публикаций в ней составило порядка 90 работ. Они охватывают различные области исследований: от создания тонкопленочных транзисторов до гибких датчиков электронной кожи. В данной главе приведены работы, которые могут быть полезны в разработке устройства для людей с нарушением зрения.

Про производство токопроводящих тканей и использования их в качестве электронного текстиля представлено несколько работ. В статье «Conductive textiles via electroless deposition for flexible electronics» [20] демонстрируется технология химического осаждения меди на ткань, что позволит изготавливать гибкие электрические цепи для устройств с низким энергопотреблением. Однако пока доступные для производства тканей технологии показывают ограничения в сочетании желаемых характеристик со сложной архитектурой электроники и датчиков.

В работе «Engineering organic electronic materials for the development of smart textiles» [21] представлен метод нанесения электродов на текстиль. Результаты работы показали, что использование текстильных электродов превосходят медицинские стандарты в мониторинге сердца, особенно во время движения. Они также способны эффективно передавать электрическую стимуляцию, вызывая мышечный рефлекс через кожу и улавливать

электрофизиологические сигналы с высокой точностью. Благодаря такой технологии можно создавать устройства, переводя схемы даже на трикотажную ткань.

Ограничения в печати электроники на ткани рассмотрены в статье «Influence of textile structure on the wearability of printed e-textiles» [22], где проведена зависимость необходимой толщины печати электронных схем от типа ткани и количества нитей. Правильный выбор ткани (с числом нитей 60 и 72 нитей / дюйм) позволяет снизить толщину полиуретанового слоя (подложка под электропроводящий слой), который составит от 0,8 до 1,7 мкм.

Для навигации людей с нарушением зрения разработан датчик оценки длины шага в работе «Step Length Estimation Using Sensor Fusion» [23]. Принцип работы датчика основан на изменении толщины слоя ткани, расположенной на колене, вследствие ее растяжения при сгибании ноги в коленном суставе. Результаты этой работы делают перспективным внедрение таких датчиков в устройство, которое будет способно оценивать движения человека, его позу и передвижение.

Чтобы сделать носимое устройство гибким, необходимо чтобы все его составляющие были способны растягиваться и сгибаться, не теряя своих характеристик. В этой области есть достаточно много работ, которые исследуют различные соединения, материалы и интеграции технологий, например рекомендации к выбору тканей и материалов и их обработки для гибких электронных схем [24] или создание соединений, позволяющих растягиваться на 150% [25].

Из приведенных выше работ следует вывод, что на данный момент в этой области существует достаточно исследований, способных обеспечить снижение цены конечного устройства, уменьшение габаритов по сравнению с ранее используемыми аналогами. Также существует достаточно новых технологий для получения различных данных о состоянии здоровья человека, его положении и т.д. Агрегирование таких различных по цели технологий в одно устройство позволит ожидать снижения цены устройства, что важно для

потенциальных потребителей, людей с нарушением зрения, заработок которых обычно ниже в сравнении со зрячими людьми. Также это является одним из критериев успешного продвижения изобретения на рынке.

## **2 Практическая часть**

Чтобы спроектировать устройство, необходимо понимать какие задачи оно должно решать. Для того чтобы получить наиболее адекватное представление о потребностях людей с нарушением зрения, в рамках работы над дипломом было проведено интервью с незрячим человеком.

### **2.1 Анализ интервью**

В ходе работы было проведено интервью с человеком, который является инвалидом по зрению. Во время общения были получены ответы на наиболее актуальные вопросы на данном этапе разработки. Была обсуждена концепция введения дополнительно тактильного канала для снижения когнитивной нагрузки и получена обратная связь от потенциального потребителя.

В приложении Б приведены вопросы и ответы из интервью. Ответы не являются дословными, а представляют собой обработанный материал, результатом которого стали основные выдержки и мысли из ответов.

Из интервью с незрячим человеком можно сделать следующие выводы:

1) При использовании тактильной поверхности для передачи пользователю сигнала, необходимо учитывать, что разные участки тела человека обладают разными дифференциальными порогами чувствительности. Необходимо собрать экспериментальные данные, которые покажут, как следует располагать матрицы электродов и с каким межэлектродным расстоянием и интенсивностью воздействия (в случае, если выбран метод электростимуляции). В связи с различным уровнем восприятия воздействий человеком, необходим индивидуальный подход и выбор наиболее подходящей зоны стимуляции;

2) Интервьюируемый сообщил, что пользуется белой тростью и приложением на смартфоне. Трость является неотъемлемым атрибутом незрячего человека. Помимо функции прощупывания поверхности перед собой она выполняет функцию сигнализации окружающим, что это слепой человек и необходимо проявить особое внимание и аккуратность при движении, оказать

помощь и т.д. Недостатком приложений является то, что они адаптированы только для статической среды и не способны отслеживать динамические объекты (автомобили, люди и т.д.). Также одним из основных недостатков являются ошибки навигации или отсутствия информации между контрольными точками. В связи с этим необходимо обеспечить локальную навигацию.

3) Не всегда возможно удерживать во внимании несколько каналов информации одновременно. Возникает необходимость выделить один основной канал внимания с наиболее важной информацией, либо дополнять один канал другим с целью пояснения/дополнения основной информации или замены в ситуациях, когда получение информации с первого затруднено. Также необходимо фильтровать информацию для снижения ее «зашумленности» лишней, необязательной. Это поднимает вопрос о создании блока постановки целей и задач, когда пользователь выбирает тот объем и область информации, которая нужна ему в данный момент.

4) Дополнительная информация о динамических событиях поможет спланировать маршрут и избежать опасных ситуаций. Например, информация о ремонтных работах. Незрячий человек, исследуя пространство, получает информацию последовательно, это требует больше времени и усилий, поэтому возможность получать информацию о различных объектах (например, лужа) и ситуациях облегчит навигацию.

5) Для знакомого пространства особое внимание представляют динамические объекты. В случае новой локации необходимо знать расположение ключевых объектов, например, подъезд или остановка.

6) Инвалиды не имеют необходимого бюджета для оплаты каких-либо устройств. В данном случае необходимо решать вопрос через фонд социального страхования. Это позволит внести устройство в перечень средств реабилитации, тогда оно будет выдаваться как средство технической реабилитации для людей с нарушением зрения за счет социального страхования.

7) Информация, которую невозможно отобразить с помощью тактильного канала, должна отображаться в другом виде, иначе произойдет

потеря информации. Оптимальный вариант – голосовой. Устройство должно работать по принципу взаимодополняемости.

Примером трудной ситуации для незрячего человека была озвучена проблема определения номера маршрута подошедшего автобуса. Незрячему человеку, если оказывается, что на остановке нет людей, приходится искать автобус, вход в него, спрашивать номер и в случае несовпадения повторять это с другим автобусом. На это уходит достаточный промежуток времени, чтобы нужный автобус уже уехал.

Опираясь на интервью можно сформулировать следующие задачи, встающие перед разрабатываемым устройством:

- 1) Обеспечение локальной навигации. Сообщение о препятствиях и особенностях окружения;
- 2) Уменьшение нагрузки на аудио канал пользователя;
- 3) Обеспечение структуризации информации, сообщаемой пользователю. При наличии нескольких каналов информирования, информация должна взаимодополнять друг друга и не дублироваться. Необходимо обеспечить достаточный минимум данных для ориентации.

## **2.2 Существующие решения**

Для понимания уровня существующих устройств и их функционала необходимо провести патентный обзор на существующие решения, рассмотреть решаемые ими задачи и присущие им недостатки.

Изученные работы преимущественно относятся к двум патентным категориям:

- А61F 9/08 .способы и устройства, дающие пациентам с дефектами зрения возможность замены прямого зрительного восприятия другим видом восприятия;
- А61Н 3/06 .вспомогательные средства, облегчающие хождение, для слепых (замена прямого зрительного восприятия другим видом восприятия А 61F 9/08).

В данной главе приведены патенты наиболее близкие к проектируемому устройству.

Основным аналогом проектируемого устройства является собака-поводырь. Она обучена обеспечивать хозяина локальной навигацией, избегая препятствий. Собаки умеют ориентироваться в городской среде и не имеют ограничений на присутствие в таких местах, как общественный транспорт и места общественного питания. Это обеспечивает людям с нарушением зрения свободное перемещение по городу.

Собака-поводырь может решать следующий набор задач:

- запоминать маршруты, по которым передвигается хозяин,
- ориентироваться в городской среде (светофоры, пешеходные переходы, транспорт),
- находить свободные места (стулья, скамейки) для хозяина,
- предупреждать об опасности,
- позвать на помощь,
- и прочее.

Однако в случае посещения нового места, собака не может знать конечную точку, поэтому приходится дополнительно использовать навигатор. Также поводырь не может взаимодействовать с окружением и информировать о его качественных характеристиках человека. Стоимость же обученных животных составляет порядка 250 тысяч рублей. Государство предоставляет людям с нарушением зрения их бесплатно, однако очередь на них довольно велика.

Таким образом, животное неспособно:

- 1) прокладывать глобальный маршрут до новой точки,
- 2) читать надписи,
- 3) сообщать пользователю информацию об окружающем пространстве.

В связи с этим были спроектированы и разработаны устройства навигации для людей с нарушением зрения, позволяющие человеку самостоятельно передвигаться по городу.

Так известна работа «Аудиопомощь в навигации» [10], в которой навигация пользователя осуществляется через аудиоподсказки от устройства, сканирующего окружающее пространство датчиками глубины и камерами и генерирующее трехмерную сетку ближайшего видимого окружения, используя методики машинного обучения. На основании этих данных оно прокладывает локальный маршрут и генерирует голосовые подсказки о навигации и сообщения об опасности.

Недостатками такой системы являются:

1) отсутствие возможности постановки локальных целей и задач. То есть устройство неспособно находить локальные объекты, которые могут быть интересны человеку по ходу движения;

2) в устройстве нет блока глобального позиционирования, что означает отсутствие возможности определения текущего местоположения и невозможность проложить маршрут до интересующей человека глобальной цели;

3) в связи с наличием только аудиоканала и постоянно обновляющихся голосовых подсказок невозможно оперативно передать быстро изменяющуюся информацию через аудио канал;

4) зашумленность аудиоканала влечет за собой отвлечение незрячего человека от естественного восприятия им аудио-потока окружающего пространства;

5) функционал устройства не позволяет взаимодействовать с окружением, например, читать надписи.

Таким образом, появляется необходимость компенсировать существующие недостатки. Это сделано в работе «Устройство навигации для слабовидящих и слепых» [26]. Устройство представляет собой комплекс из камер и пульта управления, который является навигатором. Навигатор

позволяет строить маршруты на основе подробных карт местности, узнавать местоположение и организации, располагающиеся поблизости. Камеры позволяют избегать препятствий, предупреждать об опасностях и читать надписи. Устройство общается с пользователем посредством голосового информирования.

Изобретение решает проблему глобальной навигации и взаимодействия с окружением, однако из-за отсутствия блока постановки задач устройство последовательно сообщает пользователю весь объем информации, которое имеет в данный момент об окружении. Рассмотрим подробнее присущие решению недостатки.

Недостатками данного устройства являются:

1) наличие только одного канала информирования, что существенно увеличивает когнитивную нагрузку на пользователя при большом объеме и/или разнохарактерности (и цели, и препятствия, и подсказки пользователю по части навигации) сообщаемой ему информации, что отвлекает незрячего человека от естественного восприятия им аудио-потока окружающего пространства;

2) невозможность информирования о ситуации в высоко динамической среде относительно запаса времени на принятие решения (например, пока пользователь получит аудио информацию о подошедшем автобусе, его положении и маршруте до него, автобус уйдет);

3) отсутствие возможности постановки локальных целей и задач, что приводит к отсутствию фильтрации сообщаемой информации.

В качестве решения недостатков данного аналога на основе сформированных задач из анализа интервью мною предложено дополнительно ввести инерциальную навигацию, пользовательский интерфейс для постановки цели и задач, тактильный канал и распределение информации на тактильный и аудиальный канал. Введение дополнительного канала информирования позволит распределить информацию, получаемую пользователем и снять нагрузку с аудио канала. Четкое задание локальных целей и задач позволит избежать «зашумления» аудиоканала информацией, которая в текущий момент

не важна для пользователя. Таким образом, совместное использование постановки задач и тактильного канала позволит дополнительно решить проблему локальной навигации. Инерциальная навигация обеспечит надежность системы в случае исчезновения сигнала от спутников. Данные предложения далее находят отражение при проектировании устройства и написании заявки на изобретение.

Таким образом, располагая знанием о текущем уровне техники, появляется возможность спроектировать устройство, которое позволило бы устранить текущие недостатки у существующих решений. И внести новый функционал, который поможет людям с нарушением зрения ориентироваться и передвигаться в среде более комфортно.

## **2.3 Проектирование структурной схемы устройства**

Таким образом, в ходе проектирования устройства необходимо обеспечить пользователя локальной навигацией и понизить когнитивную нагрузку на аудиоканал. На основе поставленных задач, была спроектирована структурная схема устройства. За основу была взята формула изобретения ближайшего аналога.

На основании знаний о принципах работы устройств, технологиях и существующих решениях проработаем каждую область проектируемого устройства и распишем процессы происходящие в них.

### **2.3.1 Пользовательский интерфейс**

Незрячий человек задает задачи и цели (в том числе локальные), которыми могут являться статические или динамические объекты окружающего его пространства (например, добраться до конечной точки, найти какой-либо объект, описать то, на что направлена камера и т.д.), с помощью пользовательского интерфейса. Информация с данного блока передается на блок обработки информации.

После получения тактильного сигнала и аудио сообщения, человек может корректировать уровень абстракции целей и изменять целевые задачи в пользовательском интерфейсе. Скорректированное целеуказание от пользователя помогает обеспечить более точный, сфокусированный на конкретных текущих нуждах человека, отклик устройства и упрощает его работу.

Реализовать пользовательский интерфейс можно в качестве приложения для смартфона. В связи с тем, что практически все имеют смартфон, стало возможным создавать приложения для слепых. Они осуществляют взаимодействие с пользователем через функционал телефона, например, через динамик и микрофон. Примером может служить приложение «Seeing Ai» [11].

### **2.3.2 Система технического зрения**

Устройство посредством системы технического зрения получает изображения окружения и карту глубины, с помощью обработки которой (Блоком распознавания объектов) в дальнейшем рассчитывается расстояние до объектов.

Система технического зрения может быть реализована с помощью цифровых камер и датчика глубины, встроенных в очки и позволяющих получать информацию об окружении. Данная технология реализована в устройствах Azure Kinect и Hololens 2 от Microsoft. В качестве цифровых камер могут выступать камеры, используемые в смартфонах. Они малогабаритные и не требовательные по питанию. Однако их низкая стоимость компенсируется затратами на программное обеспечение для них. В качестве датчика глубины предлагается использовать времяпролетный датчик глубины (Time-of-Flight, ToF). Данные датчики в настоящий момент обладают меньшим весом, габаритами и большей точностью по сравнению со своими аналогами [27]. Питание подобных датчиков не превышает 5 В, а рабочая дистанция до 4-х метров [28].

### **2.3.3 Распознавание сцены**

Изображения и данные карты глубины поступают в блок распознавания объектов, где основываясь на сформированной пользователем задаче, нейронные сети осуществляют сегментацию и распознавание объектов на изображении. Блок распознавания образов включает в себя специализированные блоки по распознаванию объектов, относящихся к определенной группе. Это обеспечит структуризацию программы и возможность вызова определенного блока под текущую задачу. Для решения задачи распознавания существуют сети, обученные на наборах данных, включающих наиболее распространённые объекты. Но для решения специализированных задач (например, поиска необходимого номера маршрута автобуса, которая решается далее в работе) появляется необходимость создания собственных дополнительных наборов данных. Для распознанного объекта вычисляется расстояние до него и азимутальное направление относительно пользователя. В результате получаем следующие данные: информацию о близко расположенных статических препятствиях (бордюры, столбы и т.п.) и динамических (пешеходы, машины и т.п.) для осуществления локальной навигации.

Технология обработки изображения и получения описания к нему может быть реализована по примеру работы приложения от Microsoft “Seeing AI” [11]. Программа для распознавания объектов окружающего пространства может быть реализована на базе нейронных сетей, например YOLOv4. Для обучения нейронных сетей с целью получения описания и информации об объектах на изображении существуют готовые наборы данных, которые включает в себя, как выделенные объекты на изображении, так и аннотации к изображениям, например COCO [29] или ImageNet [30].

### **2.3.4 Навигация**

Параллельно процессу распознавания происходит определение местоположения пользователя. GPS отвечает за глобальную навигацию,

основываясь на данных карт. Инерциальная навигация обеспечивает надежность системы и в случае исчезновения сигнала от спутников обеспечит расчет текущей координаты. В первую очередь система строит маршрут на глобальном уровне, по карте. После построения глобального маршрута и распознавания сцены происходит сопоставление данных, что обеспечивает создание трехмерной карты окружения со всеми препятствиями.

Глобальное позиционирование может реализовываться на базе GPS, Глонасс и других спутниковых систем. Причем увеличение количества спутников, с которых система получает данные, повышает точность системы. Оптимально использовать определение местоположения на базе телефона.

Инерциальная навигация может быть реализована с помощью сенсора MPU-9250 (GY-85) [31]. Он представляет собой гироскоп, акселерометр и магнетометр в одном конструктивном исполнении. Питание не превышает 5 В.

### **2.3.5 Устройство обработки данных**

Вся поступившая информация на блок обработки и хранения данных обрабатывается специальным программным обеспечением, которое решает следующие задачи:

- Построение маршрута, учитывающего окружающее пространство и целевые объекты;
- Формирование текущего вектора движения/указателя цели и указателей на окружающие локальные объекты;
- Формирование списка локальных объектов и их признаков.

Обработанные данные поступают на блок распределения информации на аудиальный и тактильный каналы.

### **2.3.6 Деление информации на два канала**

Решение о передаче той или иной информации, в соответствии с целями и задачами, основано на следующем принципе. Информацию, которую возможно представить координатой в пространстве (например, дверь магазина

или проезжающий автомобиль) передается на тактильный канал в виде положения объекта и расстояние до него. Более же сложную и медленно меняющуюся информацию (например, указания, поясняющие сообщения, текст, вывески на зданиях и т.д.) передается на аудиоканал. Так, например, быстроменяющуюся информацию об азимутальном положении объекта следует сообщить тактильно, а значимые качественные характеристики объекта озвучить.

Блок распределения информации на аудиальный и тактильный сигнал может быть реализован в виде программного обеспечения. Программа обеспечивает присвоение приоритета (веса) каждому обнаруженному объекту/локации в соответствии с заданным уровнем абстракции и поставленными задачами. Максимальный приоритет получают объекты/локации, являющиеся целевыми. Минимальный – объекты, с которыми пользователь, в силу построенного маршрута, не сможет взаимодействовать. Каждый объект может иметь свое место в иерархии отношений объектов друг другу. Примером может быть объект «автобус», который включает в себя подобъекты: «номер маршрута» и «дверь». При вызове команды незрячим человеком: «Сесть в автобус №N», первоочередной целью будет «автобус», а конечной «дверь». Это связано с последовательностью действий программы. В первую очередь она найдет все автобусы на остановке. Затем номера маршрутов каждого автобуса. И только после совпадения номера маршрута с заданным, программа выделит дверь нужного автобуса как конечную цель движения. Таким образом, дверь автобуса будет иметь наибольший приоритет, а в «автобусе» и «номере» уже не будет необходимости, их приоритеты станут нулевыми. Обнаруженным пешеходам на остановке будет присвоен статус «препятствие». Этим статусом следует обозначать все объекты, не являющиеся целевыми или объектами повышенного внимания (например, неожиданно появившийся автомобиль, представляющий опасность), с которыми пользователь может столкнуться. Таким образом, на тактильный канал поступят координаты целевого объекта и препятствий, а на

аудиальный канал ключевые слова по этим объектам. Учитывая, что разработчик решает четкий список задач, предоставляемых пользователю устройством, он может спроектировать основные сценарии поведения. Разработка блока деления информации требует отдельного исследования и разработки. В силу трудоемкости его реализации и ограниченных сроков на выполнение работы, блок имеет только теоретический принцип работы.

### **2.3.7 Тактильный канал**

Информация, попавшая на тактильный канал, кодируется в виде «образов» – сигналов, призванных обеспечить быструю идентификацию объектов. Это возможно при создании «тактильного языка» (с точки зрения лингвистики) – метода перевода изображения в вид, который можно представить тактильно. Наличие систематизированного языка должно решить проблему быстрой идентификации сигнала [32]. Создание «тактильного языка» – это отдельное исследование, охватывающее физиологические особенности людей и их когнитивные навыки, которое будет необходимо проводить при создании прототипа тактильной поверхности.

Обработанная информация (с тактильного канала и со сформированного маршрута движения) поступает на блок систематизации сигналов, который обеспечивает удобство отображения сигнала пользователю. Далее с помощью блока генерации сигнала систематизированный сигнал преобразовывается в тактильный сигнал и поступает на тактильную поверхность. Посредством электростимуляции пользователь ощущает тип объектов (с помощью различных образных форм тактильных сигналов), азимутальное направление расположения объектов перед собой (в соответствии с зоной тактильной стимуляции туловища) и расстояние до них (посредством размера, амплитуды или частоты тактильного воздействия в соответствии с максимальным удобством пользователя конкретной версии «тактильного языка»). Устройством вывода может быть любое устройство, обеспечивающее тактильное взаимодействие с человеком, например матрица вибродвигателей или

электродов. Место воздействия тактильной поверхности на кожу человека определяется по индивидуальным особенностям пользователя.

Реализовываться тактильная матрица может в виде матрицы электродов или другого варианта исполнения, который зависит от версии «тактильного языка» и зон стимуляции. Ближайшим аналогом является устройство BrainPort V100 Vision [17]. Напряжение последовательности импульсов тактильной матрицы составляет от 0 до 1,4 В, уровень тока от 0 до 0,5 мА на электрод.

### **2.3.8 Аудиоканал**

Параллельно переводу данных в тактильный сигнал, происходит выставление приоритета сообщения той или иной информации. Далее в аудиоканале происходит генерация текста сообщений на основе ключевых слов, поступивших с блока разделения информации. Сгенерированное сообщение преобразовывается в аудио сигнал посредством блока синтеза речи, который зачитывает сообщения, указания или качественные характеристики объектов.

Генерация сообщений и указаний пользователю может реализовываться на базе нейронной сети GPT-2 для генерации текста [33]. Чтение текста, надписей и т.д. может реализовываться с помощью программ синтеза речи.

### **2.3.9 Структурная схема устройства**

Результатом проработки всех основных составляющих устройства стала спроектированная структурная схема на рисунке 2.1. На ней видны взаимосвязи, описанные в разделах выше.

На основе спроектированного устройства была написана заявка на изобретение устройства и способа.

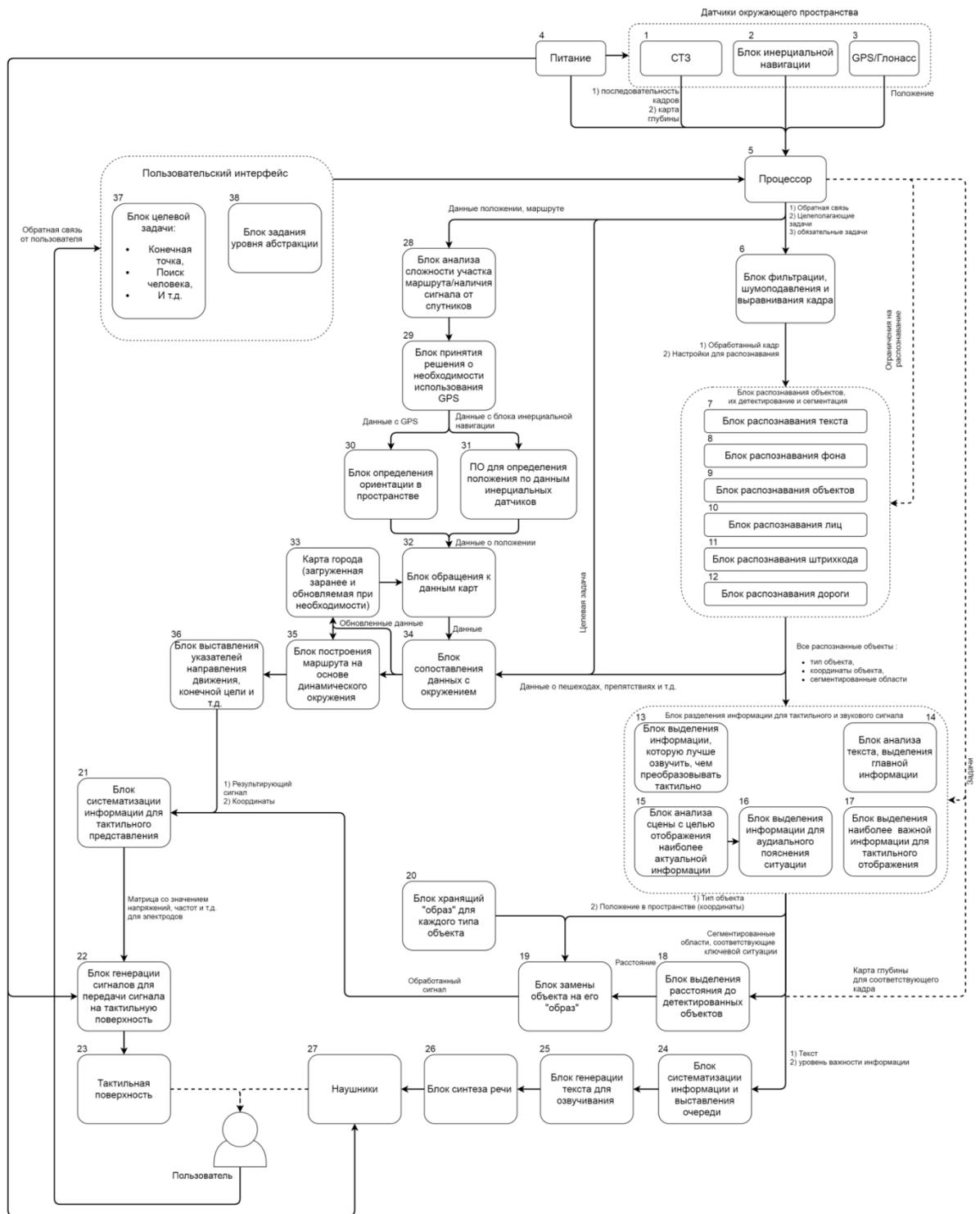


Рисунок 2.1 – Структурная схема устройства

## 2.4 Поиск номера маршрута

Одной из озвученных проблем незрячим человеком в интервью была задача поиска необходимого автобуса на остановке. Для получения качественных характеристик и доказательства реализуемости блока

распознавания сцены обучим детектор. В силу отсутствия готового размеченного набора данных для решения этой задачи было принято решение о его создании и разметке, трансферном обучении нейронной сети и проведении исследования. Трансферное обучение – это подраздел машинного обучения, целью которого является применение знаний, полученных из одной задачи, к решению другой целевой задачи. В нашем случае это использование весов для дообучения, полученных в результате обучения нейронной сети на наборе данных MS-COCO.

Для реализации задачи выберем нейронную сеть YOLOv4, обученную на наборе данных MS-COCO. Данный набор составлен из наиболее распространённых объектов (80 классов). Нейронная сеть доказала свою оптимальность для работы в режиме реально времени, YOLOv4 [34]. Она имеет 75 свёрточных слоев и 31 слой субдискретизации, всего 106 слоев. Данная сеть создана для решения прикладных задач, что позволяет быстро дообучить ее и получить веса для решения своих задач. Также она готова для работы в Google Colab, что удобно при отсутствии рекомендуемых к работе видеокарт [35]. Google Colab – это бесплатный облачный сервис. Использование его для решения наших задач позволит увеличить скорость обучения и свести вычислительную нагрузку к минимуму.

#### **2.4.1 Создание набора данных**

В связи с отсутствием готового размеченного набора данных для поиска номеров маршрутов необходимо собрать его вручную. Так как задача реализуется в рамках учебы в городе Томск, то было принято решение собрать основную часть изображений на томских маршрутках.

В результате работы, мною было сделано порядка 1000 фотографий, которые включали в себя в том или ином виде автобусы с номерами маршрутов.

Так как процесс сбора изображений вручную занимает большое количество времени, было принято решение дополнительно найти изображения

в интернете. Была найден сайт, в котором хранятся изображения различных автобусов города Новосибирск, откуда было скачано порядка 1000 изображений.

После чистки неразмеченный набор данных включал в себя 2110 изображений.

### 2.4.2 Аннотация данных

Чтобы сеть могла обучиться для распознавания заданных объектов, для нее необходимо сделать аннотацию, то есть разметить данные. Для этого необходимо выделить рамкой интересующий нас объект и указать его принадлежность к определенному классу. Размечались следующие объекты (5 классов):

- автобусы,
- номера маршрутов,
- открытые двери,
- закрытые двери,
- тактильные таблички для слепых.

Выбор этих объектов обуславливается тем, что они могут быть точками интереса незрячего человека. Разметка данных проводилась с помощью программы labelImg-master [36], имеющей открытый исходный код.

Результатом работы аннотирования данных стало 2110 размеченных вручную изображений с 9091 аннотацией.

Распределение аннотаций по классам имеет следующий вид:



Рисунок 2.2 – Распределение классов в наборе данных

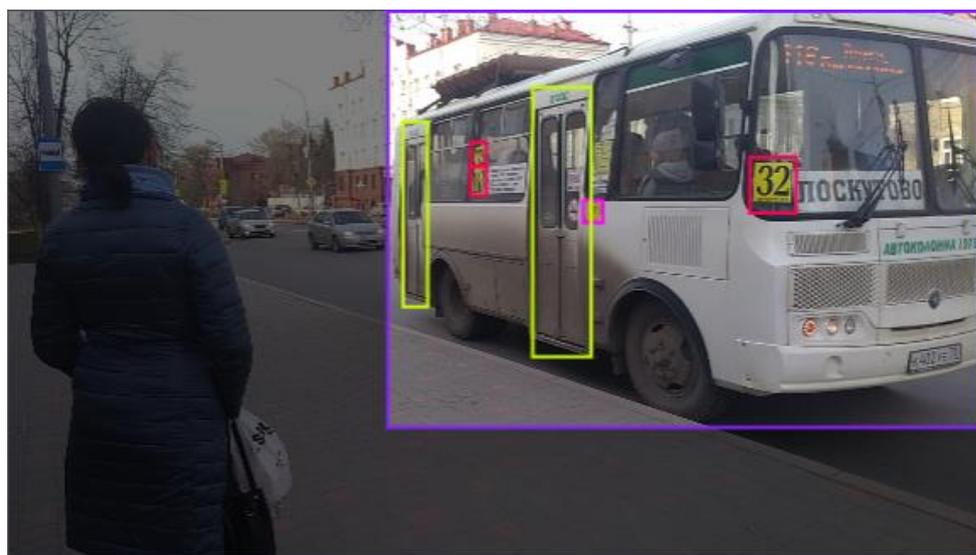


Рисунок 2.3 – Пример аннотированного изображения

Фотографии были сняты в дневное время суток на автобусных остановках на различном расстоянии и при различных ракурсах. Набор данных имеет неравномерное количество открытых и закрытых дверей автобусов, что объясняется коротким промежутком времени, когда двери бывают открыты. Также небольшое количество тактильных табличек на автобусах (малая доля маршруток имели подобные таблички для слепых) привело к недостаточному количеству элементов в этом классе.

### 2.4.3 Обучение собственного детектора

После аннотации выборка была поделена на 3 части: тренировочную, проверочную и тестовую (контрольные). Разделение было в соотношении 70:15:15 соответственно [37]. Тренировочная выборка составила 1464 изображений. Проверочная составила 316 изображений.

Модель обучается на тренировочных данных и оценивается на проверочных. После обучения модель тестируется на контрольных данных, обязательным условием которых является то, что они не участвовали в обучении модели.

Для работы с выбранной нейронной сетью в Google Colab есть руководство для использования. Следуя его рекомендациям, были выставлены следующие параметры обучения:

- $batch=32$ . Размер батча отвечает за то, сколько объектов (изображений) за раз будет передаваться сети для обучения. Для баланса скорости и качества обучения данной сети рекомендуется выставлять данное значение [35];
- $width$  и  $height$  в соответствии с разрешением изображений наборе данных (любое число кратное 32);
- В первом и предпоследнем свёрточном слое  $filters=30$ . Рассчитывается в соответствии с количеством классов по формуле  $(\text{количество классов} + 5) \cdot 3$ ;
- $classes=5$  выставляется в трех YOLO слоях в соответствии с количеством классов.

Было обучено три варианта детектора на данных, имеющих разное разрешение изображений: 512x512, 416x416 и 256x256. Детекторы обучались на предобученной сети, что обеспечивает меньшее время обучения и высокую точность распознавания. Пример распознавания изображения детектором №1 приведен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Пример работы детектора №1

Приведем результаты по времени обучения и значению mAP (mean Average Precision). mAP – это среднее значение метрики, которая измеряет

точность детектора объектов. Полное время обучения для каждой сети составило порядка 8 часов.

Таблица 2.1 – Результат обучения

<b>Набор данных</b>	<b>Время обучения до максимального значения mAP</b>	<b>Максимальное mAP, %</b>
№1 (512x512)	7 ч.	90,36
№2 (416x416)	4 ч.	92,26
№3 (256x256)	3 ч.	89,25

Из таблицы 2.1 сложно сделать вывод, что с уменьшением разрешения изображений, теряется часть информации, так как колебания точности могут носить случайный характер. В теории падение точности связано потерей информации о мелких объектах, в нашем случае таких как: тактильные таблички и объекты, находящиеся далеко (номера маршрутов и двери). В связи с этим необходимо на наборе тестовых данных проверить это предположение. Стоит обратить внимание на то, что второй набор данных обеспечил больший процент значения средней точности. Однако, нельзя утверждать, что при повторении обучений данная ситуация повторится, так как значение целевой метрики носит случайный характер. При этом разница во времени обучения между первым и вторым набором при разнице точностей на 2 % выгодно выделяет результат обучение на втором наборе данных.

Проведем исследование по распознаванию объектов на наборе тестовых данных для трех детекторов. Тестовая выборка для этого исследования составила 30 изображений. Посчитаем количество ложных распознаваний, когда детектор выделяет объекты, которые не относятся к искомым классам или выделяются повторно. Верными границами рамки будем называть случай, когда размер выделенного объекта в пикселях соответствует размеру рамки  $\pm(10 - 15)\%$ . По результатам работы составим таблицу.

Таблица 2.2 – Результаты распознавания на тестовом наборе данных

Детектор	Процент ложных распознаваний, %						Процент неправильно сформированных границ, %					
	Номера	Автобусы	Закрытые двери	Откр. двери	Тактильные таблички	Общий	Номера	Автобусы	Закрытые двери	Откр. двери	Тактильные таблички	Общий
№1 (512x512)	5,4	0	0	0	0	2,2	2,7	8,6	0	0	0	3,3
№2 (416x416)	2,8	4	4,7	0	14,3	4,2	0	12	0	0	0	3,2
№3 (256x256)	10,7	19,3	0	12,5	0	10,8	0	38,7	0	50	0	17,2

Таблица 2.3 – Среднее время распознавания одного изображения детектором

Детектор	Время распознавания изображения, мс
№1 (512x512)	32,70
№2 (416x416)	33,67
№3 (256x256)	32,68

Из таблицы 2.2 можно сделать вывод, что с уменьшением разрешения изображений в обучающем наборе данных увеличивается процент ошибок. Если для первого и второго детектора разница незначительна, то при дальнейшем уменьшении разрешения происходит значительная потеря данных. Для незрячих людей, ложное срабатывание детектора, может привести к опасным ситуациям. Так как детекторы обучаются заранее, то время, затраченное на их обучение, неважно для работы самого устройства. Из таблицы 2.3 видно, что время на обработку одной фотографии колеблется в пределах 0,3 мс. Следовательно, нет преимуществ от использования детекторов, обученных на наборе данных с меньшим разрешением. Поэтому дальнейшее исследование будем осуществлять первым детектором.

Необходимо провести исследование для выбора разрешения входных изображений в детектор. Это нужно для оптимизации процесса распознавания, так как в силу большого разрешения (1920x1080) детектор может работать

медленнее. Исследование качества распознавания изображений при уменьшении исходного разрешения до 50 и 25% показано в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значение ложного распознавания для разного входного разрешения изображения

Размер входного изображения	Процент ложных распознаваний, %
100%	11,9
50%	4,8
25%	2,9

Из таблицы можно сделать вывод, что с уменьшением входного разрешения уменьшается количество ложно распознанных объектов, что в целом повышает качество результата. Однако при 25% качество изображения настолько мало, что из выделенного номера нет возможности распознать текст с помощью оптического распознавания символов, например движка для распознавания текста Tesseract. Пример результата с низким качеством представлен на рисунке 2.5.

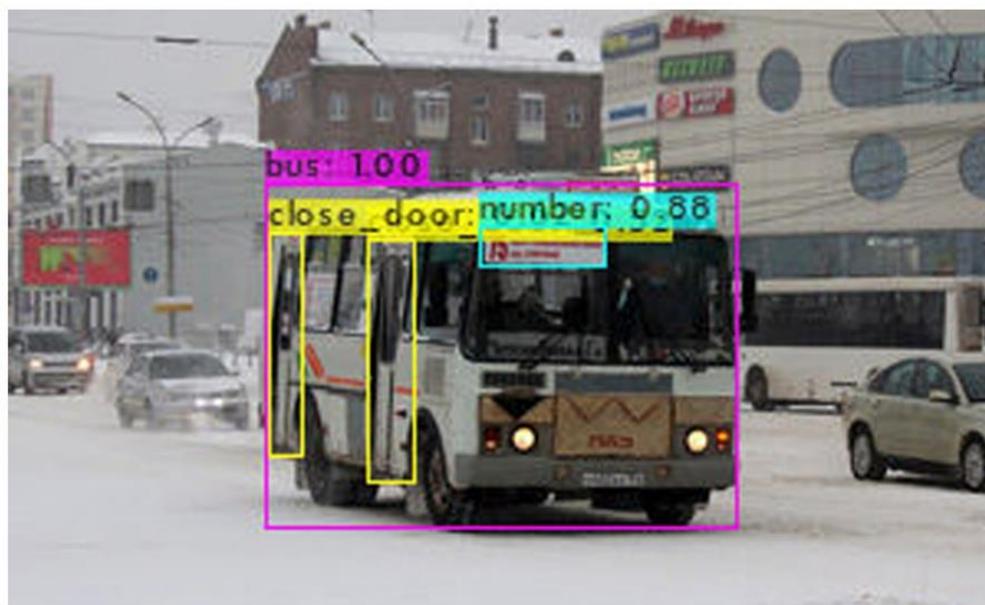


Рисунок 2.5 – Результат распознавания изображения с разрешением 25% от исходного

Также стоит отметить, что ожидаемого уменьшения времени обработки изображения не произошло. Среднее значение времени составило 32,8 мс с отклонением  $\pm 0,05$  мс.

В ходе этого исследования были получены результаты о максимальном и минимальном количестве пикселей, при которых происходит успешное распознавание. Так для номеров маршрутов максимальное значение равно 157000 пикселей, а минимальное 88.



Рисунок 2.7 – Пример минимального распознанного номера маршрута

Таким образом, при работе с детектором, стоит использовать 50% разрешение изображения. Это позволит снизить количество ложных распознаваний и обеспечить качество изображения достаточным для последующей обработки. Среднее количество пикселей на номер в 50%-ом изображении составляет 7540.

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

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ.

- Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:
- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель раздела – оценка денежных затрат на исследование, а также привести приближенную экономическую оценку результатов внедрения системы распознавания номеров маршрута автобусов для людей с нарушением зрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

#### **3.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Разработанная система распознавания номеров маршрута автобусов обеспечивает людям с нарушением зрения более комфортное передвижение и дает знание об окружающем пространстве.

Разработанная программа может быть использоваться в различных устройствах, имеющих камеры и блок обработки данных, что делает ее универсальной для широкого круга устройств и увеличения доступности окружающей среды для незрячих людей.

#### **3.2 SWOT-анализ**

Результат анализа рынка и конкурентных решений представлен в виде матрицы SWOT анализа в таблице 3.1. Матрица показывает сильные и слабые стороны проекта, потенциальные возможности и угрозы для разработки.

Таблица 3.1 – SWOT анализ

		Внутренние факторы	
		Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
		<p>С1. Широкие возможности по расширению использования системы,</p> <p>С2. Универсальность системы,</p> <p>С3. Возможность обучить систему под новые задачи.</p>	<p>Сл1. Необходимость проведения большого числа экспериментов,</p> <p>Сл2. Требовательность к вычислительным ресурсам.</p>
Внешние факторы	<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Потребность людей с нарушением зрения в свободном перемещении,</p> <p>В2. Развитие технологий в данной отрасли.</p>	<p>В1В2С1С2С3 - Пересечение полей сильных сторон и возможностей позволяют заключить, что будет необходимо обеспечить поддержку системы после введения в эксплуатацию и систематическое улучшение программной и аппаратной части конечного устройства.</p>	<p>В1Сл1Сл2 -</p> <p>Дополнительный спрос на систему может повлечь за собой необходимость дополнительных экспериментов для адаптации системы и увеличение вычислительных ресурсов.</p>
	<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Высокая цена системы,</p> <p>У2. Наличие конкуренции,</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>У1С2 – Обеспечение системы гибкостью для обеспечения соответствующего качества системы,</p> <p>У2С1 - Привлечь новых пользователей через посещение центров реабилитации, центров поддержки людей с нарушением зрения.</p>	<p>У1Сл1Сл2 – Получения гранта или поддержки от государства на развитие системы в рамках «Доступной среды»,</p> <p>У2Сл2 – Использование облачной системы для снятия нагрузки на аппаратную часть и удешевления системы,</p> <p>У3Сл1 – Лицензирование готовой системы как медицинского оборудования для получения содействия в рамках фонда социального страхования.</p>

Вывод: Для успешного продвижения конечного устройства на рынок необходимо заручиться поддержкой государства или получить грант на реализацию устройства. Это обеспечит материальную базу для проведения экспериментов и выход на прямого потребителя. При поддержке фондом социального страхования государство в рамках обеспечения инвалидов техническими средствами реабилитации компенсируется часть стоимости людям с нарушением зрения, что повысит доступность разрабатываемого устройства на рынке.

### **3.3 Структура работ в рамках научного исследования**

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. Так как число исполнителей не превышает двух, линейный график работ является наиболее удобным и компактным способом представления данных планирования. Список исполнителей включает в себя научного руководителя работ (НР) и непосредственного исполнителя (И). График выполнения работ с указанием перечня задач приведен в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель
	5	Проведение патентных исследований	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Разработка и реализация алгоритма подготовки данных	Инженер
	7	Анализ полученных данных	Инженер
	8	Эксперименты с различными архитектурами и типами нейронных сетей	Инженер
	9	Выбор базовой архитектуры нейронной сети	Инженер
	10	Тонкая настройка параметров нейронной сети	Инженер
	11	Анализ результатов работы сети	Инженер
	12	Анализ полученных результатов	Научный руководитель
	13	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Научный руководитель, инженер
14	Вопросы безопасности проекта	Инженер	

### Продолжение таблицы 3.2

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Обобщение и оценка результатов	15	Подведение итогов, оформление работы	Инженер
Проведение ОКР			
Оформление отчета по НИР	16	Составление пояснительной записки	Инженер

### 3.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5} \quad (3.1)$$

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

$t_{min\ i}$  – минимальная продолжительность работы, дн;

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (3.2)$$

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

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

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

### 3.5 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.3)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22, \quad (3.4)$$

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

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

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

Для инженера  $k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$ .

Для научного руководителя  $\frac{365}{365-66} = 1,22$ .

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все значения, полученные при расчетах по вышеприведенным формулам, были сведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Временные показатели проведенного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_p$		Длительность работ в календарных днях $T_k$	
	$t_{\min}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел-дни					
	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И
Составление и утверждение технического задания	2	-	3	-	2,4	-	2	-	2	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	5	-	5	-	5,4	-	5	-	6
Выбор направления исследований	3	3	5	5	3,8	3,8	2	2	2	2
Календарное планирование работ	2	-	3	-	2,4	-	1	-	1	-
Проведение патентных исследований	-	10	-	12	-	10,8	-	11	-	13
Разработка и реализация алгоритма подготовки данных	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	7
Анализ полученных данных	-	2	-	3	-	2,4	-	1	-	1
Эксперименты с различными архитектурами и типами нейронных сетей	-	30	-	45	-	36	-	36	-	44
Выбор базовой архитектуры нейронной сети	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	7

Продолжение таблицы 3.3

Тонкая настройка параметров нейронной сети	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	7
Анализ результатов работы сети	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	7
Анализ полученных результатов	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	7
Согласование выполненной работы с научным руководителем	3	3	4	4	3,4	3,4	2	2	2	2
Вопросы безопасности проекта	-	2	-	3	-	2,4	-	2	-	2
Подведение итогов, оформление работы	-	3	-	4	-	3,4	-	2	-	2
Составление пояснительной записки	-	3	-	4	-	3,4	-	2	-	2

На основе таблицы 3.3 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта и представлен на рисунке 3.1 с разбивкой по месяцам и неделям за период времени дипломирования.



Рисунок 3.1 – Календарный план-график проекта

### 3.6 Расчет материальных затрат НТИ

#### 3.6.1 Материальные затраты

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования.

Таблица 3.4 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Карандаш	1	20	20
Пачка бумаги	1	250	250
Итого			270

Таким образом, общая сумма материальных затрат составляет 270 рублей.

#### 3.6.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 3.5.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (3.5)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, студента) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (3.6)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 3.5);

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.7)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

при отпуске в 56 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 3.5 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	118
Потери рабочего времени на отпуск	56	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{окл} \cdot k_p, \quad (3.8)$$

где  $Z_{окл}$  – оклад, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Научный руководитель имеет должность профессора и степень доктора технических наук оклад составлял 47104 руб., затем был проиндексирован на 4,3% и составил 49129,5 руб.

Оклад инженера составил 21760 руб., затем осенью был проиндексирован на 4,3% и составил 22695,68 руб.

Таблица 3.6 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_T$	$Z_{окл}$ , руб.	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	–	–	49129,5	1,3	63868,4	2733,46	14	38268,44
Инженер	–	–	22695,68		29504,5	1481,84	103	152629,52
Итого $Z_{осн}$								190897,96

### 3.6.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (3.9)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{доп}$	$Z_{осн}$	$Z_{доп}$
Научный руководитель	0,12	38268,44	4592,21
Инженер		152629,52	18315,54
Итого			22907,75

### 3.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и

медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (3.10)$$

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

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 3.8 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	38268,44	152629,52
Дополнительная заработная плата, руб.	4592,21	18315,54
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	11615,23	46326,11
Итого	57941,34	

### 3.6.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (3.11)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (190897,96 + 22907,75) = 34208,91 \text{ рубля}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ по форме, приведенной в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Расчет бюджета затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИ	270
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	190897,96
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22907,75
4. Отчисления во внебюджетные фонды	57941,34
5. Накладные расходы	34208,91
6. Бюджет затрат НИ	306225,96

### 3.7 Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

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

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

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

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

В качестве аналогов выбран навигатор «Ornavi» (в таблице обозначен как Исп. 2), и «SeeingAI» (в таблице обозначен как Исп. 3).

Таблица 3.10 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Возможность обучить систему под любую среду	0,1	3	3	4
2. Точность	0,3	2	3	5
3. Вычислительные мощности	0,3	1	4	5
4. Цена	0,3	2	3	5
ИТОГО	1	1,8	3,3	4,9

$$I_{p-исп1} = 3 * 0,1 + 2 * 0,3 + 1 * 0,3 + 2 * 0,3 = 1,8$$

$$I_{p-исп2} = 3 * 0,1 + 3 * 0,3 + 4 * 0,3 + 3 * 0,3 = 3,3$$

$$I_{p-исп3} = 4 * 0,1 + 5 * 0,3 + 5 * 0,3 + 5 * 0,3 = 4,9$$

Из значений интегрального показателя ресурсоэффективности системы и ее существующих аналогов можно сделать вывод о необходимости значительной доработки системы и повышения показателей эффективности работы.

### 3.8 Заключение по разделу

В ходе осуществления оценки конкурентоспособности разработки было установлено, что на данном этапе разработанная система обладает низким уровнем конкурентоспособности; общая длительность разработки составляет 103 календарных дней (период с 20.01.2021 по 11.05.2021); общий бюджет был оценен в 306225,96 рублей.

Разработанная система может использоваться в программах и навигаторах, предназначенных для людей с нарушением зрения.

## **4 Социальная ответственность**

### **4.1 Введение**

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка и исследование системы «видения» для людей с нарушением зрения. Потенциальными потребителями являются люди с нарушением зрения. Рабочим местом является жилое помещение.

В данном разделе ВКР исследованы меры по защите работника от возможного негативного воздействия среды, а также вредные и опасные факторы среды, а также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и необходимые действия, которые разработчик должен выполнить в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Разработанная система может использоваться для обеспечения людей с нарушением зрения дополнительными средствами восприятия окружающего пространства.

Были выделены и рассмотрены следующие факторы, воздействующие на разработчика программы:

1. Недостаточная освещенность рабочей зоны
2. Отклонение параметров микроклимата
3. Превышения уровня шума
4. Нервно-психические перегрузки.

К опасным факторам при работе с персональным компьютером относятся возможность короткого замыкания, влекущего за собой опасность поражения разработчика электрическим током и статическое электричество. Рассмотрены вопросы правового регулирования трудовых отношений, связанных с использованием разработанной системы.

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

Работа в офисе относится ко второй категории тяжести труда – работы выполняются при оптимальных условиях внешней производственной среды и

при оптимальной величине физической, умственной и нервно-эмоциональной нагрузки. Продолжительность рабочего дня работников не должна превышать 40 часов в неделю. Возможно, сокращение рабочего времени. Для работников, возраст которых меньше 16 лет – не более 24 часа в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы [38].

Быстрое и точное считывание информации обеспечивается при расположении плоскости экрана ниже уровня глаз пользователя, предпочтительно перпендикулярно к нормальной линии взгляда в 15 градусов вниз от горизонтали. Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю [39].

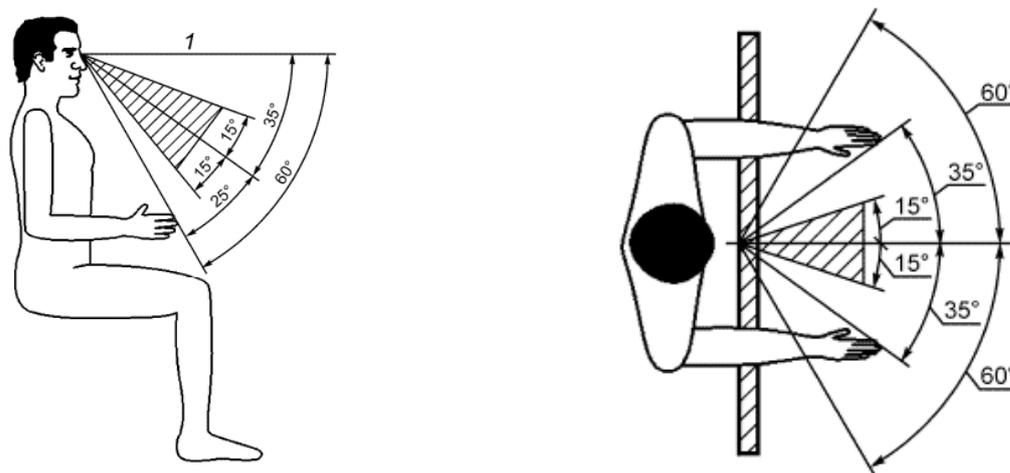


Рисунок 4.1 – Зоны зрительного наблюдения в горизонтальной плоскости и в вертикальной плоскости [40].

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда». Рабочее место, при выполнении работ сидя» рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы [39].

Выполнение требований на данном рабочем месте отражено ниже таблице 4.1, согласно СанПиН 1.2.3685-21 и ГОСТ 12.2.032-78.

Таблица 4.1 – Требования к организации рабочего места при работе с ПЭВМ

Требование	Требуемое значение	Значение параметра помещения
Высота рабочей поверхности стола	Регулируемая высота (680-800мм) Нерегулируемая высота (725мм)	Нерегулируемая высота (740 мм)
Рабочий стул	Подъемно-поворотный, регулируемый по высоте и углу наклона спинки	Подъемно-поворотный, регулируемый по высоте
Расположение монитора от глаз пользователя	600-700 мм	Соответствует

### 4.3 Производственная безопасность

При выполнении работ на персональном компьютере (ПЭВМ) согласно «ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» могут иметь место следующие факторы, представленные в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Разработка	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
3. Психофизиологические факторы	+	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
4. Зрительное напряжение	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронновычислительным машинам и организации работы»
5. Превышение уровня шума	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
6. Поражение электрическим током	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.
7. Статическое электричество	+	Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
8. Короткое замыкание	+	

1) Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат определяется действующими на организм человека и показателями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Длительное воздействие на человека неблагоприятных показателей микроклимата ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда

и приводит к заболеваниям, поэтому в организации должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата, установленные СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [41]. Они представлены в таблице 4.3:

Таблица 4.3 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

<b>Оптимальные значения характеристик микроклимата</b>				
Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22 – 24	21 – 25	40 – 60	0,1
Теплый	23 – 25	22 – 26	40 – 60	0,1
<b>Допустимые значения характеристик микроклимата</b>				
Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	20 – 25	19 – 26	15 – 75	0,1
Теплый	21 – 28	20 – 29	15 – 75	0,1 – 0,2

## 2) Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны помещения, оборудованной ПК, также является одной из причин нарушения зрительной функции, а также влияет на общее самочувствие и эффективность труда.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПК должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток. Нормируемые показатели

естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СП 52.13330.2016 указаны в таблице 4.4 [42].

Таблица 4.4 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г-горизонтальная, В-вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		КЕО $e_n$ , %		КЕО $e_n$ , %	
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	Г – 0,8	3,0	1,0	1,8	0,6
Помещения	Искусственное освещение				
	Освещенность, лк				
	При комбинированном освещении		При общем освещении	Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более
Всего	От общего				
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	400	200	300	40	15

Расчет освещения:

Длина помещения:  $a = 5$  м, ширина:  $b = 3$  м, высота:  $H = 2,4$  м. Высота рабочей поверхности  $h_{\text{рп}} = 0,74$  м. Требуется создать освещенность  $E = 300$  лк.

Коэффициент отражения стен  $R_c = 30\%$ , потолка  $R_n = 50\%$ . Коэффициент запаса  $k = 1,5$ , коэффициент неравномерности  $Z = 1,1$ . Рассчитываем систему общего освещения лампой накаливания.

Выбираем светильник типа У,  $\lambda = 1,8$ .

Приняв  $h_c = 0,5$  м, определяем расчетную высоту.

$$h = H - h_c - h_{\text{рп}} = 2,4 - 0,5 - 0,74 = 1,16 \text{ м.}$$

Находим индекс освещения:

$$i = \frac{S}{(a + b)h} = \frac{15}{8 * 1,16} = 1,6.$$

Определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,49.$$

Определяем потребный световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 15 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,49} = 7576,5 \text{ лм.}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу: ЛТБ 125 Вт с потоком 8150 лм. Делаем проверку выполнения условий:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{ст}}} \cdot 100\% \leq +20\%.$$

Получаем:  $-10\% \leq 0,7\% \leq +20\%$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 2 * 125 \text{ Вт} = 250 \text{ Вт.}$$

### 3) Зрительное напряжение

Работа на ПК сопровождается постоянным и значительным напряжением функций зрительного анализатора. Одной из основных особенностей является иной принцип чтения информации, чем при обычном чтении. Чтобы снизить зрительное напряжение нужно соблюдать визуальные параметры экрана (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации [41]

Параметры	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/кв.м
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
Контрастность (для монохромного режима)	3:1
Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение положения фрагментов изображения экрана)	Не более $2 \cdot 10L - 4L$ , где L – расстояние наблюдения

#### 4) Психофизические факторы

Нервно-психические перегрузки – совокупность таких сдвигов в психофизиологическом состоянии организма человека, которые развиваются после совершения работы и приводят к временному снижению эффективности труда. Состояние утомления (усталость) характеризуется определенными объективными показателями и субъективными ощущениями.

Нервно-психические перегрузки подразделяются на следующие:

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

При первых симптомах психического перенапряжения необходимо:

- дать нервной системе расслабиться;
- рационально чередовать периоды отдыха и работы;
- начать заниматься спортом;
- ложиться спать в одно и то же время;
- в тяжелых случаях обратиться к врачу.

Естественно, что полностью исключить провоцирующие факторы из жизни вряд ли удастся, но можно уменьшить их негативное воздействие, давая нервной системе необходимый отдых.

5) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

При разработке широко используется электричество для питания компьютерной техники, которая может являться источником опасности. Несоблюдение правил ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» может привести к опасным последствиям [43]. Поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на которых остался заряд или появилось напряжение.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Действие электрического тока на человека приводит к травмам или гибели людей. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц, соответственно – 2 В и 0,4 мА, для постоянного тока – 8 В и 1 мА.

Мерами защиты от воздействия электрического тока являются оградительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления, устройства автоматического отключения, предохранительные устройства.

б) Превышение уровня шума

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [44] установлены допустимые значения уровней звукового давления, создаваемого ПЭВМ (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

#### 7) Статическое электричество

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, токи статического электричества чаще всего возникают при прикосновении персонала к любому из элементов ПЭВМ. Такие разряды опасности для человека не представляют, однако кроме неприятных ощущений могут привести к выходу оборудования из строя.

Для предотвращения образования и защиты от статического электричества в помещении используются нейтрализаторы и увлажнители, а полы имеют антистатическое покрытие в виде поливинилхлоридного антистатического линолеума.

В ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» установлен максимальный допустимый электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500 В.

В качестве мер уменьшения влияния вредных факторов на пользователя используются защитные фильтры для мониторов, увлажнители воздуха. Должны использоваться розетки с заземлением. Требуется проводить регулярную влажную уборку.

#### 4.4 Экологическая безопасность

На данном рабочем месте выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на литосферу в результате образования отходов при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники.

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника, относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [45].

В ходе деятельности организация также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

#### **4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К возможным чрезвычайным ситуациям на данном рабочем месте выделяют внезапное обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар, угроза пандемии.

С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием вычислительной техники и угрожающий жизни и здоровью работников.

Причинами возгорания при работе с компьютером могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность устройства компьютера или электросетей;
- небрежность оператора при работе с компьютером;
- воспламенение ПК из-за перегрузки.

В связи с этим, согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности [46]:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается одновременно подключать к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку;
- работы за компьютером проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;
- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);
- установить количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов;
- обеспечить возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям.

Прокладка всех видов кабелей в металлических газонаполненных трубах – отличный вариант для предотвращения возгорания. При появлении пожара, любой, увидевший пожар должен: незамедлительно заявить о данном в пожарную службу по телефонному номеру 01 или 112, заявить о происшествии и соблюдать покой.

В случае возникновения пожара в здании необходимо немедленно эвакуироваться из здания и направиться на выход в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС.

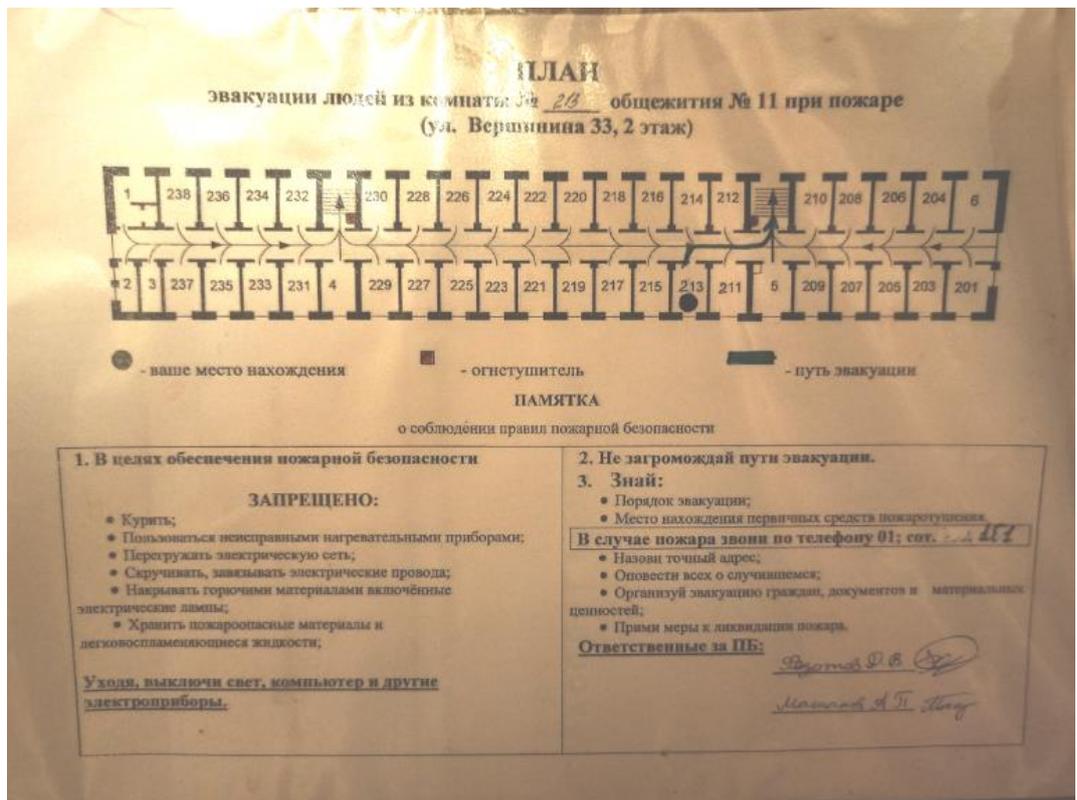


Рисунок 4.2 – План эвакуации при пожарах и других ЧС

#### 4.6 Заключение по разделу

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться человек, работающий за персональным компьютером. Также был проведен анализ нормативной документации.

Установлено, что рабочее место удовлетворяет требованиям безопасности. Выполняемая работа не сопряжена с высоким риском травматизма. Освещение на рабочем месте соответствует нормам – используются энергосберегающие лампы. Уровни шума находятся в допустимых пределах – источником шума при эксплуатации ПК является система охлаждения. Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования. В виду того, что корпус ПК является токонепроводящим, необходимость в мерах против статического электричества отсутствует. Во время работы осуществляются перерывы для снижения нагрузки и предотвращения нервно-психических

перегрузок. Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности. Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатами магистерской диссертации является спроектированная структурная схема устройства, на основе изученных статей, патентов и решений по темам электротактильной стимуляции и навигации людей с нарушением зрения. В качестве основы для поставленной цели и задач стало интервью с незрячим человеком, который описал основные трудности людей с нарушением зрения. Спроектированное устройство позволит снизить когнитивную нагрузку на аудиоканал пользователя и обеспечить его структурированной информацией об окружении. Результаты анализа технологий для данного устройства позволяют утверждать реализуемость предложенного устройства. По результатам работы была написана заявка на изобретение устройства и способа.

Результатами исследования задачи поиска локальных объектов стал обученный детектор на основе нейронной сети YOLOv4. В связи с актуальностью проблемы поиска необходимого автобуса, озвученной незрячим человеком, в данной работе была выбрана задача поиска номеров маршрутов автобусов. В процессе работы был собран и размечен набор данных из 2110 изображений с 9091 аннотацией. В качестве классов были выбраны следующие объекты: автобус, номер маршрута, закрытая дверь, открытая дверь и тактильная табличка. Результаты показали, что детектор способен безошибочно распознавать объекты на средней дистанции (около 10 метров). Для решения проблемы с ложным детектированием необходимо в последующем провести расширение набора данных по полученным результатам для увеличения разнообразия изображений имеющих шумовые эффекты и искажения. Результаты на данном этапе показали реализуемость задачи поиска локальных объектов. Ее можно осуществлять с использованием готовых сетей при наличии собранного и размеченного набора данных.

## **Список публикаций студента**

Публикации по тематике магистерской диссертации:

1. Паксеев И.Н., Андраханов А.А., Тырышкин А.В. Система тактильного видения для незрячих людей. Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 22–26 марта 2021 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Russian Federation [Электронный ресурс]: Vision Atlas URL: <https://www.iapb.org/learn/vision-atlas/magnitude-and-projections/countries/russian-federation/> (дата обращения: 25.05.2021). – Режим доступа: свободный.
2. ЧТО ТАКОЕ GPS (ДЖИПИЭС)? [Электронный ресурс]: МСС Глонасс URL: <https://mssglonass.ru/articles/что-такое-gps-dzhipies/> (дата обращения: 11.03.2021). – Режим доступа: свободный.
3. ПОГРЕШНОСТИ В КАДАСТРОВОЙ КАРТЕ И В МЕЖЕВАНИИ [Электронный ресурс]: Vision Atlas URL: <https://gaig.ru/clauses/pogreshnosti-v-kadaastrovoy-karte-i-v-mezhevanii/> (дата обращения: 30.05.2021). – Режим доступа: свободный.
4. Какова точность позиционирования с помощью GPS? [Электронный ресурс]: SONY URL: <https://www.sony.ru/electronics/support/articles/S700021977> (дата обращения: 21.03.2021). – Режим доступа: свободный.
5. Wi-Fi positioning system [Электронный ресурс]: Wikipedia URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi\\_positioning\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_positioning_system) (дата обращения: 11.03.2021). – Режим доступа: свободный.
6. Wang Feng, Zhi Kaixuan. Indoor and outdoor seamless navigation and positioning system // Патент на изобретение: WO2020048091 (A1), опублик. 12.03.2020.
7. Daisuke Sato, Uran Oh. NavCog3: An Evaluation of a Smartphone-Based Blind Indoor Navigation Assistant with Semantic Features in a Large-Scale Environment, Proceedings of 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '17), November 2017, ACM Pages 270 - 279.
8. Jesperi Rantanen, Maija Mäkelä. Motion Context Adaptive Fusion of Inertial and Visual Pedestrian Navigation, 2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 15 November 2018. – DOI: 10.1109/IPIN.2018.8533872.

9. Патент № 2681346 С2 Российская Федерация, МПК G06K 9/00 (2006.01), G06F 3/16 (2006.01). Способ и система точной локализации слабовидящего или слепого человека : № 2016120110 : заявл. 10.03.2017 : опубл. 06.03.2019 Бюл. № 7 / Китаев В.А.
10. Патент № 2678361 С1 Российская Федерация, МПК А61Н 3/06 (2006.01), А61F 9/08 (2006.01), G01C 21/20 (2006.01). Аудиопомощь в навигации : № 2016129945 : заявл. 22.01.2015 : опубл. 28.01.2019 Бюл. № 4 / ДЖЕРАЛЬД Роберт.
11. Патент № EP3436909 (A1), Augmented imaging assistance for visual impairment : опубл. 06.02.2019 / Koul Anirudh, LI АО.
12. Be My Eyes [Электронный ресурс]: Be My Eyes URL: <https://www.bemyeyes.com/language/russian> (дата обращения: 20.05.2021). – Режим доступа: свободный.
13. M. Srikulwong, E. O'Neill, Wearable tactile display of directions for pedestrian navigation: Comparative lab and field evaluations, World Haptics Conference (WHC) 2013, pp. 503-508, 2013. – DOI: 10.1109/WHC.2013.6548459.
14. AAG Dharma, E Ariwa, K. Tomimatsu, Green technology and wearable haptic feedback display with 5 times 12 arrays of vibrotactile actuators, Proceedings 2013 IEEE 3rd International Conference on Consumer Electronics - Berlin, pp. 272-274, 2013, Sept 9–11. – DOI: 10.1109/ICCE-Berlin.2013.6698027.
15. Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami. Electro-Tactile Display with Tactile Primary Color Approach, Graduate School of Information and Technology, The University of Tokyo, 2005.
16. Katsunari Sato, Susumu Tachi. Design of electrotactile stimulation to represent distribution of force vectors, 2010 IEEE Haptics Symposium, 08 April 2010. – DOI: 10.1109/HAPTIC.2010.5444666.
17. H. Christiaan Stronk, Ellen B Mitchell. Visual task performance in the blind with the BrainPort V100 Vision Aid, Expert Rev Med Devices. 2016 Oct;13(10):919-931. – doi: 10.1080/17434440.2016.1237287.

18. Teslasuit. [Электронный ресурс]. Teslasuit – URL: <https://teslasuit.io/> (дата обращения 6.03.2021). – Режим доступа: свободный.
19. Гибкая электроника: настоящее и будущее. [Электронный ресурс]. Физический факультет. Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова – URL: [https://phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2017/04\(126\)-2017/25457/](https://phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2017/04(126)-2017/25457/) (дата обращения 8.03.2021). – Режим доступа: свободный.
20. Waleri Root, Noemí Aguiló-Aguayo. Conductive textiles via electroless deposition for flexible electronics, 2019 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS), 08 August 2019. – DOI: 10.1109/FLEPS.2019.8792277.
21. Esmá Ismailova. Engineering organic electronic materials for the development of smart textiles, 2019 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS), 08 August 2019. – DOI: 10.1109/FLEPS.2019.8792283.
22. Abiodun Komolafe, Helga Nunes-Matos. Influence of textile structure on the wearability of printed e-textiles, 2020 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS), 30 October 2020. – DOI: 10.1109/FLEPS49123.2020.9239562.
23. Hasbi Sevinc, Ugur Ayvaz. Step Length Estimation Using Sensor Fusion, 2020 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS), 30 October 2020. – DOI: 10.1109/FLEPS49123.2020.9239441.
24. Junaid ur Rehman, Masud. H Chowdhury. Interconnects for Flexible and Printed Electronic Applications, 2019 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS), 08 August 2019. – DOI: 10.1109/FLEPS.2019.8792284.
25. Nadeem Qaiser, Asrar Nabil Damdam. Symmetrical orientation of spiral-interconnects for high mechanical stability of stretchable electronics, 2020 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS), 30 October 2020. - DOI: 10.1109/FLEPS49123.2020.9239530.

26. Патент № 155039 U1 Российская Федерация, МПК А61F 9/08 (2006.01), G01S 17/46 (2006.01), G01C 21/00 (2006.01), G09B 21/00 (2006.01), G01R 33/02 (2006.01), А61Н 3/06 (2006.01). Устройство навигации для слабовидящих и слепых : № 2014140244/14 : заявл. 26.11.2014 : опубл. 20.09.2015 Бюл. № 26 / Китаев В.А.

27. Time of Flight principle. [Электронный ресурс]. Terabee – URL: <https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/> (дата обращения 15.05.2021). – Режим доступа: свободный.

28. Даташит для IRS1125C (INFIN), IRS1645C (INFIN), IRS2771C (INFIN). [Электронный ресурс]. ТерраЭлектроника – URL: [https://tomsk.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf\\_file=%252Fpdf%252FINFIN%252Fre al3.pdf](https://tomsk.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%252Fpdf%252FINFIN%252Fre al3.pdf) (дата обращения 21.05.2021). – Режим доступа: свободный.

29. COCO Home. [Электронный ресурс]. COCO – URL: <https://cocodataset.org> (дата обращения 23.05.2021). – Режим доступа: свободный.

30. ImageNet. [Электронный ресурс]. ImageNet – URL: <https://www.image-net.org/> (дата обращения 23.05.2021). – Режим доступа: свободный.

31. MPU-9250 (GY-85) – 9-ти осевой IMU сенсор. [Электронный ресурс]. Вольтик – URL: <https://volti.ru/shop/gy-85-9-axis-sensor/> (дата обращения 23.05.2021). – Режим доступа: свободный.

32. Paul Bach-y-Rita, Stephen W Kercel, "Sensory Substitution and the Human-Machine Interface", Trends Cogn Sci. 2003 Dec; 7(12):541-6.

33. GPT-2. [Электронный ресурс]. OpenAI – URL: <https://openai.com/blog/tags/gpt-2/> (дата обращения 23.05.2021). – Режим доступа: свободный.

34. Bochkovskiy A., Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection: arXiv preprint arXiv:2004.10934 – URL: 35. <https://arxiv.org/abs/2004.10934> (дата обращения: 10.05.2021).

35. Running a YOLOv4 Object Detector with Darknet in the Cloud! (GPU ENABLED). [Электронный ресурс]. Google Colaboratory – URL:

[https://colab.research.google.com/drive/1\\_GdoqCJWXsChrOiY8sZMr\\_zbr\\_fH-0Fg?usp=sharing](https://colab.research.google.com/drive/1_GdoqCJWXsChrOiY8sZMr_zbr_fH-0Fg?usp=sharing) (дата обращения 11.05.2021). – Режим доступа: свободный.

36. tzutalin/labelImg [Электронный ресурс]: GitHub URL: <https://github.com/tzutalin/labelImg> (дата обращения: 15.05.2021). – Режим доступа: свободный.

37. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python / Питер, 2018. – 400 стр.

38. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)

39. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

40. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".

41. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

42. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

43. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

44. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

45. ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.

46. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

**Приложение А**  
**(обязательное)**

**Раздел 1**  
**Analytical part**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ91	Паксеев Иван Николаевич		

Консультант школы отделения (НОЦ): ОАР, ИШИТР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин Александр Васильевич	к.т.н. доцент		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы: ОИЯ, ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	канд. пед. наук		

## **1 Analytical part**

It is difficult for blind people to move around in an urban environment due to the lack of information about the environment. Therefore, they use various devices and programs in addition to the white cane. The white cane allows them to navigate in space, find things and learn information about the environment. The main tasks of such devices are as follows:

- Navigation,
- Image recognition and data processing,
- Audio contact with the user,
- Haptic technology.

The following subsections consider methods and technologies to facilitate navigation in space for the people with visual impairments?

### **1.1 Navigation**

The main difficulty for people with visual impairments is the inability to move safely around the city. Even using a white cane and a smartphone for navigation, it is still difficult for a blind person to anticipate existing static and dynamic obstacles. Therefore, it is necessary to provide the blind person with technologies that will solve the problem of global and local navigation.

The purpose of global navigation is to determine the blind person location using a satellite system (for example, GPS/Glonass). Based on the position and the specified user requests, a global route to the goal is formed.

The purpose of local navigation is to build a route that will help avoid collisions between the user and nearby objects in the surrounding space. This is implemented on the basis of the computer vision system data. It determines the types of the obstacles, the distance to them, the azimuth direction of the objects and their sizes.

#### **1.1.1 Global positioning**

The main method for navigating a person from point A to point B is the usage of technology based on satellite systems (GPS, Glonass, Beidou and others). Smartphone-based navigators are widely represented on the market now. They allow building a route for people with visual impairments and voicing it.

The principle of GPS/Glonass is that the coordinates of the satellite sending the encoded message and the time of sending and receiving this message are precisely known. Based on the time difference between sending and receiving a radio signal, satellites calculate the distance between themselves and the navigator [2]. To improve positioning accuracy, data from several satellite systems are used simultaneously. This ensures accuracy to centimeters [3]. However, this is not applicable in a densely built environment, where the use of satellite navigation systems is complicated [4]. For indoor navigation, it is necessary to use other methods, otherwise the accuracy is low. One of the instances of such methods could be position determination via Wi-Fi or Bluetooth.

### **1.1.2 Wi-Fi Positioning System**

WPS (Wi-Fi Positioning System) is a geolocation system that uses the characteristics of nearby Wi-Fi hotspots and other wireless access points to calculate where a device is located. The system is used primarily for indoor navigation. Accuracy depends on the number of nearby access points, the location of which is recorded in a database. The database contains the MAC addresses of Wi-Fi access hotspots and their corresponding coordinates [5]. It is convenient to apply this system because it does not require the cost of installing additional equipment. Wireless Wi-Fi hotspots are already available in many organizations and shopping centers. An example of solving the problem of indoor navigation using a Wi-Fi module is the patent "Indoor and outdoor seamless navigation and positioning system" [6]. It implements a system for smooth switching between indoor and outdoor navigation. The Wi-Fi hotspot is used to locate indoor locations where the satellite signal is weak enough to accurately navigate.

However, the accuracy of such a system can periodically change depending on the position of the point, replacement with a new point, etc. To maintain the system, it must be periodically adjusted and checked.

### **1.1.3 Bluetooth Beacon**

The advantage of the Bluetooth Beacon (BLE) wireless technology is the low power consumption of the beacons. Beacons are transmitters that broadcast their identifiers to nearby handheld devices. One of the areas of application of this technology is navigation. The devices help the smartphone determine its location. Also, Bluetooth beacons are used for contextual advertising and triggering certain events when approaching a point (store, cafe, organization, etc.).

An example of using Bluetooth beacons is described in the paper "NavCog3: An Evaluation of a Smartphone-Based BlindIndoor Navigation Assistant with Semantic Features in a Large-Scale Environment" [7]. In this paper, the beacons were used to locate a user in a shopping center. A lot of preliminary work has been done before using the Bluetooth Beacon. It included scanning the space using LiDAR and building a map of the shopping center with all points of interest entered into it (shops, stairs, elevators, escalators, etc.). The developed application was guided by data from 220 beacons located throughout the shopping center on the ceiling and at the bottom of the walls. The program determines the location and announces the route, gives directions or provides contextual information.

The disadvantage of this application is that it is necessary to produce a large collection of information for each building/room, which can be potentially visited by the blind people. This, in turn, causes an increase in the cost and time to support the program. All contextual information about the building has to be recorded in advance and voiced according to the location or user request.

Also, with low power consumption of the beacon itself, the main drawback is the consumption of the phone battery. This is caused by constant scanning of the signal, especially in the vicinity of the transmitters. Another drawback are the lack of security means for data transmission and the need to install a large number of such

beacons in rooms, which can be potentially visited by the people with visual impairments.

#### **1.1.4 Inertial navigation systems**

Inertial navigation systems are used to ensure system reliability. Inertial navigation systems are implemented using accelerometers, gyroscopes, magnetometers, etc. The set of sensors allows predicting the current coordinate. The last received signal from the global positioning system is used as the initial conditions. However, the disadvantage of such systems is the presence of the constantly accumulating error.

The use of inertial navigation in conjunction with other devices allows for an increase in positioning accuracy. In the paper "Motion Context Adaptive Fusion of Inertial and Visual Pedestrian Navigation" [8], inertial navigation is supplemented by visual navigation, where the camera replaces the gyroscope and odometer. The calculation is implemented using neural networks. The neural networks were trained on video with different types of movement, such as running, walking and climbing. This paper is interesting as it shows the prospect of obtaining additional data on orientation from the device cameras. This can improve the local navigation accuracy when there is no signal from satellites.

#### **1.1.5 The computer vision system data**

Cameras and a depth sensor are required to provide local navigation. In a dynamically changing environment, there is a problem of recognizing surrounding objects and obtaining data on their position and distance relative to the user. 2D environment maps and 3D scenes are generated based on this information. They can be used to calculate a route that avoids obstacles and dynamic objects.

To process the obtained data, modern software based on convolutional neural networks can be used. It is capable of analyzing information from images and videos.

Examples of the use of a technical vision system for local navigation can be patents "Method and system for precise localization of a painful or blind person" [9]

and "Audio assistance in navigation" [10]. In them, using stereo vision and data from depth sensors, a map of the environment is built. Using the map, the distance between objects is estimated and a route for the user is laid.

The main disadvantage of this navigation method is the computational load on the device.

### **1.1.5 Conclusion on navigation**

Based on these technologies and the above works, the following conclusions can be drawn:

1) It is necessary to take global satellite navigation as the main method of determining the position. It is publicly available and does not require additional investment;

2) When navigating indoors or in the absence of the signal from satellites, preference should be given to inertial navigation. Positioning reliability is enhanced by the inclusion of inertial sensors in the system. The use of this technology does not require expensive investments. Providing people with Wi-Fi hotspots or Bluetooth beacons throughout the area requires an investment of time and money;

3) The use of navigation based on data from digital cameras and a depth sensor is necessary for local navigation in a dynamically changing environment that other technologies cannot provide.

The complex use of the above technologies will provide the user with navigation. It will solve the problem of determining the location and movement even in the absence of a signal from one of the technologies.

## **1.2 Image recognition**

For people with visual impairments, searching for objects and obtaining information about objects in the surrounding space is a problem. Therefore, there are solutions that help people compensate for the lack of information about the surrounding environment. Such solutions include smartphone apps and remote assistants. The main principle of both methods is to describe what the smartphone

camera sees. In the case of applications, this is processed using neural networks, the result of which is the generated image description. An example of such an application can be "Seeing AI", an application from Microsoft, for which the patent "Augmented imaging assistance for visual impairment" was written [11]. Remote assistant is a service in which the operator verbally describes to blind people what he sees by connecting to the user smartphone. An example of such a service is «Be My Eyes» [12].

Due to the current level of development and growth in the quality of technologies, the use of neural networks is becoming more accessible, both in cloud services and on the smartphones.

### **1.3 Audio information**

Text-to-speech technology is widely used in smartphones and various voice assistants. It is used to convey information to the user faster and more conveniently. One of the striking examples can be Yandex.Station, a smart speaker with a voice assistant called Alice. Also, speech synthesis technologies are used in programs for blind people to work at a personal computer.

Speech synthesis is used in cases where interaction of the interface with a person is necessary. The quality of a speech synthesizer is judged by its similarity to human speech. Synthesized speech can be obtained in various ways, from recording certain basics and vocabulary with their subsequent combination, to teaching the system to rules and reading from the text, which makes the system flexible to different topics.

The use of this technology in devices and programs for people with visual impairments is relevant, when it is not possible to read the inscriptions, names, find out what is displayed on the screen or around the user. Therefore, all such systems for blind people are equipped with audio accompaniment. An example of such a system is the voice navigator described in the paper "NavCog3: An Evaluation of a Smartphone-Based Blind Indoor Navigation Assistant with Semantic Features in a Large-Scale Environment" [7]. NavCog3 provides step-by-step instructions and immediate feedback when the wrong road is detected. The software can produce turn

instructions in a timely manner so that the visually impaired user can easily make correct turns without assistance.

However, the main problem of audio information is the cognitive overload of the human auditory perception system. A person receives a large amount of information in a short period of time. It requires significant cognitive efforts. It is important for people with visual impairments to hear sounds from the environment. It allows them to navigate in space and understand where they are. Overloading of the auditory perception system creates distraction, which can lead to life-threatening situations. Therefore, an alternative message channel should be used.

#### **1.4 Haptic technology**

There is a need to take the load off the user, which is overloaded with the flow of information about navigation and surroundings. Among the available means for transmitting data to a person is the tactile perception system, the transmission to which is carried out by haptic stimulation of the human skin through vibration motors or electrodes.

The main type of information communicated to the user tactilely is the direction of movement. Vibrotactile belts and vests made it possible to replace voice maps and navigators, relieve the load and reduce the reaction time to a route change. So the time spent on the movement along the route by the blind people using tactile devices was equal to the time spent by the sighted using the navigator [13, 14].

In this thesis, due to the fact that the use of vibration motors limits the amount of information that can be transmitted to the user due to their size, the choice is made on the method of electrical stimulation. The use of electrodes can significantly increase the number of elements in the haptic matrix, therefore, increasing the resolution and allowing transmitting more complex signals to the user.

The principle of electrical stimulation is described in the papers "Electro-Tactile Display with Tactile Primary Color Approach" [15] and "Design of electrotactile stimulation to represent distribution of force vectors" [16]. They describe the technique of electrical stimulation of the fingertip. The main purpose of such stimulation is to create a phantom sensation for the user.

An example of a device using a haptic matrix to interact with the environment is BrainPort Vision [17]. It provides the user with the ability to “see” the surrounding space by stimulating the surface of the tongue with an array of electrodes. The drawing transmitted to a person corresponds to the contours of the objects around him.

At the moment, haptic technologies are becoming more widespread. They have found especially active application in devices for virtual reality. The ability to create a phantom experience for the user that matches what is happening in the virtual environment allows for increased immersion in the process. An example is Teslasuit virtual reality suit [18]. It is designed to train employees who can be hazardous in on-site training.

One of the disadvantages is the sufficient massiveness of the devices due to the large number of electrodes, which can cause inconvenience in using this technology.

### **1.5 Flexible electronics**

To implement a device, the size of which would allow it to be used comfortably, small electronics are needed. Flexible electronics may be a solution.

Flexible electronics is the realm of physics, chemistry and electronics. It is related to the creation of electronic devices based on new semiconductor materials [19]. Flexible electronics refers to a combination of different technologies that allow a device to be flexible and small in size. With the growth of such technologies, the cost of production processes decreases, which makes it possible to reduce the cost of the final product.

In recent years, quite a lot of works have been published in which various methods of manufacturing and design of semiconductor devices are investigated. In this section describes the use of tactile technologies for the manufacture of tactile surfaces. Such surfaces (matrices) need to be sufficiently light and flexible. This is done through the use of smaller electronic components and conductive fabrics, which are currently being developed.

The activities of the IEEE International Conference on Flexible, Printable Sensors and Systems have shown the relevance of flexible electronics. The first conference was organized in 2019. The number of publications was about 90. They had covered a variety of research areas, from thin-film transistors to flexible electronic skin sensors. This chapter lists works that may be useful in developing a device for people with visual impairments.

Several papers are presented on the production of conductive fabrics and their use as electronic textiles. The article "Conductive textiles via electroless deposition for flexible electronics" [20] demonstrates the technology of chemical deposition of copper on fabric, which will allow the fabrication of flexible electrical circuits for devices with low energy consumption.

The paper "Engineering organic electronic materials for the development of smart textiles" [21] presents a method for applying electrodes to textiles. The results of the paper showed that the use of textile electrodes exceeded medical standards in monitoring the heart, especially while moving.

For the navigation of visually impaired people, a step length estimation sensor has been developed in the work "Step Length Estimation Using Sensor Fusion". The principle of operation of the sensor is based on the change in the thickness of the layer of tissue located on the knee due to its stretching when the leg is bent at the knee joint. The results of this work make it promising to introduce such sensors into a device that will be able to assess human movements, posture and movement.

From the above papers, it follows that at the moment there are enough studies in this area that can provide a reduction in the price of the final device and a decrease in size compared to previously used analogues. There are also enough new technologies to obtain various data on the state of human health. Aggregation of such different technologies in one device allows one to expect a reduction in the price of the device, which is important for the potential consumers, people with visual impairments, whose earnings are usually lower in comparison with the sighted people. It is also one of the criteria for the successful promotion of an invention on the market.

**Приложение Б**  
**(справочное)**  
**Интервью с незрячим человеком**

**Вопрос №1.** *Что вы думаете в целом о такой разработке?*

**Ответ №1.** Необходимо понимать, что разные участки тела человека обладают разными дифференциальными порогами чувствительности. Это означает, что, например, спина будет различать сигнал слабее, чем живот. Необходимо собрать экспериментальные данные, которые покажут, как следует располагать матрицы электродов и с каким межэлектродным расстоянием и интенсивностью воздействия.

**Вопрос №2.** *Чем вы пользуетесь и какие есть минусы?*

**Ответ №2.** На данный момент использую трость и приложение на смартфоне. Недостатком приложений является то, что они адаптированы только для статической среды и не способны отслеживать динамические объекты (автомобили, люди и т.д.). Также одним из основных недостатков является ошибки навигации или отсутствие информации между контрольными точками. Проще говоря, после указания направления, например: «Пройдите вперед на 10 метров», возникает много вопросов: неизвестно что находится на протяжении этого пути, где кончаются 10 метров, того ли направления я придерживаюсь.

**Вопрос №3.** *Почему Вы выбрали именно это устройство\приложение?*

**Ответ №3.** GPS навигация (на смартфоне) более мобильна. На момент возникновения слепоты из аналогов были только тактильные карты местности.

**Вопрос №4.** *В каком виде комфортнее воспринимать информацию?*

**Ответ №4.** Не всегда возможно удерживать во внимании несколько каналов информации одновременно. Возникает необходимость выделить один основной канал внимания с наиболее важно информацией, либо дополнять один канал другим с целью пояснения\дополнения основной информации или замены в ситуациях, когда получение информации с первого затруднено.

Необходимо фильтровать информацию для снижения ее «зашумленности» лишней, необязательной. Следует вводить систему кодирования, которая бы помогла в распознавании образов и навигации (Примечание: на данном этапе работы необходимо провести исследование на

распознавание образов, наиболее комфортные образы для распознавания пользователями).

**Примечание о важности трости:** Трость – это необходимый атрибут, который помимо помощи с ориентации в пространстве она еще помогает окружающим людям понять, что перед ними незрячий и необходимо проявить особое внимание и аккуратность при движении, оказать помощь и т.д.

**Вопрос №5.** *В каком виде, по Вашему мнению, должен быть реализован ввод данных/обратная связь (браслет/смартфон)?*

**Ответ №5.** Можно использовать браслет, а можно уже готовые решения. Реализовано много программ экранного доступа, «Screen reader», которые можно использовать совместно с программным обеспечением для разрабатываемого устройства.

**Вопрос №6.** *Что бы вы хотели знать об окружающей среде во время движения (помимо расстояния до объекта)?*

**Ответ №6.** Дополнительная информация о динамических событиях поможет спланировать маршрут и избежать опасных ситуаций. Например, информация о ремонтных работах.

Незрячий человек получает информацию последовательно, это требует больше времени и усилий, поэтому возможность получать инф. о различных объектах (например, лужа) и ситуациях облегчит навигацию человека.

Для знакомого пространства особое внимание представляют динамические объекты. В случае новой локации есть необходимость изучить все пространство, знать, где находятся необходимые объекты, будь то нужный подъезд или остановка.

В зависимости от сезона меняется стиль передвижения. Зимой снегоуборочные машины оставляют бортики, по которым незрячий человек ориентируется и воспринимается их как направление движения по тротуару. В этом случае возникает необходимость распознавать дорожки в отсутствии четких ориентиров.

Необходимо менять уровень абстракции и масштаб в зависимости от ситуации.

**Пример реальной ситуации:** Необходимо сесть в автобус, но реальное расписание автобусов зачастую не совпадает с их расписанием в картах. Плюс на остановку может прийти одновременно несколько автобусов и появляется необходимость найти нужный.

**Вопрос №7.** *Какую сумму вы готовы были бы заплатить за такое устройство? Диапазон (сотни тысяч).*

**Ответ №7.** Инвалиды не готовы платить за какие-либо устройства. В данном случае необходимо решать вопрос через фонд социального страхования. Если министерство внесет устройство в перечень средств реабилитации, тогда оно будет выдаваться как средство технической реабилитации для людей с нарушением зрения за счет социального страхования.

**Вопрос №8.** *Существуют голосовые навигаторы. Насколько они отвлекают от звуков окружающей среды и критично ли это для Вас?*

**Ответ №8.** Я использую, звуковой навигатор с гарнитурой, который занимает одно ухо. Второе остается свободным для отслеживания окружающей среды, движения транспорта, чтобы не сбиться с направления (не выйти на дорогу).

Со временем происходит адаптация и формируется функциональная система. Это позволяет на автомате определять то, что происходит вокруг и ориентироваться в пространстве относительно шумов различных объектов.

**Вопрос №9.** *Необходимо ли дополнять тактильную систему голосовым каналом?*

**Ответ №9.** Информация, которую невозможно отобразить с помощью тактильного канала, должна отображаться в другом виде, иначе произойдет потеря информации. Оптимальный вариант – голосовой. Устройство должно работать по принципу взаимодополняемости. При дублировании, внимание

будет перескакивать с одного канала на другой, что вызовет дезориентацию и зашумленность информации.

**Вопрос №10.** *Стали бы вы носить такое устройство (электротактильный жилет + очки с камерами + блок обработки информации)?*

**Ответ №10.** Надо эргономично продумывать конструкцию устройства так, чтобы оно было удобным. Иначе может возникнуть ситуация при которой работающее успешно устройство люди не захотят носить в силу неудобства.