

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

---

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика  
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка и исследование алгоритма выращивания регионов для сегментации медицинских данных</b>

УДК 004.6.021:61:332.142.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Манаков Роман		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Гергет Ольга Михайловна	Д. Т. Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Екатерина Валентиновна	К. ф. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Николай Архипович	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШИТР	Коваль Тамара Васильевна	Д. ф.-м. н.		

Томск – 2019 г.

**Планируемые результаты обучения по направлению подготовки  
01.04.02 Прикладная математика и информатика**

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения</b>
<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Общекультурные компетенции</b>	
ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.
ОК-2	Готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения.
ОК-3	Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности.
ОПК-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия.
ОПК-3	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение.
ОПК-4	Способность использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики.

Продолжение таблицы

1	2
ОПК-5	Способность использовать углублённые знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК-1	Способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.
ПК-2	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач.
ПК-3	Способность углубленного анализа проблем, постановки и обоснования задач научной и проектно-технологической деятельности.
ПК-4	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач проектной и производственно-технологической деятельности.
ПК-5	Способность управлять проектами, планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять командой проекта.
ПК-6	Способность организовывать процессы корпоративного обучения на основе технологий и развития корпоративных баз знаний.
ПК-7	Способность разрабатывать и оптимизировать бизнес-планы научно-прикладных проектов

Окончание таблицы

1	2
ПК-8	Способность разрабатывать корпоративные стандарты и профили функциональной стандартизации приложений, систем, информационной инфраструктуры.
ПК-9	Способность к преподаванию математических дисциплин и информатики в образовательных организациях основного общего, среднего общего, среднего профессионального и высшего образования.
ПК-10	Способность разрабатывать учебно-методические комплексы для электронного и мобильного обучения.
ПК-11	Способность разрабатывать аналитические обзоры состояния области прикладной математики и информационных технологий.
ПК-12	Способность к взаимодействию в рамках международных проектов и сетевых сообществ.
ПК-13	Способность осознавать корпоративную политику в области повышения социальной ответственности бизнеса перед обществом, принимать участие в её развитии.

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (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
8БМ71	Манакову Роману

Тема работы:

Разработка и исследование алгоритма выращивания регионов для сегментации медицинских данных
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**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>Данные МРТ камер сердца Йоркского Университета размера 256 × 256.                      Данные МРТ головного мозга, полученные в Южном медицинском университете (Гуанчжоу, Китай)</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>	<p>Разработка и реализация алгоритма сегментации. Тестирование и оценка скорости, точности и стабильности метода. Исследование особенностей поведения разработанного метода</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Меньшикова Е.В.
<b>Социальная ответственность</b>	Алексеев Н.А.
<b>Английский язык</b>	Сидоренко Т.В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Математическая модель алгоритма	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Гергет Ольга Михайловна	Д. Т. Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Манаков Роман		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 117 с., 24 рис., 26 табл., 35 источников, 2 приложений.

Ключевые слова: сегментация, выращивание регионов, суперпиксель, алгоритм, MATLAB.

Объект исследования: двумерные чёрно-белые изображения медицинские изображения.

Цель работы: разработать, реализовать и исследовать алгоритм сегментации медицинских данных, в основе которого лежит принцип выращивания регионов для повышения надежности и скорости разработанного метода.

В процессе исследования проведен анализ литературы, предложена концепция выращивания региона суперпикселями, разработан и реализован метод для сегментации медицинских данных.

В результате исследования получены характеристики основных параметров, оказывающих влияние на точность и скорость сегментации. Все рассматриваемые алгоритмы реализованы программно в среде визуального программирования на языке высокого уровня.

Основные конструктивные, технологические и эксплуатационные характеристики: высокий современный научный уровень, высокая степень новизны и оригинальности.

Область применения: методы распознавания образов, сегментация медицинских данных.

## **Сокращения**

МРТ – магнитно-резонансная томография

КТ – компьютерная томография

## Оглавление

Введение.....	11
1. Обзор литературы .....	14
2. Содержательная и концептуальная постановки задачи .....	18
3. Математическая модель алгоритма .....	20
3.1 Предобработка изображений .....	20
3.2 Модель сегментации .....	21
3.3 Размещение первого суперпикселя .....	22
3.4 Поиск внешних суперпикселей .....	24
3.5 Построение сплайн-контура .....	24
3.6 Детектирование границ .....	28
3.7 Методы принятия коллективных решений .....	29
4. Программная реализация .....	31
4.1 Выбор среды разработки .....	31
4.2 Интерфейс и особенности программной реализации .....	32
5. Тестирование .....	35
5.1 Метрики оценки точности.....	35
5.2 Материалы.....	36
6. Результаты.....	38
6.1 Точность алгоритма .....	38
6.2 Скорость выполнения алгоритма .....	42
7. Обсуждение результатов .....	45
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	49
8.1 Предпроектный анализ .....	49
8.2 SWOT-анализ.....	52
8.3 Планирование управлением научно-технических проектом .....	57
8.4 Бюджет научно-технического исследования .....	63

8.5 Реестр рисков.....	70
8.6 Общий вывод по разделу.....	74
9. Социальная ответственность .....	76
9.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте .....	78
9.2 Отклонение показателей микроклимата.....	79
9.3 Недостаточная освещённость рабочей зоны.....	81
9.4 Экологическая безопасность.....	88
9.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	89
9.6 Статические физические перегрузки .....	91
Заключение .....	96
Список использованных источников .....	97
Приложение А .....	101
Приложение Б .....	112

## **Введение**

Современная цифровая медицина является востребованным направлением, которое в будущем позволит вывести здравоохранение на принципиально новый уровень развития. Однако, в тоже время внедрение качественных информационных систем в медицинскую практику нетривиально и требует решения множества сложнейших задач по обработке медицинской информации. Одной из таких задач является обработка различного рода графической информации: результаты исследования МРТ (магнитно-резонансной томографии), снимки КТ (компьютерной томография), а также ультразвуковые данные эхокардиографии.

Очевидно, что анализ графической информации начинается с выделения на изображении интересующей области и определения её границ. Этот процесс называется сегментацией. Сегментация необходима для локализации интересующих объектов на изображениях. В контексте медицины это могут быть различные анатомические структуры, ткани, элементы опорно-двигательной системы, а также хирургические инструменты, находящиеся внутри тела человека при проведении малоинвазивных операций. По результату сегментации можно определить размеры и площадь сегментированных участков, выявить отклонение от нормы и поставить правильный диагноз.

Таким образом, задача сегментации медицинских изображений представляется достаточно неординарной и требует применения нестандартных методов для её решения. В отличие от других областей, где данные чисты и хорошо структурированы, медицинские данные очень разнородны, неоднозначны, неполны и сильно зашумлены. Это является главной проблемой, которая в за частую приводит к нестабильной работе обычных методов сегментации. Уже разработаны методы, которые позволяют частично решить описанные выше проблемы. Работа таких методу сводится к статистическому анализу суперпикселей. Под суперпикселями понимается группа пикселей, объединённых по какому-либо признаку. Однако, недостатком таких подходов

является высокая сложность алгоритма, что приводит к большому времени выполнения. В данной работе предлагается новый подход, основанный на суперпиксельной обработке, который позволяет увеличить надёжность алгоритма и повысить его скорость, путём снижения асимптотической сложности алгоритма.

Целью данной работы, является разработка, реализация и исследование алгоритма сегментации медицинских данных, в основе которого лежит принцип выращивания регионов для повышения надёжности и скорости разработанного метода. Для достижения цели необходимо решить следующий перечень задач:

1. провести обзор литературы по уже существующим методам;
2. разработать концептуальную модель метода;
3. проработать математическую модель;
4. выбрать среду разработки и необходимые инструменты для реализации;
5. реализовать алгоритм и провести его отладку;
6. исследовать поведение алгоритма в различных ситуациях при различных параметрах;
7. провести тестирование предложенного метода с другими существующими методами сегментации и сравнить статистические результаты.

В данном исследовании объектом исследования являются двумерные чёрно-белые медицинские изображения, а предметом исследования – методы сегментации и визуализации медицинских изображений.

Применение суперпикселей различной конфигурации для выращивания региона и построение с их помощью сплайн-контура является научной новизной данной работы.

Практической значимостью работы может стать реализация исследуемого метода в виде модуля или библиотеки для различных медицинских систем принятия решений, а также для программного обеспечения по визуализации и обработке графических медицинских данных. Примером таких программ

являются 3D Slicer и MITK. Также возможен вариант применения данного метода в связке с нейронными сетями или другими алгоритмами в режиме реального времени. Таким образом полный спектр практического использования этой разработки достаточно обширен.

В работе проведён анализ литературы, разработаны и описаны все ключевые составляющие разрабатываемого метода. Произведена реализация метода в математическом пакете MATLAB, проведено тестирование на двух выборках изображений, дана оценка точности и скорости сегментации, также проведён анализ поведения алгоритма при различных параметрах его работы. Проведено сравнение разработанного алгоритма с классическим методом «Region Growing». Также произведён конструктивный анализ социальной ответственности, ресурсоэффективности и финансового менеджмента.

## 1. Обзор литературы

Сегментация изображения — это разделение изображения на совокупность областей, каждая из которых характеризует некоторый смысловой объект.

В настоящее время предложено много надежных двух- и трехмерных методов сегментации [1] - [3]. Последние и самые популярные статьи по сегментации медицинских изображений, неразрывно связанные с машинным обучением и нейронными сетями. В работе Ozan Oktay[4] использовались нейронные сети для улучшения сегментации сердца. В работе [5] алгоритмы машинного обучения используются для сегментации опухоли головного мозга. Подобные подходы использовались во многих задачах медицинского анализа изображений [6], [7]. Однако алгоритмы, основанные на машинном обучении, часто решают узкую проблему и, что более важно, требуют большой обучающей выборки.

Существуют также классические методы, работа которых не требует наличия нейронных сетей и процесса их обучения. Эти методы можно разделить на две основные группы: полуавтоматические и автоматические. Полуавтоматические методы требуют наличия некоторых начальных условий, в отличие от полностью автоматических. Однако, наличие начальных условий позволяет полуавтоматическим методам конкретизировать регион, если аналогичных на изображении несколько.

Одним из автоматических и простейших методов сегментации является пороговая сегментация. Основная идея метода заключается в применении некоторой логической функции к значению каждого пикселя изображения (1).

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < x_0 \\ 1, & x \geq x_0 \end{cases} \quad (1)$$

Параметр  $x_0$  называется порогом. Сегментация может комбинировать несколько таких функций через логические условия, что позволяет эффективно сегментировать области с ярко выраженным цветовым оттенком. Применение пороговой сегментации возможна также для цветных изображений, путём применения пороговых функций по каждому каналу. Применение данного

метода возможно в различных системах цвета, таких как RGB, RGBA, HSV, CMYK и т.д.

Следующий рассматриваемый метод это Метод выращивания регионов. Методу требуется кроме исходного изображения, также координаты некоторой точки региона, для которого требуется произвести сегментации.

На начальной шаге работы метода сегментированный регион принимается равной одному пикселу, который был передан как входной параметр. Затем метод расширяет область региона путём конкатенации к региону соседних элементов, параллельно проверяя условие конкатенации. Суть этого условия заключается в том, что присоединяемые элементы отличаются по яркости от текущей средней яркости региона не более чем на константу  $K$ :

$$|R_i - \tilde{R}| \leq K, \quad (2)$$

где:

- $R_i$  – яркость присоединяемого элемента;
- $\tilde{R}$  – среднее арифметическое значение яркости по региону.

После присоединения каждого нового, среднее значение пересчитывается и процесс итеративно выполняется. Алгоритм завершает свою работу, когда область невозможно больше расширить, не нарушив условия (2), либо когда все пиксели входного изображения уже находятся в отсегментированном множестве. Таким образом метод объединяет все пиксели, обладающие схожими яркостными свойствами, и позволяет проводить сегментацию заданной области.

Преимущества использования алгоритма выращивания регионов:

- избирательность сегментации;
- простота реализации;
- высокая точность сегментации объектов на изображении с чётко выраженной границей.

В тоже время у этого метода есть серьёзный недостаток: метод неустойчив к разрывам границ. Если область имеет размытую или нечёткую границу, то достаточно одного пикселя, чтобы метод совершил выход за пределы области

интересов и продолжил непредсказуемую сегментацию. В результате таких «утечек» стабильность работы и его устойчивость к размытым и нечётким контурам сильно падает.

Для устранения этих недостатков N.A.M. Isa в статье [17] предложил модифицированный алгоритм роста региона (MSBRG). Несколько важных блоков алгоритма, таких как установка порогового значения, определение начальной точки, процесс выращивания были изменены и автоматизированы. Например, автоматическое определение точки «утечки» на основе алгоритма кластеризации  $k$ -средних. Тем не менее, подходы, описанные в статье, как правило, довольно сложны. Причина в том, что алгоритм имеет ряд трудоёмких вычислений, таких как  $k$ -средняя кластеризация, которые работают со всем изображением в целом.

Dehmeshki J [18] в своей работе предложил использовать ограничивающее окно, чтобы минимизировать «утечки». Тестирование модифицированного алгоритма выращивания регионов проводилось на 815 тестовых изображениях. В 84% случаев результатом была качественная маска сегментации. В оставшихся 16% наблюдались явные дефекты сегментации.

В работе [14] Joung Park и Chulhee Lee использовали алгоритм выращивания региона для выделения черепа на изображениях. В предложенном методе используется морфологическая маска для автоматической идентификации начальных точек фона и переднего плана. Это позволило сделать метод полностью автоматическим. Другие методы такие как сегментация водоразделов и морфологическая сегментация, используются в задачах сегментации черепа [15], [16]. Однако многие из этих подходов имеют недостатки, такие как чрезмерная сегментация или чувствительность к шуму.

В работе [19] показано изменение области роста, основанной на слиянии суперпикселей. Суперпиксели - это группа пикселей, объединенная какой-то особенностью. Термин суперпикселя был введен X. Ren и J. Malik [20]. Список предлагаемых работ по сегментации на основе суперпикселей [21] - [23]. В большинстве работ для генерации суперпикселей используются методы

кластеризации. Это является причиной высокой сложности алгоритма. Поскольку каждый пиксель, включенный в суперпиксель, должен быть обработан. Следовательно, минимальная сложность таких алгоритмов равна  $O(n)$ , где  $n$  – общее число пикселей в суперпикселе. В работах [19], [20], [23] используется простой алгоритм линейной итеративной кластеризации (SLIC). Этот метод представлен в работе [24]. R. Achanta et al. для создания суперпикселей используется метод кластеризации  $k$ -средних для пятимерного пространства признаков. Первые три измерения - это цветовое пространство, а последние два - координата пикселя. SLIC формируется методом кластеризации  $k$ -средних. Несомненно, на этапе сегментации, как показано в [19], переход к уровню суперпикселей значительно упрощает алгоритм и вычисления. Тем не менее, на этапе кластеризации и поиска суперпикселей приходится анализировать значительный объем данных. Ovidiu Csillik в [21] демонстрирует метод, основанный на SLIC-суперпикселях для сегментации данных высокого разрешения. Для изображения с разрешением  $1347 \times 1042$  и  $3701 \times 3301$  время обработки составляет 2 с. и 26 с. соответственно.

## 2. Содержательная и концептуальная постановки задачи

Задача сегментации медицинских данных требует высокой точности. В то же время медицинские данные имеют сложную структуру и не всегда могут быть однозначно интерпретированы даже профессиональным врачом.

Была поставлена следующая задача: разработать полуавтоматический метод сегментации медицинских данных. Анализ литературы показал недостатки существующих методов: высокая вычислительная сложность и неустойчивость к зашумлённым данным. Поэтому целью работы является разработка и исследование алгоритма, который был бы устойчив к зашумлённым данным и обладал высокими показателями по скорости работы и точности. Для проведения исследования и оценки точности были подготовлены два набора данных, размеченных профессиональными врачами.

Концепция работы первого прототипа алгоритма заключалась в равномерном построении лучей в полярной системе координат, начало которой находилось в начальной точке. Далее на каждом луче детектировалась граница сегментируемой области и по полученным точкам строился сплайн-контур. Наглядно этот принцип продемонстрирован ниже (Рисунок 1). Детектирование границы на луче происходило путём поиска резкого перепада яркости на луче.

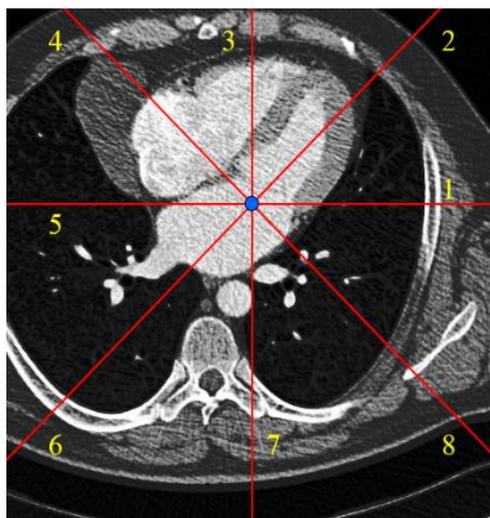


Рисунок 1 - Концепция работы прототипа на основе лучей

Однако такой подход имеет несколько критических недостатков и ограничений:

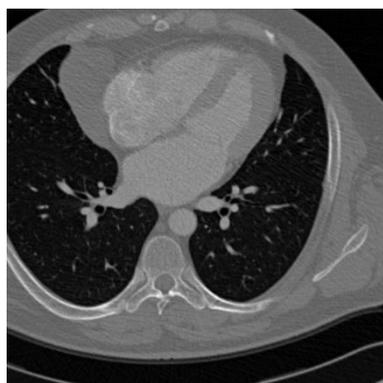
- чувствительность результата к начальной точке;
- чувствительность алгоритма к форме сегментируемой области;
- сегментируемая область должна быть выпуклой;
- область должна быть цельной без внутренних контуров;
- большая вероятность неустойчивого поведения.

Таким образом, было принято решение о применении концепции выращивания региона, которое позволит нивелировать большинство из перечисленных выше недостатков. Учитывая особенности классического алгоритма выращивания регионов, для улучшения стабильности работы метода был выбран переход к уровню суперпикселей.

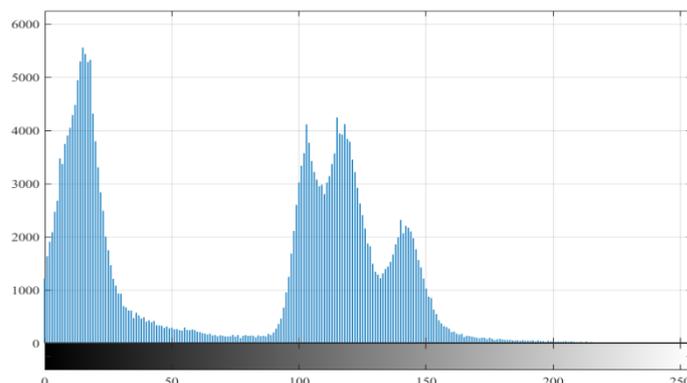
### 3. Математическая модель алгоритма

#### 3.1 Предобработка изображений

Перед выполнением операции сегментации или любой другой необходимо провести предобработку изображения. Это необходимо для улучшения качества изображения и в последующем, результата основной операции. В данном случае под предобработкой понимается корректировка яркости/контрастности, а также эквализация гистограммы распределения яркостей. Эквализация применяется в ситуациях, когда весь диапазон яркостей заполнен неравномерно. Перераспределение яркостей корректирует изображение, путём выравнивания интегральных площадей участков с различными яркостями. Пример работы эквализации показан на рисунке Рисунок 2.



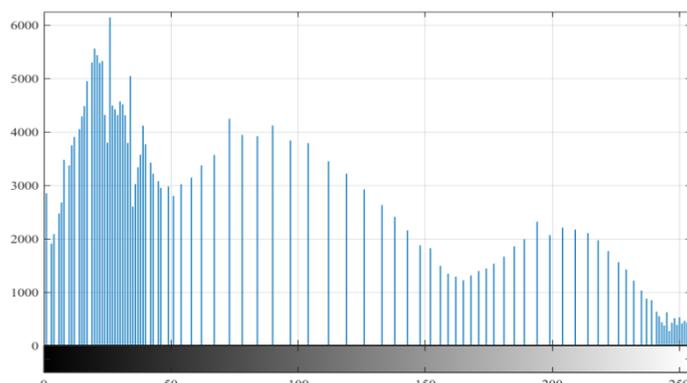
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 2 - Эквализация гистограммы распределения яркости: исходное изображение (а) и его гистограмма (б), обработанное изображение (в) и соответствующая гистограмма (г)

### 3.2 Модель сегментации

Алгоритм выращивания области в общем представлении выполняет сегментацию области, начинающуюся с начальной точки, которая относится к сегментируемому региону. Область растет при присоединении соседних пикселей, которые удовлетворяют критерию однородности. Можно описать алгоритм роста области в рабочем процессе, показанном на рисунке Рисунок 3.

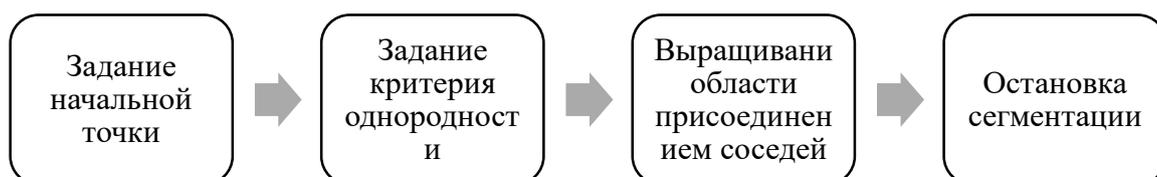


Рисунок 3 - Рабочий процесс роста региона

Как описывалось ранее, в классическом алгоритме выращивания регионов используется достаточно простое условие включения пикселя в регион. Однако, в предложенном алгоритме понятие пикселя заменяется понятием суперпикселя. Суперпиксель в данном случае представляет собой квадратный блок размера  $n \times n$ , состоящий из пикселей. Таким образом, условием объединяющим все пиксели в суперпиксели является их геометрическая форма. Все суперпиксели имеют по 4 соседей.

Исходя из вышесказанного, представленный метод проверяет и объединяет пиксельные группы (суперпиксели) в единый регион. Рабочий процесс предложенного алгоритма показан на рисунке Рисунок 4.

1	Инициализация параметров
2	Размещение первого суперпикселя
3	Распространение суперпикселей
4	Уменьшение размера суперпикселя
5	Поиск узловых точек
6	Построение сплайна

Рисунок 4 - Рабочий процесс предложенного алгоритма. Блоки 3 и 4 выполняются циклически несколько раз

Основное различие между предложенным методом и методами, представленными в работах [19], [20], заключается в том, что отсутствует полный анализ одиночных пикселей, которые являются частью суперпикселя. Процедура уменьшения размеров суперпикселей показаны ниже (Рисунок 5).

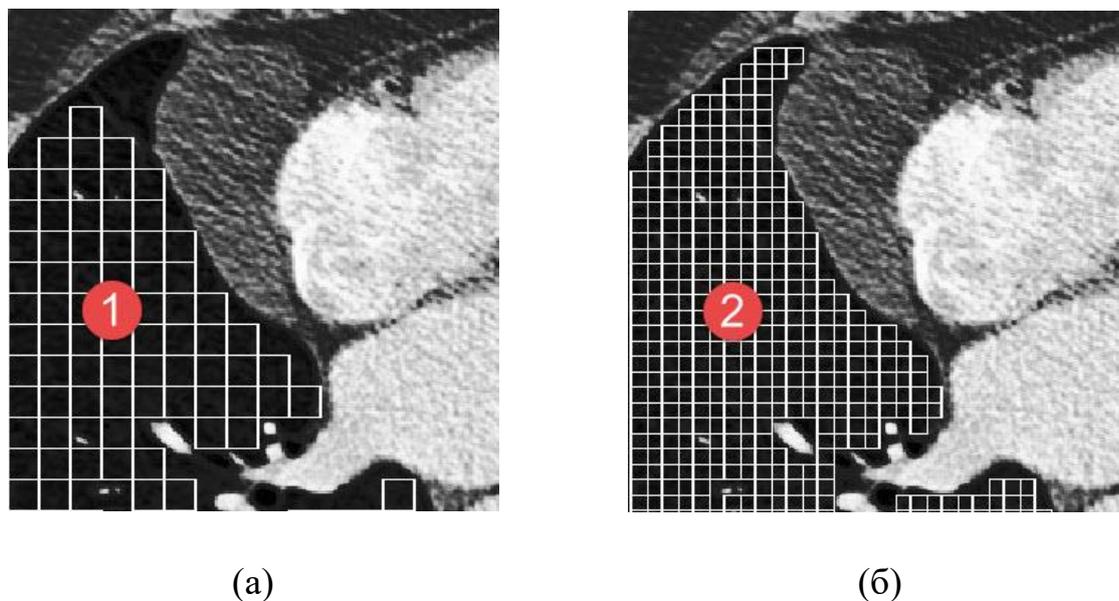


Рисунок 5 - Маркер «1» указывает на площадь распространения суперпикселей начального размера (а), «2» обозначает площадь после уменьшения размера суперпикселя в два раза (б)

Предлагаемый алгоритм проверяет и прикрепляет суперпиксели к результирующему набору для ускорения сегментации. Подобно росту области, процесс присоединения происходит до тех пор, пока существует как минимум одна группа пикселей, которые могут быть включены в окончательный набор. Группа пикселей включена в конечную область, после проверки того, что она не пересекает границу интересующей области по ребру или диагонали.

### 3.3 Размещение первого суперпикселя

Центром первого суперпикселя является начальная точка, которая является входным параметром алгоритма. Начальная точка является центром пересечения диагоналей первого суперпикселя. Для включения этого элемента в регион

происходит проверка диагоналей и рёбер на предмет наличия границы. Если суперпиксель не пересекает границу интересующей области, он конкатенируется к выращиваемому региону. В противном случае выполнение алгоритма может продолжаться только при уменьшении размера суперпикселя или изменении начальной точки. Проверка новых суперпикселей и их конкатенация к основному региону продолжается до тех пор, пока выполняются условия. Если следующая итерация конкатенации невозможна, размер суперпикселя уменьшается вдвое и процесс расширения области продолжается. Пример неудачных попыток конкатенаций суперпикселей показан на рисунке Рисунок 6. Зеленые круги обозначают области пересечения краев прикрепленного суперпикселя с интересующей областью.

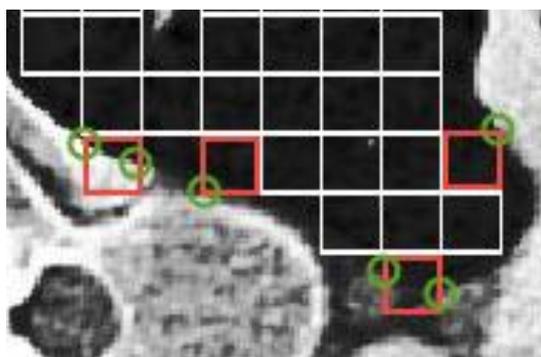


Рисунок 6 - Пример суперпикселей, которые нельзя добавить в область из-за пересечения с границей сегментированной области. Зелёные маркеры указывают на точки пересечения

Уменьшение размера суперпикселя - процесс итеративный и может происходить несколько раз, пока не будет достигнут минимальный размер. Начальный и минимальный размер суперпикселя полностью задают последовательность размеров суперпикселей. Эти два параметра одни из основных параметров алгоритма, которые существенно влияют на его поведение. Таким образом, применение техники уменьшающихся суперпикселей позволяет приближаться достаточно близко к границам сегментируемой области, но никогда не пересекать ее. Обязательным условием завершения этого этапа является невозможность дальнейшего присоединения суперпикселей минимального размера.

### 3.4 Поиск внешних суперпикселей

На этом этапе происходит обход всех внешних суперпикселей, которые не были включены в регион. Эти суперпиксели образуют замкнутый контур в соответствии с обязательным условием предыдущего этапа. Обход контура осуществляется по часовой стрелке. Для каждого суперпикселя, пересекающего границу области интересов, выполняется поиск точного местонахождения границы на рёбрах и диагоналях суперпикселя. Стоит отметить, что внешний контур всегда будет один, в то время как внутренних может быть несколько или не быть ни одного. После завершения данного этапа получены последовательности точек, которые образуют замкнутые контуры.

### 3.5 Построение сплайн-контура

Для создания гладкого контура, соединяющего все полученные ранее узловые точки в замкнутую линию, была использована кубическая сплайн-интерполяция. Задачей интерполяции является нахождение такой функции  $S(x)$  из заданного класса функций, что:

$$S(x_i) = y_i, \quad i = \overline{1, N} \quad (3)$$

, где пары  $(x_i, y_i)$ - заданные узловые точки. Интерполяционная сетка может иметь как постоянный, так и переменный шаг.

Кусочная интерполяция хорошо подходит в ситуациях, когда число узловых точек достаточно велико. Применение полинома Лагранжа в таких случаях приводит к большой вычислительной сложности, а как следствие временным затратам. Сплайн-интерполяция применяется в системах автоматизированного проектирования для задания линий и поверхностей, робототехнике, а также для решения задач численного интегрирования.

Сплайном является некоторая непрерывная функция, несколько производных которой также обладают свойством непрерывности на всем диапазоне интерполяции, а на каждом отдельном отрезке между узлами

интерполяционной сетки является некоторым алгебраическим полиномом. В данном случае для кубического сплайна это полином третьей степени.

Разность между степенью сплайна и порядком гладкости сплайн-функции есть дефект сплайна. Функция с порядком гладкости  $r$  имеет непрерывные производные всех порядков до  $r$  включительно (производная нулевого порядка есть сама функция).

Для построения сплайна, состоящего из  $n$  фрагментов, требуется найти такие значения числовых параметров для каждого фрагмента — полинома степени  $m$ , которые обеспечат непрерывность в узлах как самой функции, так и необходимых производных. Так, всего следует определить  $nm$  параметров. С учётом условия интерполяции и непрерывности первых двух производных определение параметров сводится к решению системы, состоящей из  $nm$  линейных уравнений.

Если значение первой производной в узлах рассчитывать исходя из условия непрерывности второй производной (решая систему, образованную линейными уравнениями в количестве  $n$  штук), то сплайн будет иметь две непрерывные производные. Глобальным является такой способ вычисления параметров сплайна, если при определении каждого из его коэффициентов учитывается все узлы интерполяционной сетки.

Локальными называются сплайны, а также методы их построения если для вычисления каждого коэффициента сплайна используются только ближайшие узлы. Значение каждого параметра одного фрагмента такого сплайна находится независимо от остальных фрагментов.

Краевые условия — это условия, задающие ограничения на значения сплайна и некоторых его производных в крайних узлах интерполяционной сетки. Имеется 3 основных типа классических краевых условий.

Первый тип краевых условий предполагает задание значений первой производной на концах отрезка, на котором производится интерполяция:

$$S'(a) = y'_0, S'(b) = y'_N. \quad (4)$$

Краевые условия второго типа задают значения второй производной на концах отрезка:

$$S''(a) = y_0'', \quad S''(b) = y_N''. \quad (5)$$

Третий тип краевых условий называется периодический и задаёт полное равенство значений сплайна и первых двух его производных на концах отрезка интерполяции:

$$S(a) = S(b), S'(a) = S'(b), S''(a) = S''(b). \quad (6)$$

Выбор граничных условий является одной из главных проблем при интерполяции функций. Особенно в тех случаях, когда необходимо достичь высоких показателей по точности. Граничные значения оказывают заметное влияние на поведение сплайна вблизи крайних точек и это влияние по мере удаления от них быстро ослабевает.

Выбор граничных (краевых) условий часто определяется наличием дополнительных сведений о поведении аппроксимируемой функции.

В случае с интерполяцией контура, очевидно, что искомая сплайн-функция будет являться периодической, по причине замкнутости контура, следовательно необходимо применять третий тип краевых условий. На рисунке Рисунок 7 представлен результат работы сплайн-интерполяции с периодическими краевыми условиями.

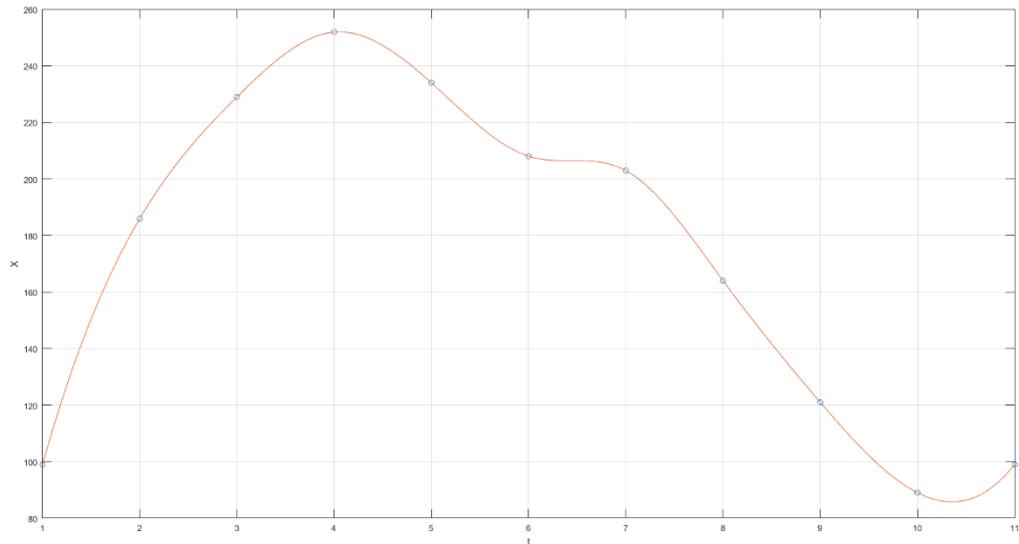


Рисунок 7 - Результат работы сплайн интерполяции

В связи с тем, что последовательность координат точек не является упорядоченной в общем случае ни по одной из осей, нельзя прямо использовать интерполяцией вида  $Y = S(X)$ , где  $X$  является независимой переменной. Однако, введение независимой переменной  $t$  позволяет решить данную проблему. Аналитический вид контура можно представить в виде двух сплайн-функций зависящих, от  $t$ :  $\{X(t), Y(t)\}$ . Каждая функция отвечает за координаты  $X$  и  $Y$  соответственно. Диапазон изменения независимой переменной может быть задан произвольно. Визуализация построения замкнутого сплайн-контура для 10 точек представлена на рисунке Рисунок 8.

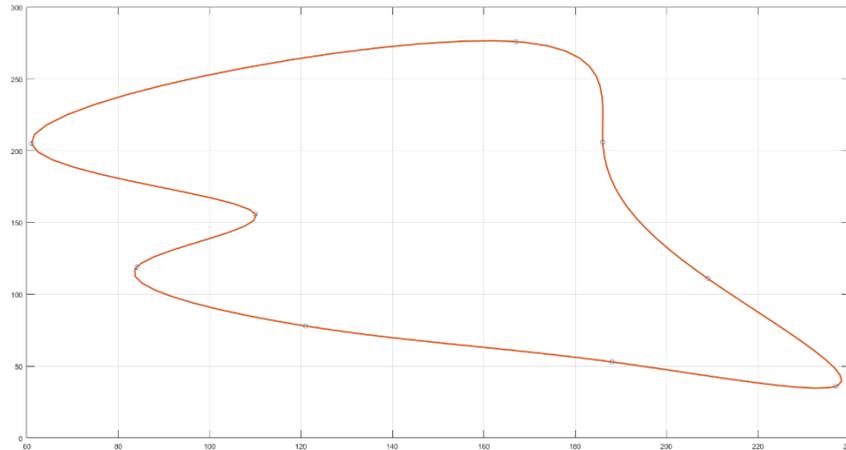


Рисунок 8 - Замкнутый сплайн контур

В результате проделанных операций, была получена аналитическая кусочная функция, которая определена и непрерывна для любого значения  $t$  из заданного диапазона. Это позволяет улучшить результат сегментации, а также точно и компактно представить результат работы представленного алгоритма в виде совокупности внешнего и, возможно, нескольких внутренних замкнутых контуров.

### 3.6 Детектирование границ

Обнаружение границы на ребре или диагонали суперпикселя происходит параллельно двумя условиями. Выполнение этих условий определяет факт обнаружения границы сегментируемой области.

Первое условие: текущая яркость пикселя сравнивается со средним значением яркости сегментированной области. Среднее значение интерпретируется как среднее арифметическое яркости пикселей в центрах уже конкатенированных суперпикселей. Пороговый параметр является настраиваемым параметром алгоритма:

$$\Delta I = |p_i - \bar{p}| \geq K. \quad (7)$$

Второе условие: оценка постепенного перепада яркости. Для проверки этого условия производится линейная аппроксимация последовательности из

пяти точек методом наименьших квадратов (метод LSM). Коэффициент, который представляет собой наклон прямой линии, рассчитывается по формуле (8).

$$\tan(\varphi) = \left| \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \right| \geq s, \quad (8)$$

, где точки  $x$  – координаты точек на прямой (в нашем случае этот диапазон составляет от 1 до 5);  $y$  – значения яркости;  $n$  – число точек.

При построении вектора  $x$  следует учитывать, что расстояние между пикселями, лежащими на рёбрах, равно 1, тогда как для пикселей, лежащих на диагоналях, оно равно  $\sqrt{2}$ . Для текущего пикселя аппроксимация выполняется с использованием двух пикселей справа и двух слева. Если пиксели являются границами этого суперпикселя, то берутся дополнительные пиксели, несколько превышающие границы суперпикселя. Проверка модуля наклона на превышение определенного порога позволяет точно определить границы и получить алгоритм, устойчивый к шуму. Проверка граничного присутствия производится по краям и диагоналям суперпикселя двумя описанными выше методами.

### 3.7 Методы принятия коллективных решений

Параллельное использование нескольких похожих алгоритмов для одной цели, с учётом их особенностей и слабых/сильных сторон, позволяет более качественно решать поставленную задачу. Однако влечёт необходимость существования некоторых правил по принятию коллективного решения. Под коллективом понимается группа методов, работа которых происходит параллельно. В данной задаче таким коллективом является набор методов по детектированию границы в количестве двух штук.

Пусть  $X$  – конечное множество альтернатив. Под альтернативой будем понимать допустимый вариант разрешения поставленной задачи с набором числовых значений частных критериев качества данного решения. Считается, что группа лиц, принимающая решение состоит из  $m$  экспертов и определены

предпочтения каждого эксперта на множестве альтернатив  $X$ . Под предпочтением  $i$ -го эксперта понимается набор данных о ранжировании всех рассматриваемых альтернатив. Под коллективным решением понимается некое групповое предпочтение  $\phi$  на множестве  $X$ , полученное на основе обработки частных предпочтений всех экспертов, принимающих решение. Проанализируем основные модели принятия коллективных решений.

Одной из простейших и наиболее часто встречающихся на практике является модель Кондорсе [4]. Концепция данной модели состоит в следующем. На основании полученных от экспертов данных о ранжировании для каждой пары альтернатив  $x_j, x_k$  подсчитывается число экспертов  $l(x_j, x_k)$  считающих альтернативу  $x_j$  более предпочтительной, чем  $x_k$ . Если  $l(x_j, x_k) > l(x_k, x_j)$ , то альтернатива  $x_j$  признается более предпочтительной  $x_k$ . Наилучшей альтернативой объявляется такая альтернатива  $x_j$ , для которой выполняется следующее неравенство:

$$l(x_j, x_k) \geq l(x_k, x_j) \quad k=1..n; j \neq k. \quad (9)$$

Слабой стороной описанного метода является то, что он не всегда обеспечивает достаточность при определении наилучшего выбора с помощью непосредственного подсчета голосов экспертов по правилу большинства (могут возникнуть неоднозначные ситуации, в которых наблюдается две равноправных альтернативы). Такие ситуации могут быть разрешены путём применения других, более сложных алгоритмов принятия коллективного решения.

В контексте разрабатываемого алгоритма, множество альтернатив будут два решения: наличие и отсутствие границы для каждого обрабатываемого элемента ребра или диагонали суперпикселя. В данном случае группой, принимающей решение является набор алгоритмов, производящих детектирование границ.

В данном алгоритме применён метод Кондорсе, как самый простой и позволяющий быстро принять групповое решение нескольких алгоритмов детектирования. Возможно использование различных методов принятия решения таких правил Коплендера, Борда или Симпсона.

## **4. Программная реализация**

### **4.1 Выбор среды разработки**

Для реализации алгоритма был выбран математический пакет MATLAB версии R2018b. Выбор именно среды разработки для реализации предложенного алгоритма сегментации обусловлен тем, что MATLAB сочетает в себе полноценный язык программирования, позволяющий реализовать любые алгоритмически сложные конструкции, а также включает в себя множество различных библиотек и функций для работы с медицинскими изображениями. В том числе возможность эффективно работать с файлами формата DICOM и NRRD, в которых в за частую хранятся данные КТ и МРТ.

MATLAB (Matrix Laboratory) — пакет прикладных программ, предназначенных для решение инженерных задач, математического и статистического моделирования, технических вычислений. MATLAB также включает в себя одноимённый язык программирования, который является ключевой составляющей этого пакета. Концепции языка MATLAB были сформулированы и реализованы деканом факультета компьютерных наук Кливом Моулером в конце семидесятых годов прошлого века в университете Нью-Мексико. Целью разработки было дать студентам университета возможность использовать программные библиотеки LINPACK и EISPACK без надобности освоения синтаксиса и особенностей языка FORTRAN.

Ядро MATLAB позволяет максимально просто и быстро работать с матрицами реальных, комплексных и аналитических типов данных и структурами данных и таблицами поиска. Особенностью матричных операций является возможность использовать срезы, а также индексировать матрицы массивами индексов. MATLAB предоставляет синтаксические и функциональные возможности для работы в парадигме ООП. Также есть все необходимые операторы и синтаксические конструкции для быстрого написания сложных ветвящихся и циклических алгоритмов. Среда разработки содержит все

необходимые инструменты для эффективного поиска и устранения ошибок в коде, включая средства отладки и профайлинга.

Язык пакета является интерпретируемым, по этой причине скорость выполнения программного кода в этой среде разработки гораздо ниже чем в компилируемых языках программирования, таких как C++. Однако, неоспоримым преимуществом MATLAB перед C++ является независимость от платформы на которой запускается код. Главное условие запуска пакета MATLAB и его интерпретатора есть наличие JVM (Java Virtual Machine).

Для визуализации данных было выбрано стандартное расширение «Image Processing Toolbox». Обширный набор функций для работы с интерполяцией, аппроксимацией и сплайнами реализован в библиотеке «Curve Fitting Toolbox». Именно его решено было использовать для реализации сплайн интерполяции внешнего и внутренних контуров.

Для хранения медицинских графических данных обычно используется специальный формат DICOM. Он позволяет хранить одно или несколько изображений, в том числе видеоряд. Формат данных позволяет записывать в файл данные разной размерности, начиная от одиночного чёрно-белого двумерного изображения, заканчивая трёхмерным видеорядом. Также в файле с изображением содержатся специальные теги и данные об обследуемом пациенте (Фамилия, Имя, Отчество, Дата рождения, Дата обследования и т.д.).

## **4.2 Интерфейс и особенности программной реализации**

Предложенный в работе алгоритм сегментации был реализован в виде функции, которая принимает на вход следующие параметры:

- изображение;
- координаты начальной точки региона;
- начальный и минимальный размер суперпикселя;
- структура с дополнительными параметрами для секции алгоритмов детектирования границы на рёбрах и диагоналях суперписеля.

Входное изображение должно являться двумерной матрицей целочисленных или вещественных элементов. Диапазон значений каждого элемента матрицы должен быть от 0 до 255 включительно для целых чисел и от 0 до 1 для вещественных соответственно.

Координаты начальной точки используются для выращивания региона из суперпикселей. Это два целых числа: номер столбца и строки соответственно. Координаты должны быть целочисленными и валидными для переданного входного изображения.

Начальный и минимальный размер суперпикселя. Два целочисленных значения, задающие последовательность использования суперпикселей для выращивания региона. Размеры должны быть положительными, и быть элементами одной геометрической прогрессии со знаменателем равным двум.

Дополнительные параметры для алгоритмов детектирования границ, такие как параметр  $K$  для одномерного “Region Growing”, модуль предельного значения тангенса угла наклона т.д.

Результатом работы функции является не бинарная маска, как у классических алгоритмов сегментации, а массив замкнутых контуров, каждый из которых представлен структурой с коэффициентами кусочной сплайн-функции. В массиве первым контуром находится внешний контур, а все последующие – внутренние, если таковые имеются. В случае если внутренних контуров нет, то результатом будет является одна структура внешнего контура.

Таким образом интерфейс входной функции алгоритма представлен в следующем виде:

```
function [outputSplines] = SquareSegmentation(img, startPoint,
maxSize, minSize, opts)
```

В теле функции реализована логика обхода внешних суперпикселей и проверка на возможность добавления новых. Структура текущего состояния региона представлена в виде карты, которая представлена двумерной матрицей и содержит идентификаторы суперписелей и их координаты.

Построение сплайн-контуров по карте суперпикселей реализовано в функции `GetSplineContours(...)`. Работа этой функции основана на принципе обхода всех внешних суперпикселей и определении точек пересечения рёбер суперпикселя с границами сегментируемой области. Затем последовательность полученных точек обрабатывается встроенной функцией `cscvn(...)` из библиотеки «Curve Fitting Toolbox» для построения сплайна.

Полный листинг реализованного алгоритма, а также скриптов для его тестирования на различных выборках представлен в Приложении Б.

## 5. Тестирование

Для проверки функционирования алгоритма сегментации проводится отладка и тестирование. В процессе отладки происходит поиск логических ошибок в исходном коде и их устранение, а в процессе тестирования происходит оценивание работоспособности программного обеспечения с учётом различных критериев. Целью тестирования является выявление вероятности того, что приложение будет работать правильно при любых обстоятельствах, а также проверка соответствия реализованного продукта поставленным требованиям.

### 5.1 Метрики оценки точности

Одним из простейших и действенных способов оценки точности сегментации является коэффициент сходства Жаккара  $K_J$ , который можно вычислить по соответствующей формуле (10). Этот коэффициент вычисляется как соотношение мощностей двух множеств, каждое из которых содержит элементы входящие в сегментированную область. В контексте обработки цифровых изображений, под мощностью множества понимается площадь или величина пропорциональная ей – количество пикселей, которую занимает эта область.

$$K_J = \frac{n(A \cap B)}{n(A \cup B)}, \quad (10)$$

где:

- А – результат сегментации алгоритмом;
- В – размеченная профессиональным врачом маска с которой производится сверка результата.

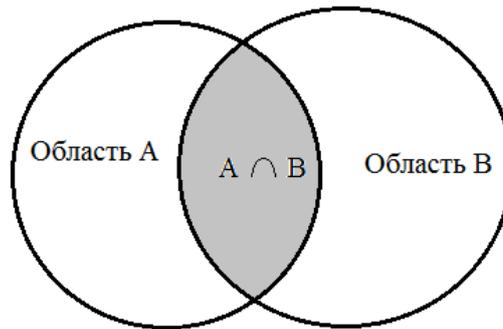


Рисунок 9 – Диаграмма Эйлера двух множеств

Также существует мера сходства Сёренсена-Дайса, которая может быть выражена следующим образом:

$$K_D = \frac{2n(A \cap B)}{n(A) + n(B)}. \quad (11)$$

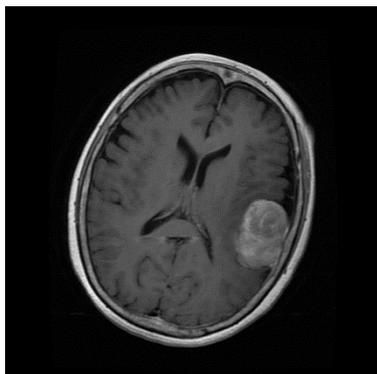
При тестировании предложенного алгоритма был использован критерий Сёренсена-Дайса, т. к. именно он наиболее часто используется для оценки точности сегментации.

## 5.2 Материалы

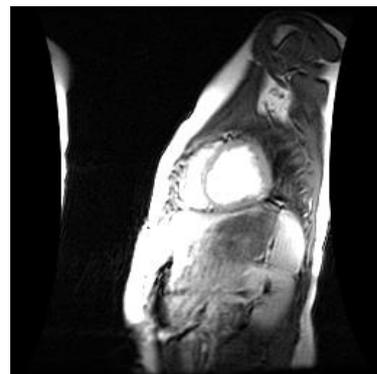
Для разработки и проверки предложенного метода использовался набор данных открытого доступа. Первый из них был предоставлен Йоркским университетом (Йорк, Великобритания) и содержит 33 МРТ сердечных камер [25]. Каждый набор данных состоял из 20 кадров и 8-15 слайсов размером  $256 \times 256$  пикселей вдоль длинной оси. Два кардиохирурга вручную размечали контуры на изображениях всего набора данных.

В качестве второго источника данных использовался набор изображений опухоли головного мозга. Набор данных был скомпилирован в Южном медицинском университете (Гуанчжоу, Китай). Размер каждого кадра составляет  $512 \times 512$  пикселей. Были изучены три типа данных опухоли головного мозга: менингиома, глиома и опухоль гипофиза [26], [27]. Примеры изображения сердца и мозга, показанного на рисунке Рисунок 10. Наборы данных были

обработаны на компьютере с процессором Intel Core i7-4820K 3,7 ГГц и видеокартой NVIDIA GeForce 960 GT.



(a)



(б)

Рисунок 10 - Опухоли головного мозга с улучшенной контрастностью (а), данные МРТ сердца (б),

## 6. Результаты

### 6.1 Точность алгоритма

Как было описано выше, была использована выборка Университета Йорка для тестирования разработанного алгоритма. Примеры исходного изображения, а также результат сегментации, представлены ниже (Рисунок 11). Выборка представляет собой данные МРТ внутренних структур сердца.

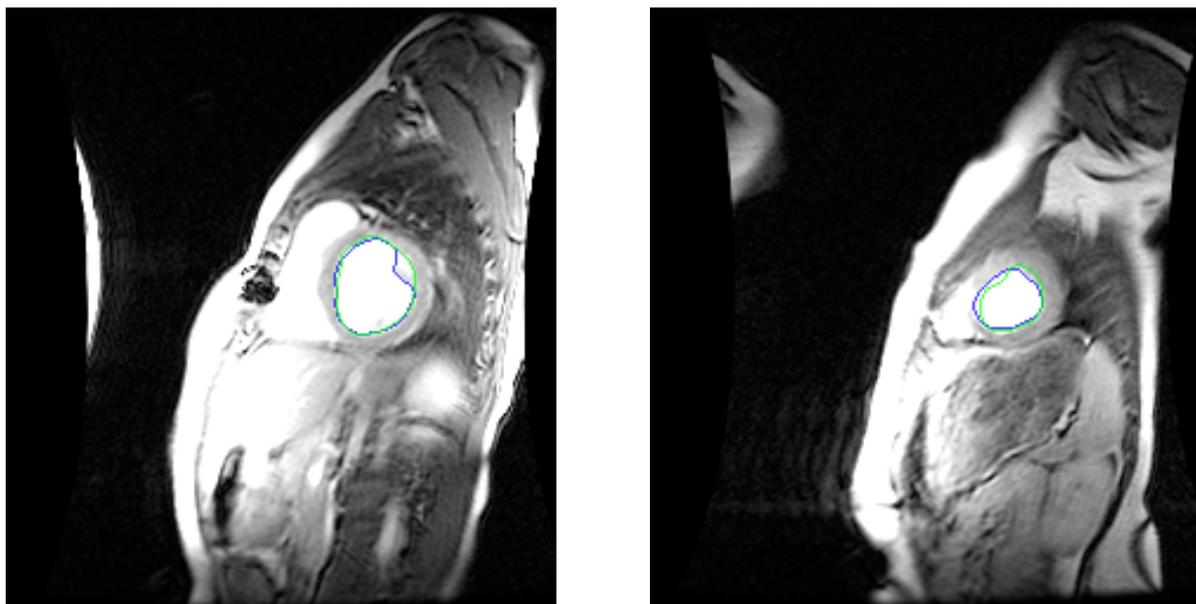


Рисунок 11 - Результат сегментации левого желудочка сердца разработанным алгоритмом (синий контур) и ручная разметка специалистом (Зелёный контур)

Набор данных состоит из 156 изображений. Разработанный алгоритм был сравнён с классическим алгоритмом сегментации выращивания регионов. Результаты по точности с различными параметрами размеров суперпикселей представлены на рисунке Рисунок 12. Подсчёт статистики точности проводился только для тех результатов, точность которых превышала значение 0,5. Случаи, когда точность сегментации меньше 0,5 являются результатом ненормальной работы алгоритма. Это ситуации, вызванные «утечкой» выращиваемого алгоритма через сильно размытые и/или зашумлённые области на изображении. Зависимость количества таких от конфигурации суперпикселей случаев отдельно рассмотрено на рисунке Рисунок 13.

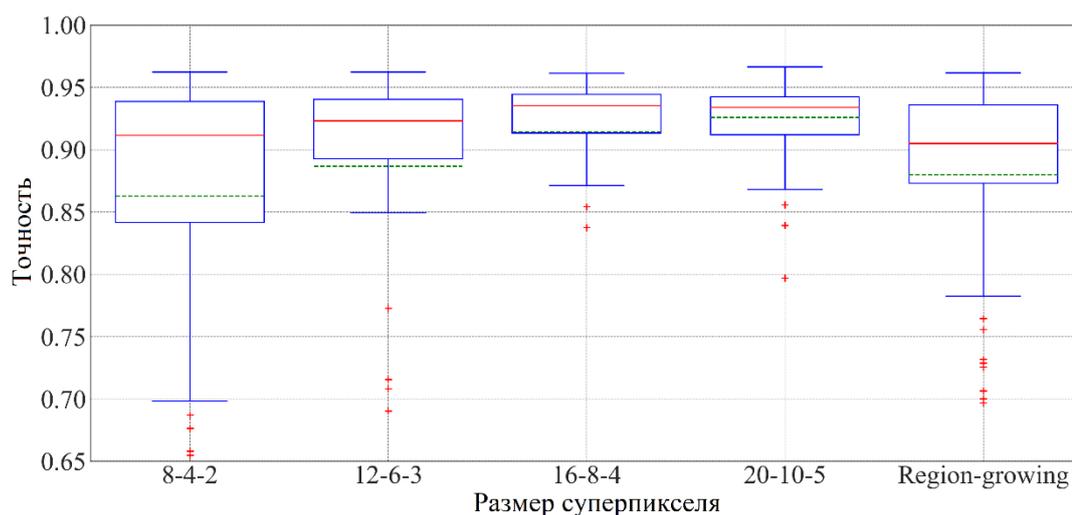


Рисунок 12 - Результаты тестирования с разными размерами суперпикселей

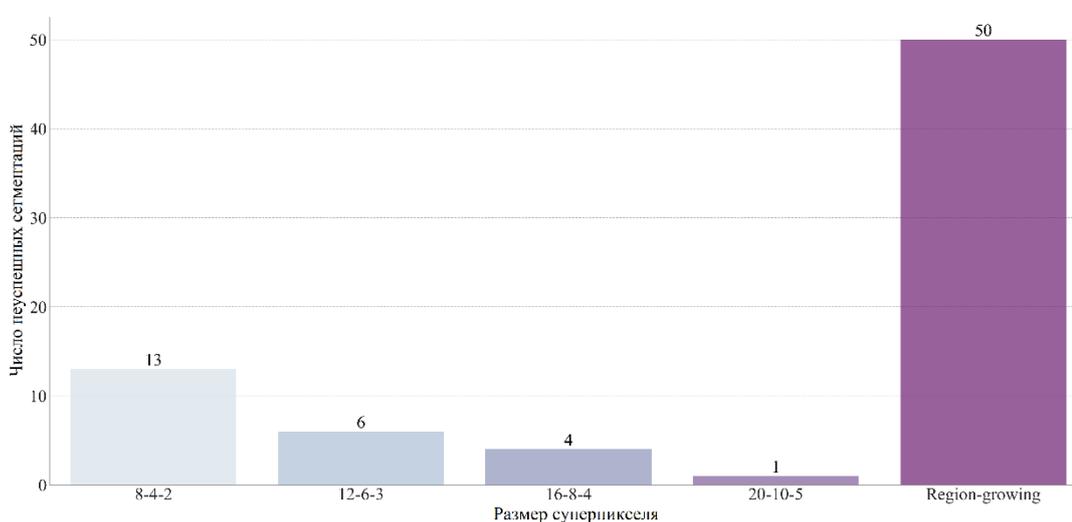


Рисунок 13 - Влияние размера суперпикселей на «утечку» региона

Анализируя результаты, можно сказать что стабильность поведения алгоритма напрямую зависит от суперпикселя. Чем больше минимальный размер суперпикселя, тем стабильнее работает алгоритм и вероятность неконтролируемого распространения региона ниже. Таким образом, использование суперпикселя, вместо пиксельной сегментации классическим алгоритмом, является более эффективным подходом.

Также важно отметить, что использование серии методов для детектирования границы положительно сказывается на стабильности поведения и точности алгоритма.

Применение суперпикселя большого размера в качестве начального также не всегда оправдано. Это влечёт за собой возникновение ситуаций, когда размещение первого суперпикселя невозможно, потому что он пересекает границу сегментируемой области. Гистограмма распределения таких случаев в зависимости от размера суперпикселей представлена на рисунке Рисунок 14. Очевидно, что классически алгоритм выращивания регионов такими недостатками не обладает.

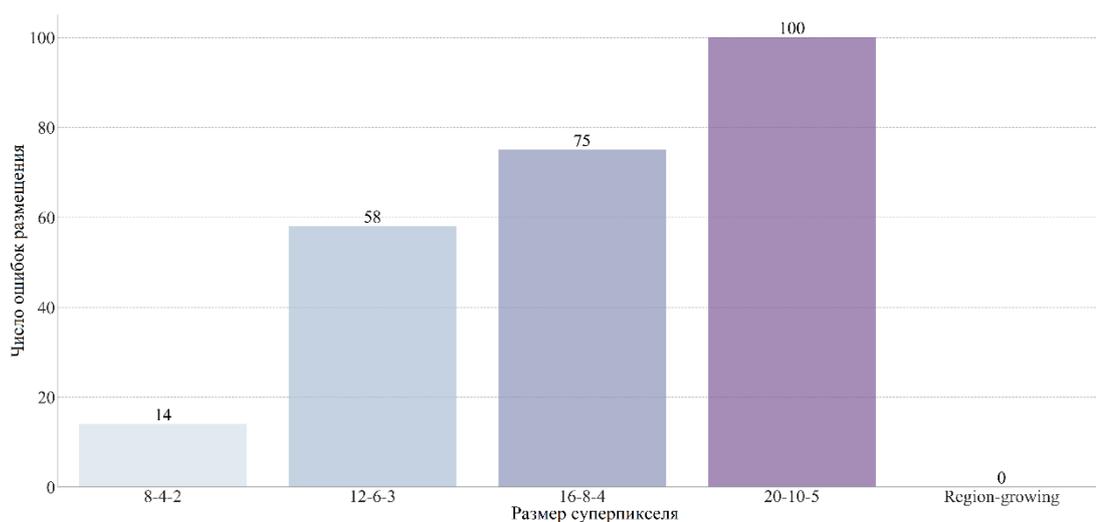


Рисунок 14 - Гистограмма, отражающая число неудачных попыток постановки первого суперпикселя

Аналогичные результаты по тестированию алгоритма на второй выборке (МРТ головного мозга) представлены на соответствующих рисунках ниже (Рисунок 15, Рисунок 16, Рисунок 17, Рисунок 18).

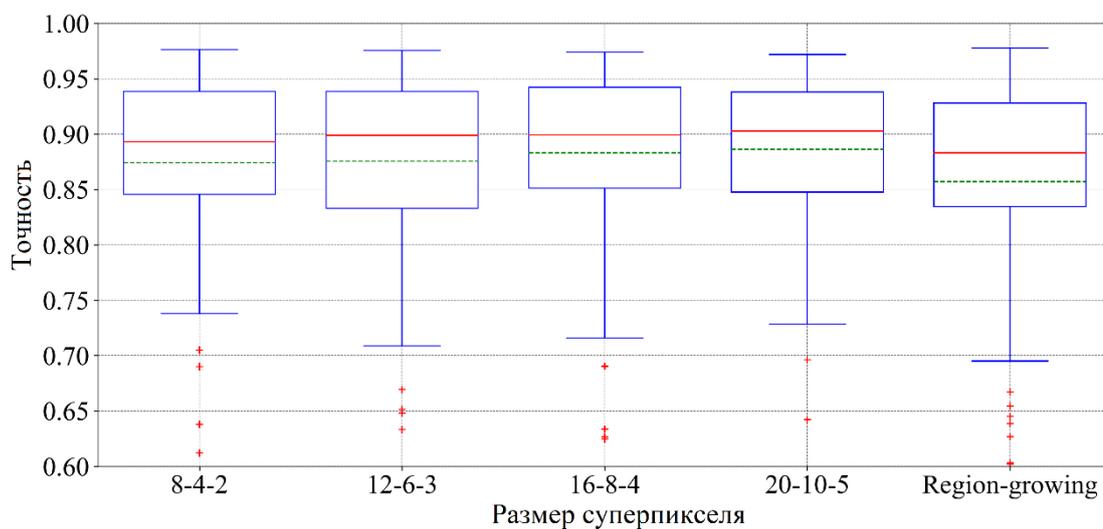


Рисунок 15 - Результаты тестирования для различных последовательностей суперпикселей

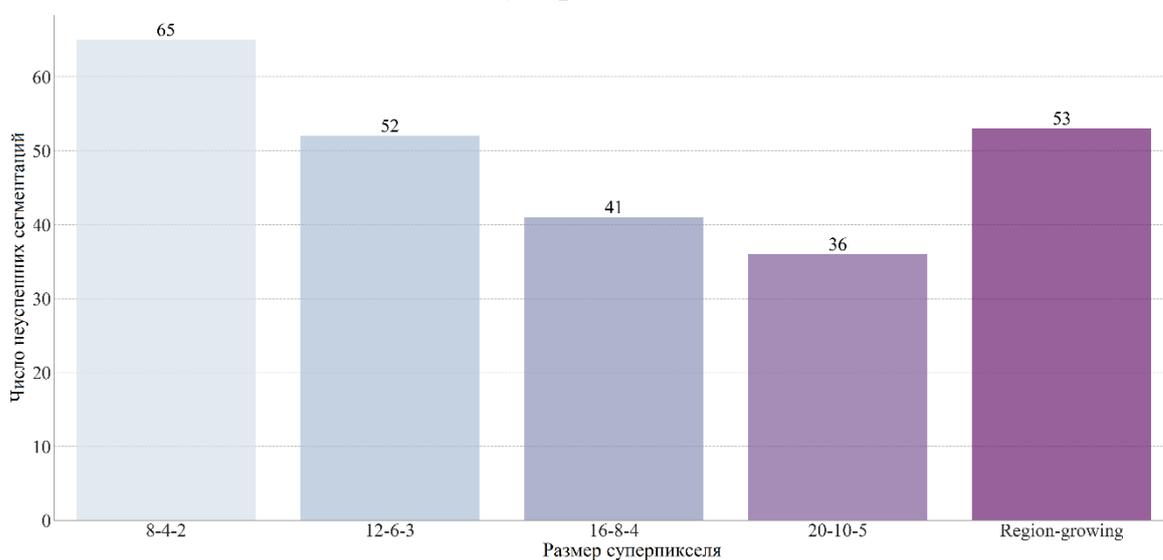


Рисунок 16 - Гистограмма случаев «утечки» региона в зависимости от размеров суперпикселей

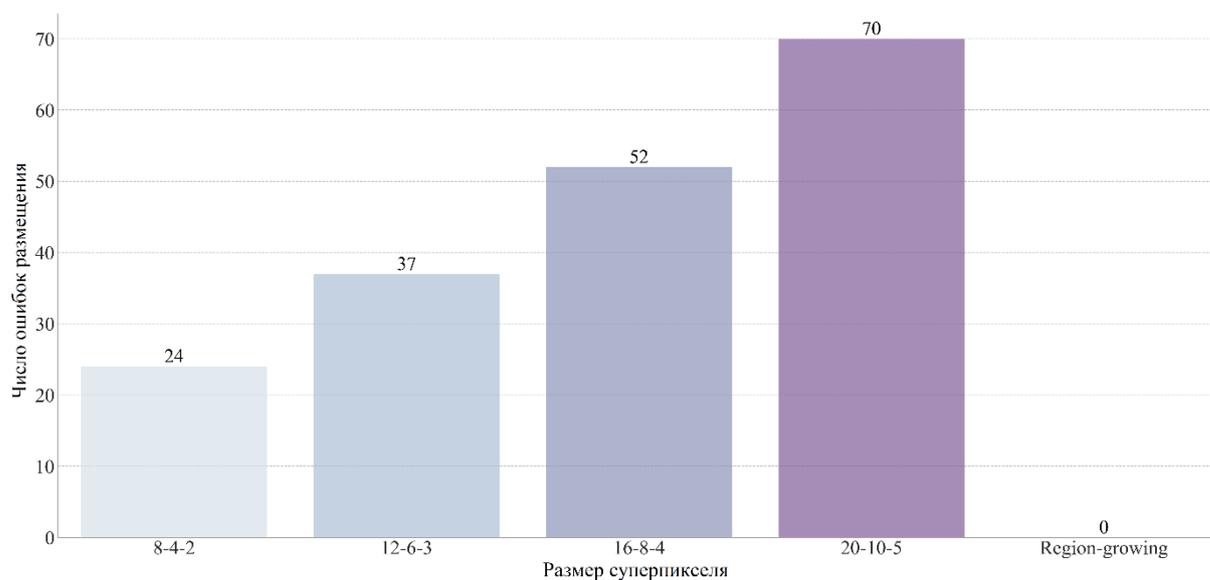


Рисунок 17 - Гистограмма, отражающая число неудачных попыток постановки первого суперпикселя

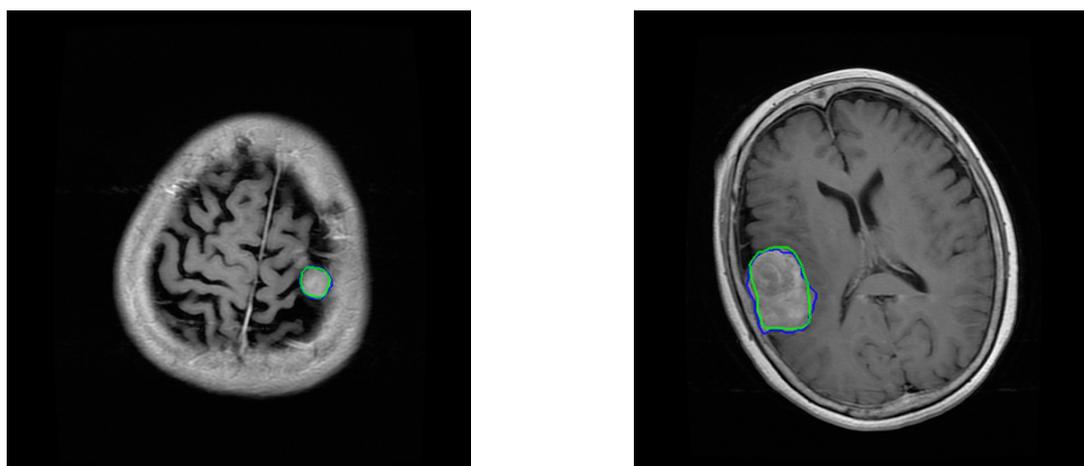


Рисунок 18 – Примеры сегментации: разработанным алгоритмом (синий контур) и ручная разметка специалистом (Зелёный контур)

Таким образом точность алгоритма на двух выборках составляет  $94\pm 2\%$  и  $93.5\pm 6.1\%$  соответственно.

## 6.2 Скорость выполнения алгоритма

Для оценки скорости выполнения алгоритма было сгенерировано искусственное изображение квадратного размера. Изображение представляет

собой белый круг на чёрном фоне. Тестирование проводилось на различных размерах изображения (от 500×500 до 2000×2000). Очевидно, что точность на таких данных будет максимальная. Зависимость времени выполнения от размера входного изображения и конфигурации суперпикселей представлена на Рисунок 19. Как видно, оба алгоритма обладают асимптотической сложностью  $O(n^2)$ . Однако, классический алгоритм в разы медленнее предложенного (Рисунок 20).

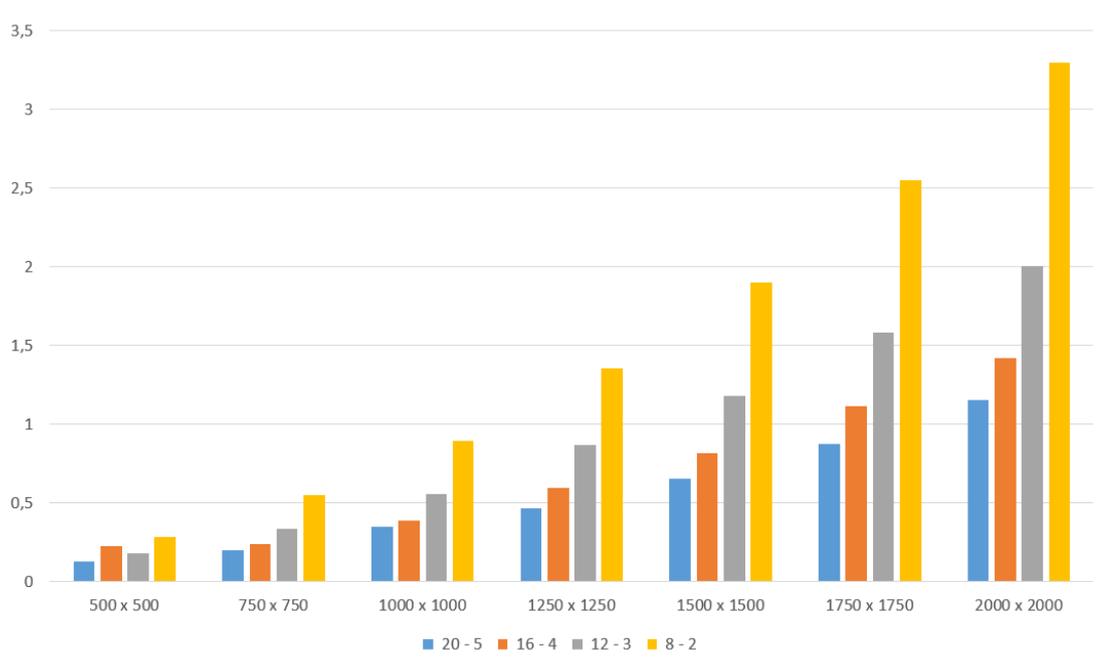


Рисунок 19 - Оценка времени выполнения в секундах для разных разрешений и последовательностей суперпикселей алгоритма

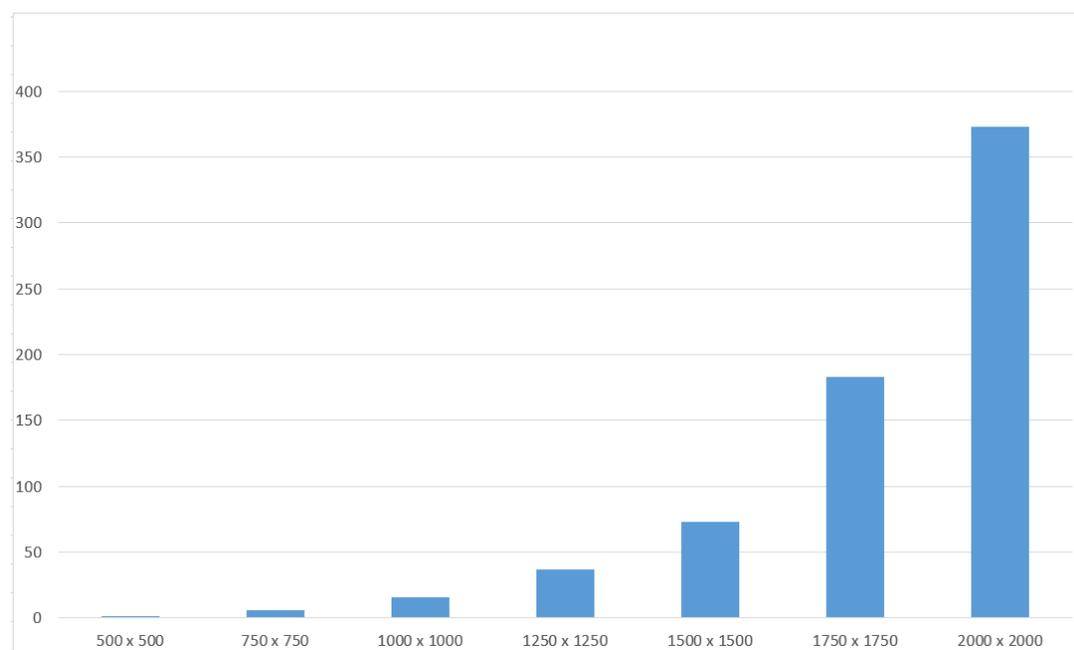


Рисунок 20 - Оценка времени выполнения в секундах для классического алгоритма выращивания регионов

## 7. Обсуждение результатов

Представленный алгоритм имеет некоторые особенности, которые стоит обсудить. Первым является минимальный размер суперпикселя, который оказывает прямое влияние на его неустойчивое поведение и выход за границы сегментируемой области. Большой размер суперпикселя увеличивает надёжность алгоритма, но в тоже время результирующий контур становится менее детализированным и более гладким. Это вызвано более разреженными точками по которым осуществляется построение сплайн-контура. При этом возможна потеря точности результата и увеличение скорости выполнения (Рисунок 21). Примеры с нестабильной работой алгоритма показаны на рисунке Рисунок 22

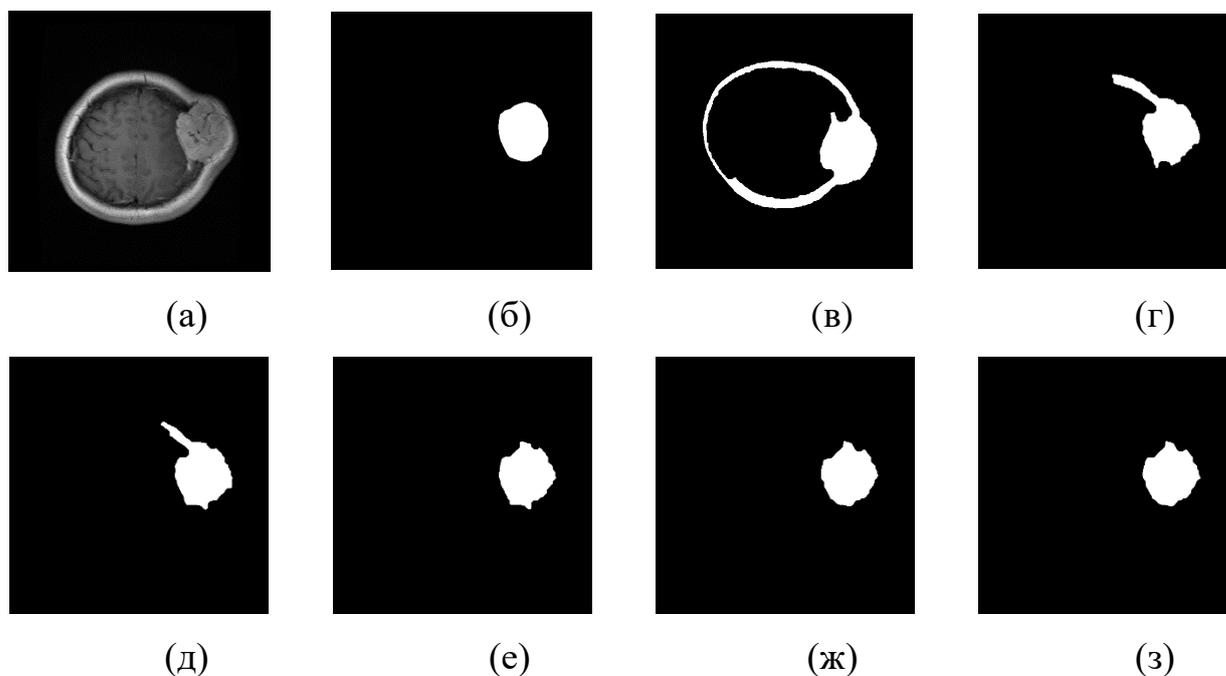


Рисунок 21 - Пример сегментации опухоли мозга различными конфигурациями суперпикселей: исходное изображение (а), размеченная маска (б), классический алгоритм (в), 8-4-2 (г), 12-6-3 (д), 16-8-4 (е), 10-5 (ж), 20-10-5 (з)

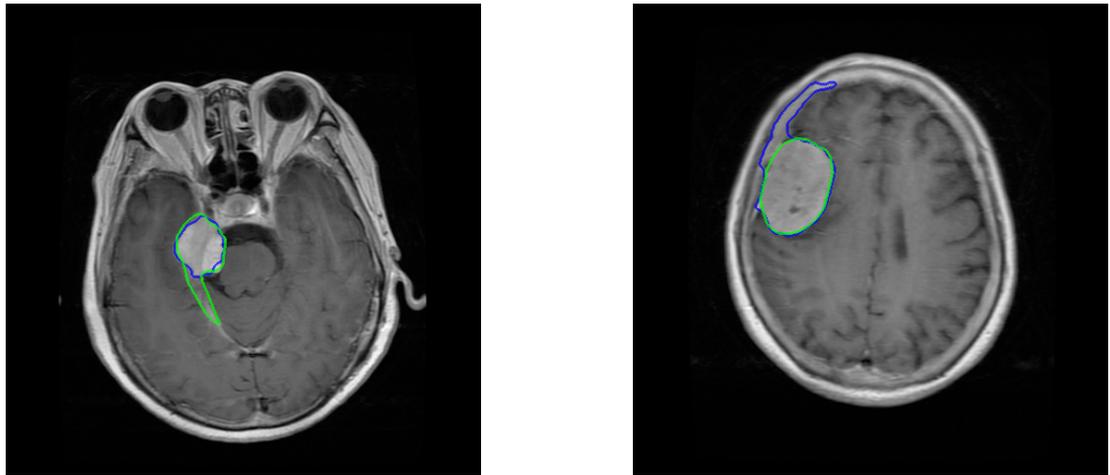


Рисунок 22 - Примеры сегментации: разработанным алгоритмом (синий контур) и ручная разметка специалистом (Зелёный контур)

Фактором, влияющим на общую скорость алгоритма, является начальный размер суперпикселя и последовательность их смены в целом. Увеличение этой величины приводит к ускорению сегментации. С другой стороны, этот размер должен быть выбран с учётом специфики сегментируемых объектов таким образом, чтобы хотя бы один суперпиксель этого размера мог быть размещён. В противном случае построение адекватного контура не представляется возможным.

Следующая особенность алгоритма – аналитический вид результата сегментации. Представление выходного контура в виде набора кусочных функций может быть гораздо предпочтительней, чем бинарная маска сегментации.

Преимуществом предложенного метода является его масштабируемость. Основная концепция алгоритма применима для сегментации трёхмерных данных, например ЭхоКГ.

Возможности по увеличению скорости работы алгоритма не исчерпаны полностью. Применение распараллеливания обработки суперпикселей на CPU/GPU может в разы увеличить скорость обработки.

Повышение точности возможно за счёт улучшения блока детектирования границ:

1. наращивание количества методов детектирования;
2. улучшение стратегий принятия коллективных решений;
3. улучшение качества предобработки изображений.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8БМ71	Манакову Роману

<b>Школа</b>	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Информационных технологий
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Прикладная математика и информатика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	–Заработная плата (руководителя 24372 руб., магистра 101578 руб.) – Бюджет затрат НТИ 252 301 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на электроэнергию – 5.8 руб. за 1 кВт·ч
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	– Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 27.1 %.

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	– Сравнение с другими схожими материалами
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет</i>	– Иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – определение трудоемкости работ.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Бюджет научно-технического исследования: – расчет материальных затрат; – расчет основной платы исполнителей темы; – накладные расходы; – формирование бюджета затрат.

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

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

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8БМ71	Манаков Роман		

## **8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **8.1 Предпроектный анализ**

При осуществлении любой проектной и научно-исследовательской деятельности большую роль играет экономическое обоснование работ. Понятие «экономическое обоснование работ» включает в себя: определение потенциальных потребителей и сегмента рынка, сравнительный анализ предлагаемого решения по отношению к конкурентам, определение себестоимости разработки. Себестоимость проекта содержит в себе следующие статьи затрат: основная и дополнительная заработная плата участников проекта, затраты на необходимое оборудование и его амортизацию и прочие накладные расходы. Таким образом, происходит формирование бюджета научно - исследовательского проекта, в соответствии с календарным.

Потенциальные потребители результатов исследования

С целью выявления потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором в будущем будет продаваться разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Объектом исследования являются медицинские графические данные МРТ/КТ. Целью данного исследования является разработка, реализация и исследование алгоритма сегментации медицинских данных, основанного на принципе выращивания регионов с использованием суперпикселей, который был бы устойчив к зашумлённым данным и обладал высокими показателями по скорости работы и точности.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка услуг

		Организации		
		Исходный код алгоритма	Самостоятельное ПО	Научно-исследовательская работа
Сфера деятельности организации	Медицинские учреждения			
	Коммерческие компании по разработке ПО			
	Исследовательские центры, вузы, НИИ			

Из карты сегментирования услуг видно, что целевым рынком данного исследования будут исследовательские центры, высшие учебные заведения и научно-исследовательские институты, которым необходима научно-исследовательская работа в данном направлении и исходный код программной реализации алгоритма.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Рассмотрены два следующих конкурента.

$K_1$  – первый конкурент, это алгоритмы которые также основаны на принципах выращивания региона, однако не используют методы суперпиксельной сегментации.

$K_2$  – второй конкурент, это метод «Активных контуров» и его модификации.

$\Phi$  – разрабатываемый алгоритм.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес Вес критерия	Баллы			Конкуренто-		
		$B_{\Phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_{\Phi}$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8

<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Точность сегментации	0,4	4	4	4	1,6	1,6	1,6
2. Скорость сегментации	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
3. Применимость на сильно-зашумлённых данных	0,1	4	2	4	0,4	0,2	0,4
4. Устойчивость к размытым/неполным контурам	0,05	4	1	5	0,2	0,05	0,25
5. Возможности конфигурирования параметров	0,05	5	3	5	0,25	0,15	0,25
6. Простота реализации	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
7. Аналитический вид результата	0,05	5	1	5	0,25	0,05	0,25
8. Возможность распараллеливания на GPU.	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>32</b>	<b>4,3</b>	<b>3,3</b>	<b>3,8</b>

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки и эксплуатации.

Итогом данного анализа, можно сказать что разрабатываемый алгоритм конкурентоспособен и имеет ряд преимуществ, на фоне общепринятых методов сегментации изображений в медицине.

## **8.2 SWOT-анализ**

**SWOT** – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

В таблице 1 представлена матрица SWOT-анализа работы.

Таблица 3 - Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<p>С1. Высокая точность и достоверность результатов</p> <p>С2. Надёжность алгоритма</p> <p>С3. Скорость выполнения алгоритма</p> <p>С4. Автоматизация диагностики заболеваний</p>	<p>Сл1. Представленный алгоритм сегментации является полуавтоматическим</p> <p>Сл2. Необходимость наличия достаточного объёма оперативной памяти</p> <p>Сл3. Недостаточная функциональность для реализации его как отдельного ПО</p>
<b>Возможности:</b> В1. Доработка до автоматического	1. Развитие новой сверх быстрой и надёжной системы обработки данных.	1. Доработка до автоматического метода.

<p>В2. Уменьшение сложности алгоритма</p> <p>В3. Внедрение в уже существующие программные комплексы</p>	<p>2. Реализация системы обработки реального времени.</p>	<p>2. Реализация метода в виде библиотеки и продажа другим разработчикам</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на доработку</p> <p>У2. Узкая область применения</p> <p>У3. Появление конкурента</p> <p>У4. Усиление требований к медицинскому ПО</p>	<p>1. Скорость выполнения позволит адаптировать алгоритм для изображений высокого разрешения и применения в других отраслях.</p> <p>2. Анализ рынка потребителей.</p>	<p>1. Модификация алгоритма и расширение области применения</p> <p>2. Анализ конкурентоспособности и поиск новых сегментов рынка</p>

Проанализировав характер НТР можно сделать вывод, что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является стратегия совместной предпринимательской деятельности. Совместная предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими предприятиями партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей. Эта стратегия выбрана, так как необходимо найти стабильный рынок заказов и сбыта товара.

Данный прибор и метод ионизации находятся на стадии разработки. Ведутся подготовки к получению экспериментальных значений параметров пучка на данном приборе. Анализ показал, что данное устройство, наряду с

преимуществами имеет ряд недостатков, которые будут устранены на стадии доработки проекта.

## Инициация проекта

Инициация проекта состоит из процессов, которые выполняются для нового проекта или новой стадии проекта. Для этого определяются начальные цели, содержание, фиксируются ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта отображены в таблице 4.

Таблица 4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Разработчики ПО для работы с медицинскими изображениями 3D Slicer 3, МІТК	Реализация завершённого модуля сегментации для внедрения в информационные системы
ТПУ	Получение результатов разработки и исследования нового метода сегментации медицинских данных

В таблице 5 представлена информация о целях проекта, критериях достижения целей, а также требования к результатам проекта.

Таблица 5 – Информация о проекте

Цели проекта	Разработка, реализация и исследование алгоритма сегментации медицинских данных, основанного на принципе выращивания регионов с
--------------	--

	использованием суперпикселей, который был бы устойчив к зашумлённым данным и обладал высокими показателями по скорости работы и точности.
Ожидаемые результаты проекта	Реализованный модуль для сегментации медицинских изображений
Критерии приемки результата проекта	Точность Асимптотическая сложность алгоритма Надёжность
Требования к результату проекта	Точность не менее 90% Асимптотическая сложность алгоритма менее чем $O(n^2)$ Наличие технической документации Надёжность: число изображений с результатом точности 0.5 и ниже не более 3%.

Рабочая группа проекта отображена в таблице 6.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты в часах

место работы, должность			
Гергет О.М., ТПУ, кандидат техн. наук, доцент	Научный руководитель	Консультирование, постановка и формализация задач, контроль выполнения.	46,2
Манаков Р. ТПУ, ИШИТР, студент	Студент	Анализ литературных источников, разработка алгоритма, отладка, тестирование, доработка, оценка точности и времени выполнения.	666

### 8.3 Планирование управлением научно-технических проектом

Для организации и систематизации работы выпускника необходимо сформировать план работ. Данный этап предназначен для обеспечения своевременного и эффективного выполнения задания ВКР.

В таблице 7 представлен перечень этапов, работ и распределение исполнителей. В качестве исполнителей были выбраны следующие участники процесса:

- студент (С);
- научный руководитель (НР).

Таблица 7 – Основные этапы работ

<b>№ раб</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
1	Выбор темы ВКР	студент научный руководитель
2	Утверждение ТЗ	студент научный руководитель
3	Анализ литературы и выработка концептуальной модели алгоритма	студент научный руководитель
4	Выбор среды и инструментов разработки для реализации алгоритма	студент
5	Календарное планирование работ	научный руководитель студент
6	Детальная проработка концепции	студент
7	Выработка архитектурных решений для программной реализации	студент, Научный руководитель
8	Реализация алгоритма	студент
9	Отладка	студент
10	Тестирование и анализ результатов	студент, научный руководитель
11	Написание отчёта и оформление результатов исследования	студент
12	Защита работы	студент

В результате анализа определено 12 этапов работ, которые распределены на 2 исполнителя: студент и научный руководитель.

## 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  $t_{ож}$  используется следующая формула:

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

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

$t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

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

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

$T_{ВД}$  – выходные дни ( $T_{ВД} = 52$ );

$T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{ПД}} = 14$ ).

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,220$$

В таблице 4 приведен расчет определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. По показанию полученных величины трудоемкости этапов по исполнителям построен линейный график осуществления проекта, который представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Определение временных затрат на проект

№ работы	Продолжительность работ, дни			Исполнители	Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
	t <sub>min</sub> , чел -дни	t <sub>max</sub> , чел- дни	Тожи чел- дни		ТРД		ТКД	
					НР	С	НР	С
1	2	4	2,8	НР, С	1,4	1,4	1.7	1.7
2	3	5	3,8	НР, С	1,9	1,9	2.3	2.3
3	8	10	8,8	НР, С	4,4	4,4	5.3	5.3
4	4	6	4,8	С	0	4,8	0	5.9
5	3	4	3,4	НР, С	1,7	1,7	2.1	2,1
6	10	14	11,6	С	0	11,6	0	14,1
7	8	13	10	НР, С	10	10	12.2	12,2
8	24	29	26	С	0	26	0	31,7
9	26	33	28,8	С	0	28,8	0	35,1
10	6	10	7,6	НР, С	3,8	3,8	4.6	4,6

11	14	18	15,6	С	0	15,6	0	19
12	1	1	1	С	0	1	0	1.2
Итого			124,2		23,2	111	28,3	135,4

На основе полученных данных строится Диаграмма Ганта, которая наглядно отображает оптимальные сроки начала и окончания выполнения работ. Результат представлен в таблице 9 и рисунке 23.

Таблица 9 – План проекта с этапами работ и распределением исполнителей по их видам

Номер работы	Название	Длительность, дни	Дата начало работ	Дата окончания работ
1	Выбор темы ВКР	2	11.01.2019	12.01.2019
2	Утверждение ТЗ	2	13.01.2019	14.01.2019
3	Анализ литературы и выработка концептуальной модели алгоритма	5	15.01.2019	19.01.2019
4	Выбор среды и инструментов разработки для реализации алгоритма	6	20.01.2019	25.01.2019
5	Календарное планирование работ	2	26.01.2019	27.01.2019

6	Детальная проработка концепции	14	28.01.2019	10.02.2019
7	Выработка архитектурных решений для программной реализации	12	11.02.2019	22.02.2019
8	Реализация алгоритма	32	23.02.2019	26.03.2019
9	Отладка	35	27.03.2019	30.04.2019
10	Тестирование и анализ результатов	5	1.05.2019	5.05.2019
11	Написание отчёта и оформление результатов исследования	19	6.05.2019	24.05.2019
12	Защита работы	1	6.06.2019	6.06.2019

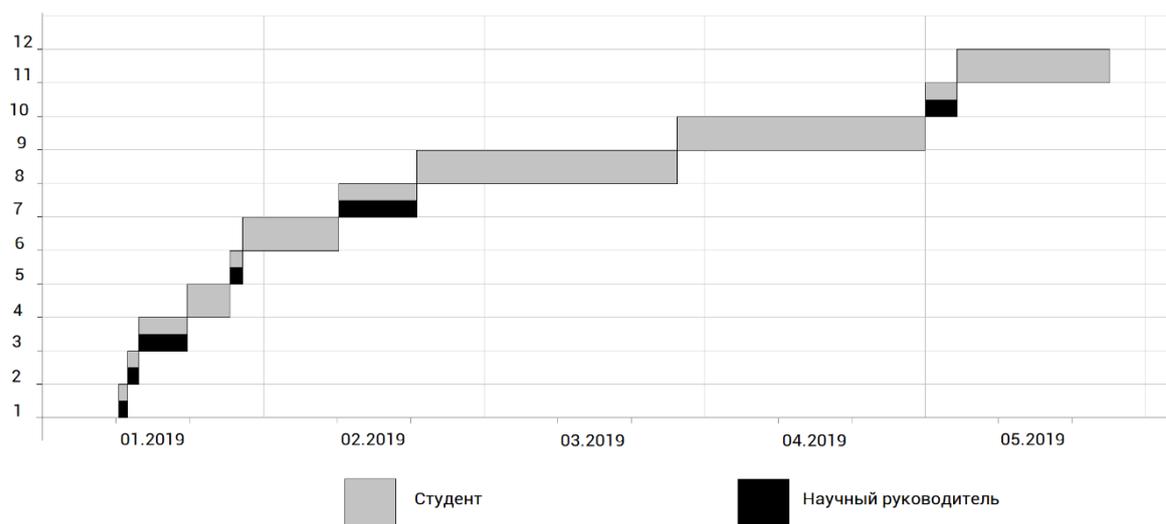


Рисунок 23 - Диаграмма Ганта

#### 8.4 Бюджет научно-технического исследования

Формирование бюджета для выполнения научно-технического исследования складывается из следующих статей:

- материальные затраты;
- оборудование для научного исследования;
- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

##### Затраты на материалы

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Расчет затрат на материалы приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт затрат на материалы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	Лист	110	2	220
Итого				220

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Расчет затрат на спецоборудование для научных работ представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Затраты на оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Компьютер	шт	1	85000	17000 (амортизация за 5 мес., срок)

				эксплуатации 25 мес.)
Принтер	шт	1	8550	8550
Годовая лицензия пакета MATLAB	шт	1	8130	8130
Итого				33680

### Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 10.

Рассчитаем основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (7)$$

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

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (10-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (8)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. Дн. (табл. 3);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

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

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

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.. Баланс рабочего времени представлен в таблице 12.

Таблица 12 - Баланс рабочего времени

<b>Показатели рабочего времени</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Магистр</b>
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	48
- отпуск		

- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (10)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по окладу, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{зп}$ , руб.
Руководитель	33664	0,3	0	1,3	56892	2357	7,7	18148,9	1814,89	19963,79
Магистр	12664	0	0	1,3	16463	682	111	75702	7570,2	83272,2
<b>Итого <math>Z_{осн}</math></b>										<b>103236</b>

\*Дополнительная з/п 10% от основной для руководителя и инженера.

Итого суммарные затраты на заработную плату всем участникам проекта составляют 103236 рублей.

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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Результаты расчета отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 14.

Таблица 14. Отчисления во внебюджетные фонды

	Научный руководитель	Судент
Заработная плата, руб.	19963,79	83272,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
<b>Итого</b>	<b>27976,95</b>	

Общая сумма отчислений во внебюджетные фонды участников проекта составила 27976,95 рублей.

#### Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда

административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйственного имущества, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы составляют 30 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (103236) = 30970,8 \text{ руб.}$$

Прочие затраты

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} * P * F_{\text{об}},$$

где  $C_{\text{эл}}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5.8 руб. за 1 кВт·ч);  $P$  – мощность оборудования, кВт;  $F_{\text{об}}$  – время использования оборудования, ч.

Потребляемая мощность ПК 650 Вт. За чистое время работы ПК возьмём 111 дней по 6 часов. Итого 666 часа. Итого Стоимость электроэнергии равна  $5,8 * 0,65 * (124 * 6) = 2510$  рублей.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	220
2. Затраты на оборудование	33680
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	103236
4. Отчисления во внебюджетные фонды	27976,95
5. Прочие прямые затраты (электроэнергия)	2510
6. Накладные расходы	30970,8
<b>Бюджет затрат НТИ</b>	<b>198593,8</b>

### 8.5 Реестр рисков

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу была сведена в таблицу 16.

Таблица 16 - Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность	Влияние	Уровень риска *	Способы смягчения риска

1	Потеря данных	Необходимость начинать всё сначала	1%	Крайне негативное	Низкий	Использование облачных технологий и репозитории в Git
2	Низкие показатели алгоритма по точности и скорости выполнения	Слабая конкурентоспособность разработки	30%	Некритичное	Выше среднего	Изначальная оптимизация кода, правильный подход к проектированию и оценке сложности алгоритма
3	Поломка компьютера	Возможность потери данных и отставание от графика	5%	Среднее	Низкий	Наличие нескольких ПК
4	Отставание от сроков	Дополнительные финансовые затраты	60%	Большое	Высокий	Использование дополнительного времени

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат научного исследования (таблица 10). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (14)$$

где  $I_{\text{финр}}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_p$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Стоимость НТИ составляет 198593,8 рублей, следовательно:

$$I_{\text{финр}} = \frac{198593,8}{300000} = 0,661$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки составила 0,655, что отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_p = \sum a * b, \quad (15)$$

где  $I_p$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a$  – весовой коэффициент;

$b$  – бальная оценка, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 17

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Оценка выполнения
1. Автоматизация труда	0,35	5
2. Функциональная мощность	0,13	4
3. Удобство в эксплуатации и конфигурируемость	0,23	5
4. Потребность в ресурсах памяти	0,17	5
5. Устойчивость алгоритма	0,22	4
ИТОГО	1	

$$I_p = 5*(0,35+0,23+0,17)+4*(0,13+0,22)= 4,65;$$

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

$$I_{исп} = \frac{I_p}{I_{финр}} \quad (16)$$

$$I_{исп} = \frac{4,65}{0,661} = 7,03$$

Полученное значение интегрального показателя эффективности исполнения разработки превысил максимальный балл в системе оценивания. Это говорит о том, что результат работы можно считать положительным, так как оценка интегрального показателя ресурсоэффективности близка к максимальной.

## **8.6 Общий вывод по разделу**

Результатом научно-исследовательской работы является алгоритм сегментации, реализованный в программной среде MATLAB. Данный проект предполагает получение экономической, социологической и ресурсной эффективности.

Также была распланирована структура работ проекта и определены ответственные должности для их выполнения. В соответствии с назначенными работами была рассчитана их трудоемкость и составлен график работ (диаграмма Ганта). Общая длительность проектирования и разработки программного продукта составила 111 рабочих дней.

Общий бюджет НИИ составил 198593,8 рублей. Он включает в себя затраты на основную и дополнительную заработную плату работников, материальные затраты, отчисления на внебюджетные фонды и накладные расходы.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8БМ71	Манакову Роману

<b>Школа</b>	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Информационных технологий
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	01.04.02 Прикладная математика и информатика

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

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, рабочая зона) и области его применения	Разработка и исследование алгоритма выращивания регионов для сегментации медицинских данных
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	1. Специальные правовые нормы трудового законодательства; 2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
<b>2. Производственная безопасность</b> 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	<b>Вредные факторы:</b> 1. Отклонения показателей микроклимата; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Превышение уровня шума; 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений; <b>Опасные факторы:</b> 1. Электрический ток 2. Опасность возникновения пожара
<b>3. Экологическая безопасность</b>	Источники выбросов в атмосферу; Образование сточных вод и отходов. Мероприятия по снижению вредного воздействия на ОС
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Вероятные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения и меры по их предупреждению

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8БМ71	Манаков Роман		

## 9. Социальная ответственность

В данном разделе проанализированы проблемы, связанные с организацией рабочего места инженера – программиста в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности, охраны труда и окружающей среды. Все вышеупомянутые аспекты регламентируются рядом соответствующих документов.

Рабочая зона программиста – офисное помещение, рабочее место – компьютерный стол с персональным компьютером.

Инженеру - программисту необходимо реализовать алгоритм для сегментации медицинских данных. Сегментация представляет собой выделение нужной области интересов на изображении и локализация её границ. Алгоритмы сегментации различают по скорости работы, требовательности к памяти компьютера и набору входных данных. Разработанный метод может быть полезен для сотрудников медицинских учреждений, работающих со снимками КТ/МРТ, а также ультразвуковыми данными эхокардиографии. В данном разделе представлены вредные и опасные факторы, которые оказывают негативное влияние на организм разработчика программного обеспечения при выполнении работы за персональным компьютером. Так же описаны ЧС, которые могли случиться на рабочем месте и действия, которые необходимо выполнить в случае их возникновения.

Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера-программиста

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003 - 74) [28]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за персональным компьютером	1) Повышенный уровень шума на рабочем месте;	1) Повышенный уровень	1) Шум. Общие требования безопасности

<p>в офисном помещении</p>	<p>2) повышенная или пониженная влажность воздуха;</p> <p>3) отсутствие или недостаток естественного света;</p> <p>4) повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>5) повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</p> <p>6) недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>7) статические физические перегрузки;</p> <p>8) умственное перенапряжение</p> <p>9) монотонность труда.</p>	<p>статического электричество;</p> <p>2) короткое замыкание;</p> <p>3) опасность поражения эл.током</p>	<p>устанавливаются ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ [29].</p> <p>2) Показатели микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.2.548-96 [30].</p> <p>3) Нормы освещения устанавливаются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [31]. 4) Допустимые уровни напряженности электростатических полей устанавливается ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ [32].</p> <p>5) ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [34].</p> <p>6) Электробезопасность устанавливается по ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ [33].</p>
----------------------------	--	---	---

			7) ГОСТ 12.0.003-74 8) ГОСТ 12.0.003-74 9) ГОСТ 12.0.003-7
--	--	--	--

### 9.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте

На рабочем месте инженера-программиста в офисном помещении, исходя из ГОСТ 12.1.003–83\*2+, действует постоянный шум. Шум возникает в помещении кондиционерами и вентиляторами при охлаждения нагреваемых частей ЭВМ и т.д. Основной характеристикой шума является уровень звукового давления в активной полосе частот.

Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость и т. д. При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ \*2+. Допустимый уровень шума для работы программиста представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Предельно допустимые уровни звукового давления по ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ

Вид трудовой деятельности/ Частоты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, программистов вычислительных машин и т.д.	86	71	61	54	49	45	42	40	38

Если уровень шума в помещении выше допустимого, то необходимо принимать меры по снижению его уровня. Например, для снижения шума систем вентиляции и

кондиционирования воздуха можно использовать различные глушители, ограничение скорости воздуха на воздухораспределительных устройствах. Средства индивидуальной защиты органов слуха работающих установлены ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ \*12+ - это наушники, заглушки, вкладыши. Однако они должны использоваться лишь как дополнение к коллективным средствам защиты, когда последние не могут решить проблему борьбы с шумом.

Защита от шумов – заключение вентиляторов в защитный кожух и установление их внутри корпуса ЭВМ. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 - 8000 Гц \*12+.

**Вывод:** на рабочем месте уровень шума не должен превышать 50 Дб. В помещении, в котором работает инженер-программист, основным источником шума является кулер системного блока компьютера. Общий уровень шума компьютера не превышает 30 Дб, что не превышает допустимой нормы.

## 9.2 Отклонение показателей микроклимата

Выполняемые работы программистом, по степени физической тяжести, относятся к категории легких работ \*3+. Оптимальные и допустимые значения показателей температуры, влажности воздуха и скорости движения воздуха в производственном помещении с ВДТ и ПЭВМ представлены в таблицах 20 и 21 соответственно, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [30].

Таблица 20 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
Тёплый	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Тем-ра поверхностей, °С	Относ. влажн. воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более** Холодный
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*	0,1	0,1
Тёплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*	0,1	0,2

В помещении предусмотрена система отопления, функционирующая в зимнее время. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В аудитории установлена вентиляция, которая поможет регулировать температуру в помещении в летнее время. Также имеются окна, которые способствуют проветриванию помещения.

**Вывод:** в помещении предусмотрена система отопления, функционирующая в зимнее время. Система обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В аудитории присутствует система вентиляции, которая поможет регулировать температуру в помещении в летнее время. Имеются окна, которые способствуют проветриванию помещения.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, в рабочих помещениях с ПЭВМ необходимо ежедневно проводить влажную уборку и каждый час проветривать помещение. Система вентиляции и отопления соответствует нормативным рекомендациям.

### 9.3 Недостаточная освещённость рабочей зоны

При плохой освещенности у работников ощущается усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. Часто причинами являются слишком низкие уровни освещенности, слепящее действие источников света и соотношение яркостей, которое недостаточно хорошо сбалансировано на рабочих местах. Головные боли могут быть вызваны пульсацией освещения, что является результатом использования электромагнитных пускорегулирующих аппаратов (ПРА) для газоразрядных ламп, работающих на частоте 50 Гц [36]. Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы; равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и отсутствие резких теней; отсутствие пульсации светового потока; оптимальная направленность светового потока и оптимальный спектральный состав; все элементы осветительных установок должны быть долговечны, взрыво-, пожаро-, электробезопасны [36]. Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для помещений жилых и общественных зданий. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [36], такие помещения должны удовлетворять требованиям, представленным в таблице 22.

Таблица 22 – Нормы освещенности по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

По-меще-ния	Рабочая поверхность плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г - горизонтальная, В - вертикаль)	Естественное освещение		Совмещённое освещение		Искусственное освещение			
		КЕО еН, %		КЕО еН, %		Освещенность, лк		Объединенный показатель диска	Коэффициент пульсации
		при верхнем	при боковом	при верхнем или комбинированном	при боковом освещении	при комбинированном освещении	при общем		

	ая) и высота плоскости над полом, м	ирова нн ом освещ е нии		освеще- нии			Все- го	от обще- го	освещ ении	форта, UGR, не более	освещ е нность и, Кп, %, не более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Административные здания (министерства, ведомства, комитеты, префектуры, муниципалитеты управления, конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения и тому подобное)											
Кабине ты, рабочие комнат ы, офисы, предста вительс тва	Г-0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300	21	15	

В данном рабочем помещении используется комбинированное освещение — искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛД. Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Длина  $A = 7$  м (7000 мм.), ширина  $B = 4.5$  м (4500 мм.), высота  $H = 3.5$  м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 0.75$  м. Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для Люминесцентные без защитной решётки типов ШОД равна 1.3.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ШОД-2-40.

Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1228 мм. На первом этапе определим значение индекса освещенности  $i$ .

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

где  $S$  - площадь помещения;

$h$  - расчётная высота подвеса светильника, м;

$A$  и  $B$  - длина и ширина помещения, м.

Так как светильники интегрированы в навесной потолок, то высота светильника над рабочей поверхностью  $h$ :

$$h = H - h_p = 3.5 - 0,75 = 2.75 \text{ м.} = 2750 \text{ мм}$$

где  $H$  - высота помещения, м.

$h_p$  - высота рабочей поверхности, м.

В результате проведенных расчетов, индекс освещенности  $i$  равен

$$i = \frac{S}{(A + B) * h} = \frac{31.5}{11.5 * 2.75} \approx 1$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda * h = 1.3 * 2,750 = 3.85 \text{ м.} = 3850 \text{ мм}$$

$$L/3 \approx 1,2 \text{ м}$$

Размещаем светильники в три ряда. В ряду можно установить 2 светильника, при этом разрывы между светильниками в ряду составят 30 см. (300 мм.). Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении  $N=12$ . (Рисунок 24).

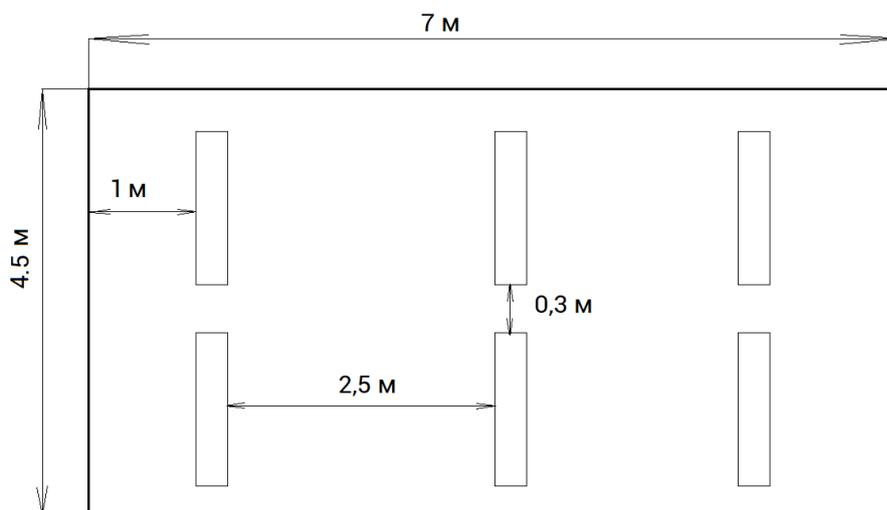


Рисунок 24 План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_H * S * K * Z}{N * \eta}$$

где  $E_H$  - нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;

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

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

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{cp} / E_{min}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

$N$  – число ламп в помещении;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Данное помещение относится к типу помещения со средним выделением пыли, в связи с этим  $K = 1,5$ ; состояние потолка – свежепобеленный, поэтому значение коэффициента отражения потолка  $\rho_p = 70$ ; состояние стен – побеленные бетонные стены, поэтому значение коэффициента отражения стен  $\rho_c = 50$ . Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ШОД с люминесцентными лампами при  $\rho_p = 70\%$ ,  $\rho_c = 50\%$  и индексе помещения  $i = 1$  равен  $\eta = 0,49$ .

Нормируемая минимальная освещенность при использовании ЭВМ и одновременной работе с документами должна быть 300-500лк.

$$\Phi = \frac{E_H * S * K * Z}{N * \eta} = \frac{300 * 31.5 * 1.5 * 1.1}{6 * 2 * 0.49} = 2651 \text{ Лм.}$$

Для люминесцентных ламп с мощностью 40Вт и напряжением сети 220В, стандартный световой поток ЛХБ равен 2700 Лм.

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} * 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{2700 - 2651}{2700} * 100\% = 1,8\%$$

$$-10\% \leq -2\% \leq 20\%$$

Таким образом необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

### Повышенный уровень статическое электричества

Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на человеческий организм, и не только в случае непосредственного контакта с зарядом, но и за счет действий электрического поля, которое возникает при заряде. При включенном питании компьютера на экране дисплея накапливается статическое электричество. Электрический ток искрового разряда статического электричества мал и не может вызвать поражение человека. Тем не менее, вблизи экрана электризуется пыль и оседает на нем. В результате чего искажается резкость восприятия информации на экране. Кроме того, пыль попадает на лицо работающего и в его дыхательные пути. Основные способы защиты от статического электричества следующие: заземление оборудования, увлажнение окружающего воздуха. Также целесообразно применение полов из антистатического материала.

### Короткое замыкание

Для защиты проводов от перегрева и предупреждения воспламенения окружающих предметов в цепь включаются аппараты защиты, например, плавкие предохранители. Основной причиной возникновения коротких замыканий является

нарушения изоляции электрооборудования. Часто причиной повреждений в электрической части электроустановок являются неквалифицированные действия обслуживающего персонала. Последствия коротких замыканий следующие:

1. механические и термические повреждения электрооборудования.
2. возгорания в электроустановках.
3. снижение уровня напряжения в сети.
4. Электромагнитное влияние на линии связи, коммуникации и т.п.

Меры по предотвращению короткого замыкания:

1. не использовать старые провода с несоответствующей изоляцией;
2. устанавливать защитные устройства отключения – автоматические выключатели, устройства защитного отключения, дифавтоматы;
3. регулярно следить за состоянием электрических точек – розеток и выключателей (при необходимости сразу же заменять);
4. не эксплуатировать поврежденные электроприборы, от которых летят искры.

### Опасность поражения электрическим током

К опасным факторам относят поражение электрическим током согласно ГОСТ 12.0.003-74. Компьютеры, расположенные в помещении, питаются от сети 220В переменного тока с частотой 50Гц. Помещение с ПЭВМ, где проводились работы, относится к помещениям без повышенной опасности, согласно классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током, так как отсутствуют следующие факторы:

- сырость; - токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы;
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам и механизмам, и металлическим корпусам электрооборудования.

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током относятся:

1. обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;
2. применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
3. применение защитного заземления;
4. применение защитного зануления;
5. применение защитного отключения;
6. использование устройств бесперебойного питания.
7. запрет на работы на задней панели при включенном сетевом напряжении;
8. проведение работ по устранению неисправностей только квалифицированным персоналом;
9. слежение за исправностью электропроводки.

В соответствии с ГОСТ 12.0.004-2015 обучение и инструктаж по безопасности труда носит непрерывный многоуровневый характер.

Профессиональная подготовка персонала, повышение его квалификации, проверка знаний и инструктажи проводятся в соответствии с требованиями государственных и отраслевых нормативных правовых актов по организации охраны труда и безопасной работы персонала.

Электротехнический персонал до допуска к самостоятельной работе должен быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой помощи при несчастных случаях.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен пройти проверку знаний Правил безопасности и других нормативно-технических документов (правил и инструкций по технической эксплуатации, пожарной безопасности, пользованию защитными средствами, устройства электроустановок) в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности.

Персонал обязан соблюдать требования Правил безопасности, инструкций по охране труда, указания, полученные при инструктаже. Инструктаж по характеру и времени проведения подразделяют на следующие виды:

- вводный инструктаж;
- первичный и повторный инструктажи на рабочем месте;
- внеплановый инструктаж;
- целевой инструктаж.

#### **9.4 Экологическая безопасность**

Работа за персональным компьютером не является экологически опасной работой. Негативного воздействия разрабатываемого объекта на окружающую среду не происходит. Средства, необходимые для разработки и эксплуатации могут наносить вред окружающей среде.

В ходе данной работы были использованы следующие ресурсы:

- ЭВМ;
- принтер;
- бумага;
- люминесцентные лампы.

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

Люминесцентные лампы представляют собой «чрезвычайно опасные» виды отходов. Содержание ртути в любых люминесцентных лампах составляет от трех до пяти миллиграмм ртути. С учетом этого необходимо обеспечивать определенные условия хранения, их эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам хранить ртутьсодержащие отходы необходимо в специальных герметичных контейнерах, доступ посторонним лицам к таким контейнерам должен быть запрещен. Транспортировка ламп на полигоны складирования должна выполняться организациями, которые специализируются на утилизации опасных отходов и имеют соответствующую лицензию. Отработанные люминесцентные лампы передаются на демеркуризацию (утилизацию) специализированным предприятиям.

Сточные воды удаляются посредством канализации и передаются для последующей очистки специализированным предприятиям. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке, либо их принимают специализированные предприятия, для переработки и дальнейшего использования. Для утилизации электронной техники (ЭВМ, принтеров и т.п.) необходимо также обратиться в специальную компанию, которая занимается разборкой на детали, их сортировкой и вторичной переработкой.

## 9.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Объект исследования не может быть причиной возникновения ЧС в связи с тем, что он нематериален. На стадии внедрения и эксплуатации объект также не сможет инициировать ЧС.

Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Чрезвычайными ситуациями в подобных помещениях могут быть пожары. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76. Компьютерный кабинет по пожарной безопасности относится к категории В, в нём находятся горючие материалы и вещества в холодном состоянии. По степени огнестойкости данное помещение относится к 3-й степени огнестойкости. Возможные причины пожара: перегрузка в электросети, короткое замыкание, разрушение изоляции проводников.

Пожарная безопасность обеспечивается системой пожарной защиты и системой предотвращения пожара. Основные мероприятия по предотвращению пожара представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Основные мероприятия по предотвращению пожара

<p>Помещение содержится в чистоте, мусор своевременно убирают. По окончании работы проводится влажная уборка всех помещений</p>	<p>Работа проводится при исправном оборудовании</p>
	<p>На видном месте вывешен план эвакуации из корпуса с указанием</p>

<p>Уходящий из помещения последним проверяет выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т.д. и отключает силовую и осветительную электрическую сеть</p>	<p>оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь</p>
--	--

Соблюдение организационных мероприятий предполагает:

- правильную эксплуатацию приборов, установок;
- правильное содержание помещения;
- противопожарный инструктаж сотрудников аудитории;
- издание приказов по вопросам усиления ПБ;
- организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;
- наличие наглядных пособий и т.п.

Рекомендации действий в случае возникновения пожара и его различных сценариях представлены в таблице 24.

Таблица 24. Рекомендации действий в случае возникновения пожара и его различных сценариях

<p><b>1. При наличии телефона, "112" или "01" и сообщить о пожаре и своём местоположении;</b></p> <p><b>2. Не входить в места с высокой концентрацией дыма и видимостью менее, чем 10 метров.</b></p>	
<p>Если имеется возможность выйти из помещения (здания) наружу [34]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• покинуть помещение, используя запасные и основные пути эвакуации;</li> <li>• попутно отключить электроэнергию;</li> <li>• передвигаться к выходу на четвереньках, при этом закрывая рот и нос подручными средствами защиты;</li> <li>• плотно закрыть дверь при выходе</li> </ul>	<p>Если дым и пламя в соседних помещениях не позволяет выйти наружу [34]:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• не поддаваться панике;</li> <li>• проверить возможности спуститься по пожарной лестнице или выйти на крышу;</li> <li>• при отсутствии возможности эвакуироваться для защиты от дыма и тепла необходимо загерметизировать своё помещение:</li> </ul>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) закрыть плотно двери, заткнуть щели тканью, желательна мокрой;</li> <li>2) закрыть окна и форточки.</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>• при наличии воды, постоянно смачивать двери и пол.</li> <li>• при задымлении помещения, передвигаться только на четвереньках, прикрыв рот и нос влажным носовым платком или рукавом, в сторону окна и находиться возле окна, при этом привлекать к себе внимание людей на улице.</li> </ul>
--	---

Пожарная безопасность обеспечивается в соответствии с требованиями ФЗ пожарной безопасности № 69-ФЗ от 21.12.1994 г., правилами противопожарного режима в РФ.

### **9.6 Статические физические перегрузки**

Статические перегрузки вызываются длительным пребыванием человека в вынужденной рабочей позе или длительным статическим напряжением отдельных групп мышц при выполнении работ. Например, сидя или стоя с наклоненной головой (шейный и плечевой пояс); сидя или стоя с наклоненным туловищем (пояснично-крестцовый отдел); лежа (шейно-плечевая область); на коленках (коленные суставы); на корточках (коленные и голеностопные суставы, сдавливание нервов); с упором на локоть (давление на локтевой сустав). Основным видом статической нагрузки при исследовательской работе в лаборатории, является нахождение в неподвижном состоянии, часто в неудобной позе при работе на ЭВМ.

При этом возникает локальная динамическая перегрузка пальцев и кистей рук. Статическим перенапряжениям мышц способствуют неподходящие эргономические параметры рабочего места и его компонентов (отсутствие подлокотников, пюпитра, подставки для ног), отсутствие возможности регулировки параметров рабочего стула, высоты рабочей поверхности стола, неудобное расположение клавиатуры и дисплея.

В данном случае, в качестве нормативов обеспечения безопасного рабочего процесса, следует принимать допустимые параметры рабочей зоны пользователя ЭВМ, в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 25 – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с персональной ЭВМ (по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03)

Объект	Характеристика	Численное значение
Рабочий стол	Высота (при наличии возможности регулирования)	680-800мм
	Высота (при отсутствии возможности регулирования)	780 мм
	Размер рабочей поверхности – ширина (при высоте 780 мм)	800, 1000, 1200, 1400 мм
	Размер рабочей поверхности – глубина (при высоте 780мм)	800, 1000 мм
	Пространство для ног: <ul style="list-style-type: none"> <li>- высота</li> <li>- ширина</li> <li>- глубина на уровне колен</li> <li>- глубина на уровне вытянутых ног</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- не менее 600 мм</li> <li>- не менее 500 мм</li> <li>- не менее 450 мм</li> <li>- не менее 650 мм</li> </ul>
Рабочий стул	Ширина и глубина поверхности сиденья	не менее 400 мм
	Регулировка высоты сиденья	400 – 550 мм
	Регулировка угла наклона сиденья	вперед до 15° и назад до 5°
	Высота опорной поверхности спинки	300 ± 20 мм
	Ширина опорной поверхности спинки	не менее 380 мм
	Радиус кривизны горизонтальной плоскости	400 мм
	Угол наклона спинки в вертикальной плоскости	± 30°

	Регулировка расстояния спинки от переднего края сиденья	260-400 мм
	Стационарные или съемные подлокотники: – длина – ширина	– менее 250 мм – 50-70 мм
	Регулировка подлокотников по высоте над сиденьем	230 ± 30 мм
	Регулировка внутреннего расстояния между подлокотниками	350-500 мм
Подставка под ноги	Ширина	не менее 300 мм
	Глубина	не менее 400 мм
	Регулировка по высоте	до 150 мм
	Угол наклона упорной поверхности	до 20°
	Высота бортика по переднему краю	10 мм

В качестве средства профилактики заболеваний, связанных с сидячим образом жизни, предлагается использовать физкультминутки (ФМ). ФМ способствует снятию локального утомления. По содержанию ФМ различны и предназначаются для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц или систему организма в зависимости от самочувствия и ощущения усталости.

### Монотонность труда

При работе с ПЭВМ основным фактором, влияющим на нервную систему инженера-программиста, является огромное количество информации, которое он должен воспринимать. Это является сложной задачей, которая очень сильно влияет на сознание и психофизическое состояние из-за монотонности работы. Поэтому меры,

позволяющие снизить воздействие этого вредного производственного фактора, которые регулируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, являются важными в работе разработчика. Они позволяют увеличить производительность труда и предотвратить появление профессиональных болезней.

Организация работы с ПЭВМ осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности. Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы [36]:

- группа А – работа по считыванию информации с экрана с предварительным запросом;
- группа Б – работа по вводу информации;
- группа В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ.

Работа инженера-программиста, разрабатывающего информационную систему поддержки принятия решений в данной работе относится к группам А и Б.

Категории трудовой деятельности, различаются по степени тяжести выполняемых работ. Для снижения воздействия рассматриваемого вредного фактора предусмотрены регламентированные перерывы для каждой группы работ [36] – таблица 26.

Таблица 26 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида категории трудовой деятельности с ПЭВМ

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин.	
	Группа А	Группа Б	Группа В	При 8- часовой смене	При 12 – часовой смене
А	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
Б	до 40 000	до 30 000	до 4	60	110
В	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

## **Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

В данном разделе были рассмотрены опасные и вредные факторы на рабочем месте разработчика системы картирования горных пород. Были актуализированы действующие нормативы, их значения были сравнены с фактическими показателями рабочей зоны инженера-программиста (при такой возможности). Было выявлено, что разрабатываемый объект не влияет на окружающую среду на этапах его разработки, внедрения и эксплуатации. Единственная вероятная ЧС, пожар, не может быть вследствие действия ИС на любых этапах ее функционирования. Так как рабочее место может быть в поле действия возгорания, были проанализированы правовые и организационные вопросы обеспечения пожарной безопасности, показавшие отсутствие нарушений касаясь рабочей области разработчика. Проанализировав помещение для работы, можно сделать вывод, что оно соответствует необходимым требованиям.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан метод выращивания регионов для сегментации медицинских данных. Сделана реализация метода и проведено его тестирование. Исследовано поведение алгоритма и влияние основных параметров: размеры начального и минимального суперпикселя на скорость и точность сегментации. Исследовано влияние этих размеров на стабильность работы алгоритма. Произведено сравнение разработанного алгоритма с классическим алгоритмом выращивания регионов.

Для этого был проведён анализ литературы, разработана концепция выращивания региона суперпикселями, выбрана среда для разработки и написан исходный код алгоритма. Далее проведена отладка и тестирование.

Тестирование разработанного алгоритма показало среднюю точность  $94\pm 2\%$  и  $93.5\pm 6.7\%$  на двух выборках изображений. Реализация алгоритма позволила достичь большей устойчивости и стабильности, чем у алгоритма “Region Growing”. По скорости сегментации классический алгоритм также значительно уступает.

Достигнутые показатели не являются предельными для данной разработки. Разработанный алгоритм, в связи с предложенной архитектурой, может быть модифицирован за счёт:

- применения большего количества методов для детектирования границ;
- использования новых методов коллективного принятия решений;
- реализация алгоритма с применением параллельных вычислений;
- масштабирование алгоритма для сегментации трёхмерных данных.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. X. H. G. Tsechpenakis, "Medical Image Segmentation," *Adv. Mater. Res.*, no. i, pp. 1–35, 2013.
2. J. Rogowska, "Overview and fundamentals of medical image segmentation," in *Handbook of Medical Image Processing and Analysis*, 2009, pp. 73–90.
3. D. L. Pham, C. Xu, and J. L. Prince, "Current Methods in Medical Image Segmentation," *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 315–337, 2000.
4. O. Oktay, E. Ferrante, K. Kamnitsas, M. Heinrich, W. Bai, J. Caballero, S. A. Cook, A. De Marvao, T. Dawes, D. P. O'Regan, B. Kainz, B. Glocker, and D. Rueckert, "Anatomically Constrained Neural Networks (ACNNs): Application to Cardiac Image Enhancement and Segmentation," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 37, no. 2, pp. 384–395, 2018.
5. A. Pinto, V. Alves, and C. A. Silva, "Brain Tumor Segmentation using Convolutional Neural Networks in MRI Images," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 35, no. 5, pp. 1240–1251, 2016.
6. K. Kamnitsas, C. Ledig, V. F. J. Newcombe, J. P. Simpson, A. D. Kane, D. K. Menon, D. Rueckert, and B. Glocker, "Efficient multi-scale 3D CNN with fully connected CRF for accurate brain lesion segmentation," *Med. Image Anal.*, vol. 36, pp. 61–78, 2017.
7. G. Litjens, T. Kooi, B. E. Bejnordi, A. A. A. Setio, F. Ciompi, M. Ghahfarooian, J. A. W. M. van der Laak, B. van Ginneken, and C. I. Sánchez, "A survey on deep learning in medical image analysis," *Medical Image Analysis*, vol. 42, pp. 60–88, 2017.
8. A. Soliman, F. Khalifa, A. Elnakib, M. A. El-Ghar, N. Dunlap, B. Wang, G. Gimel'farb, R. Keynton, and A. El-Baz, "Accurate lungs segmentation on CT chest images by adaptive appearance-guided shape modeling," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 36, no. 1, pp. 263–276, 2017.
9. H. C. Kang, J. Lee, and J. Shin, "Automatic four-chamber segmentation using level-set method and split energy function," *Healthc. Inform. Res.*, vol. 22, no. 4, pp. 285–292, 2016.

10. D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer Vision*, vol. Computer S, no. 1463. 1982.
11. R. Adams and L. Bischof, "Seeded Region Growing," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 16, no. 6, pp. 641–647, 1994.
12. I. N. Bankman, *Handbook of Medical Imaging*. 2000.
13. J. T. J. Tang, "A color image segmentation algorithm based on region growing," *Comput. Eng. Technol. (ICCET), 2010 2nd Int. Conf.*, vol. 6, pp. 634–637, 2010.
14. J. G. Park and C. Lee, "Skull stripping based on region growing for magnetic resonance brain images," *Neuroimage*, vol. 47, no. 4, pp. 1394–1407, 2009.
15. J. Chiverton, K. Wells, E. Lewis, C. Chen, B. Podda, and D. Johnson, "Statistical morphological skull stripping of adult and infant MRI data," *Comput. Biol. Med.*, vol. 37, no. 3, pp. 342–357, 2007.
16. S. Roy and P. Maji, "A simple skull stripping algorithm for brain MRI," in *ICAPR 2015 - 2015 8th International Conference on Advances in Pattern Recognition*, 2015.
17. N. A. M. Isa, S. Sabarudin, U. K. Ngah, and K. Z. Zamli, *Automatic detection of breast tumours from ultrasound images using the modified seed based region growing technique*, vol. 3682 LNAI. 2005.
18. J. Dehmeshki, H. Amin, M. Valdivieso, and X. Ye, "Segmentation of pulmonary nodules in thoracic CT scans: A region growing approach," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 27, no. 4, pp. 467–480, 2008.
19. T. H. Duong and L. L. Hoberock, "DUHO image segmentation based on unseeded region growing on superpixels," in *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 2018, pp. 558–563.
20. X. Ren and J. Malik, "Learning a classification model for segmentation," *Proc. Ninth IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, vol. 1, no. c, pp. 10–17 vol.1, 2003.
21. O. Csillik, "Fast segmentation and classification of very high resolution remote sensing data using SLIC superpixels," *Remote Sens.*, vol. 9, no. 3, 2017.
22. F. Saxen and A. Al-Hamadi, "Superpixels for Skin Segmentation," *Www-E.Uni-Magdeburg.De*, 2014.

23. S. Crommelinck, R. Bennett, M. Gerke, M. N. Koeva, M. Y. Yang, and G. Vosselman, "SLIC SUPERPIXELS for OBJECT DELINEATION from UAV DATA," in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017, vol. 4, no. 2W3, pp. 9–16.
24. R. Achanta, A. Shaji, K. Smith, A. Lucchi, P. Fua, and S. Süsstrunk, "SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 34, no. 11, pp. 2274–2281, 2012.
25. A. Andreopoulos and J. K. Tsotsos, "Efficient and generalizable statistical models of shape and appearance for analysis of cardiac MRI," *Med. Image Anal.*, vol. 12, no. 3, pp. 335–357, Jun. 2008.
26. J. Cheng, W. Huang, S. Cao, R. Yang, W. Yang, Z. Yun, Z. Wang, and Q. Feng, "Enhanced performance of brain tumor classification via tumor region augmentation and partition," *PLoS One*, vol. 10, no. 10, 2015.
27. J. Cheng, W. Yang, M. Huang, W. Huang, J. Jiang, Y. Zhou, R. Yang, J. Zhao, Y. Feng, Q. Feng, and W. Chen, "Retrieval of Brain Tumors by Adaptive Spatial Pooling and Fisher Vector Representation," *PLoS One*, vol. 11, no. 6, 2016.
28. Баранцев В.И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 136 с.
29. Беренгартен М.Б., Васильева И.А., Девяткин В.В., Николайкина Н.Е. Управление отходами в городском хозяйстве. Учебное пособие. /Под ред. В.Г. Систера. - М.: МГУИЭ, 1999. – 120 с.
30. Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы). – Пенза: Изд-во ПТИ, 2003. – 267 с.
31. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. - М.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
32. Инженерная экология. /Под ред. В.Т.Медведева. – М.: Гардарики, 2002. – 687 с.
33. Ксенофонов Б.С. Флотационная очистка сточных вод. – М.: Новые технологии., 2003. – 160 с.
34. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической

технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.

35. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Под общ. ред. В.Н.Соколова. Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.

## Приложение А

(обязательное)

### Mathematical model of algorithm

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Манаков Роман		

Консультант отделения информационных технологий ИШИТР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гергет Ольга Михайловна	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ИШИТР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

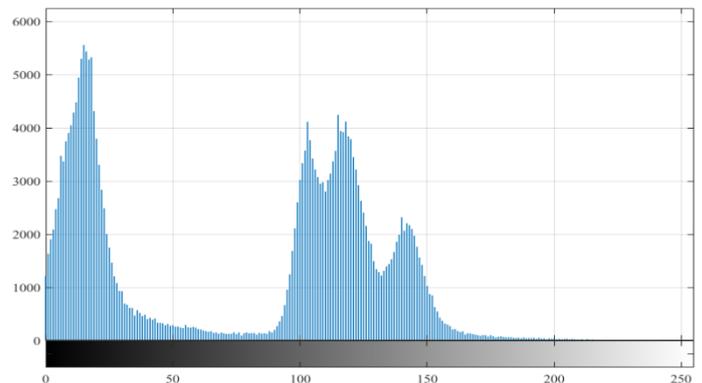
## Mathematical model of algorithm

### Image preprocessing

Before performing a segmentation operation or any other, it is important to preprocess the image. This is necessary to improve the image quality and subsequently, the result of the main operation. In this case, preprocessing refers to the brightness/contrast adjustment, as well as equalization of the brightness distribution histogram. Equalization is required to correct the picture by aligning the integral areas of the plots with different brightness. An example of equalization is shown in Figure 1.



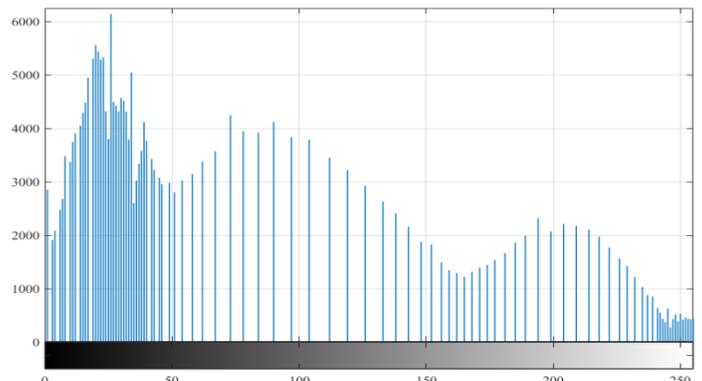
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 1 - Equalization of the brightness distribution histogram: the original image (a) and its histogram (b), the processed image (c) and the corresponding histogram (d)

## Segmentation model

The region growing algorithm in general represents a segmentation, starting from the initial point, which belongs to the region being segmented. The region grows with the addition of neighboring pixels that satisfy the homogeneity criterion. The growth algorithm of the area in the workflow shown in the figure. The workflow of the region growing algorithm can be described in the following way (Figure 2).

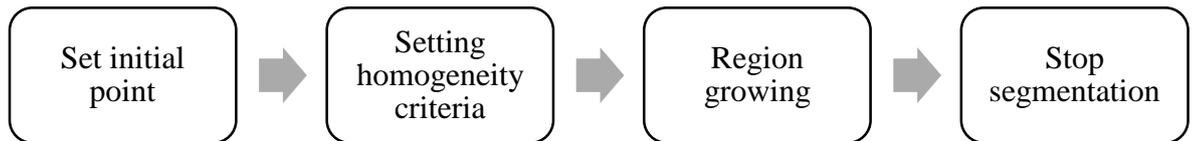


Figure 2 - Region growing workflow

As described earlier, in the classical algorithm for growing regions a fairly simple condition is used to include a pixel in a region. However, in the proposed algorithm, the concept of a pixel is replaced by the concept of a superpixel. The superpixel in this case is a square-shaped block of size  $n \times n$ , consisting of pixels. Thus, the union condition for building superpixels is their geometric shape. All superpixels have 4 neighbors.

Based on the foregoing, the proposed method checks and integrates pixel groups (superpixels) into a single region. The workflow of the proposed algorithm is shown in the Figure 3.

1	Initialization of parameters
2	First superpixel placement
3	Superpixel propagation
4	Downsize superpixel
5	Calculating nodal points
6	Spline construction

Figure 3 - Workflow of the proposed algorithm. Blocks 3 and 4 are executed cyclically several times

The main difference between the proposed method and the methods presented in [19], [20] is that there is no complete analysis of each pixel in superpixel. The area reduction and size reduction procedures are shown below (Figure 4).

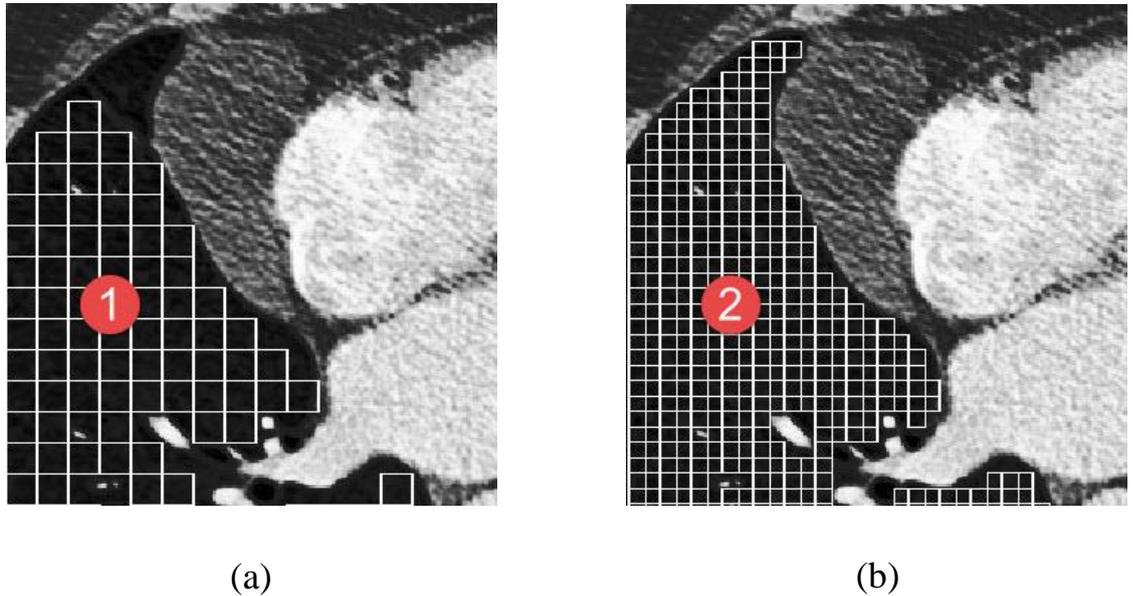


Figure 4 - Marker "1" indicates the propagation using the initial superpixel size (a), "2" indicates the area after decreasing the size of the superpixel in twice (b)

The proposed algorithm checks and attaches superpixels to the resulting set to speed up the segmentation. Like the growth area, the attachment process occurs as long as there is at least one group of pixels that can be included in the final set. A group of pixels is included in the target area, after checking that it does not intersect the boundary of the area of interest along an edge or diagonal.

### **First superpixel placement**

The center of the first superpixel is the initial point, which is the input parameter of the algorithm. The point point is the intersection point of superpixel's diagonals. To include this element into the region, the diagonals and edges are checked for the presence of a border. If the superpixel does not cross the boundary of the region of interest, it concatenates to the region. Otherwise, the execution of the algorithm can be continued only after superpixel size reducing or changing the initial point.

Verification of new superpixels and their concatenation into the main region continues as long as the conditions allows that. If the next iteration of the concatenation

is not possible, the size of the superpixel is reduced by half and the process of expanding the area continues. An example of unsuccessful attempts of superpixel concatenations is shown in Figure 5. Green circles indicate areas of intersection of superpixel edges with the region of interest.

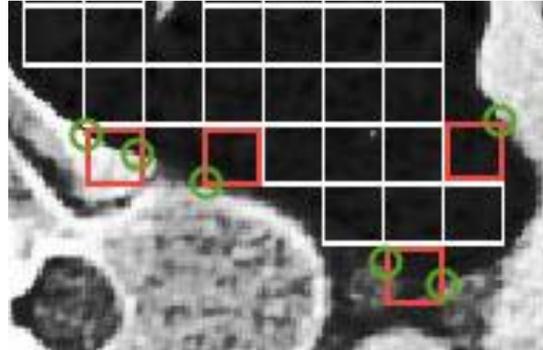


Figure 5 - Example of superpixels, which can not be concatenated to main region, because of intersection with segmentation border. Green markers indicate intersection points

Reducing the superpixel size is an iterative process and can be done several times until the minimum size is reached. The initial and minimum size of superpixels completely define the sequence of superpixel sizes. These two parameters are one of the basic parameters of the algorithm, which have significant influence to its behavior. Thus, using technique of diminishing superpixel sizes allows to get close enough to the borders of the segmented region, but never to cross it. A must-have condition to complete the propagation stage is the impossibility of further joining the superpixels of the minimum size.

### **Finding out outside superpixels**

At this stage, all external superpixels, which were not included in the region, are processed. These superpixels have a form of closed contour in accordance with the required condition of previous stage. This contour is gone around clockwise. For each superpixel, which crosses the boundary of the region of interest, we perform the detection of exact border location on the edges and diagonals. It should be noted, that count of external contours always equals to one, while there may be several internal

contours or no one at all. After this stage is completed, a sequences of points is obtained, that also define a closed contour.

### **Construction of a spline-contour**

Cubic spline interpolation was used to create a smooth contour connecting all previously obtained nodal points into a closed line. The task of interpolation is to find such function  $S(x)$ , from a given class of functions, which corresponds next conditions:

$$S(x_i) = y_i, \quad i = \overline{1, N} \quad (3)$$

, where pairs  $(x_i, y_i)$ - defined nodal points. Interpolation grid can have constant or variable step as well.

Piece interpolation is well suited in situations where the number of nodes is large enough. The use of the Lagrange polynomial in such cases cause a large computational complexity, and as a result, time costs. Spline interpolation is used in computer-aided design systems for defining lines and surfaces, robotics, and for solving problems of numerical integration.

A spline is a continuous function, several derivatives of which are also continuous on the entire interpolation range. Each fragment between the nodes is a certain algebraic polynomial. In our case, for a cubic spline, it is a third-degree polynomial.

A spline defect is the difference between the degree of the spline and the order of smoothness of the spline function. The function with the order of smoothness  $r$  has continuous derivatives of all orders up to  $r$  inclusively (the derivative of zero order is the original function).

To construct a spline consisting of  $n$  fragments, it is required to find such values of numerical parameters for each fragment - a polynomial of degree  $m$ , which will ensure continuity in the nodes of the function itself and the necessary derivatives. For that, it is needed to determine the  $nm$  parameters. Taking into account the interpolation condition and continuity of the first two derivatives, the determination of the parameters comes down to solving a system consisting of  $nm$  linear equations.

If the value of the first derivative in the nodes is calculated based on the continuity condition of the second derivative (solving a system composed of  $n$  linear equations), then the spline will have two continuous derivatives. This method of constructing a spline, like the spline itself, is called global, since the definition of each of its coefficients takes into account the entire set of interpolation nodes.

In other cases, where to determine a separate coefficient only the nearest interpolation nodes are taken into account, and similar construction methods, like the splines themselves, are called local.

Edge (boundary) conditions. These conditions are specified as constraints on the values of the spline and its derivatives at the boundary nodes of the grid. There are 3 main types of classical boundary conditions.

The first type of boundary conditions implies setting the values of the first derivative at the ends of the range on which the interpolation is performed:

$$S'(a) = y'_0, S'(b) = y'_N. \quad (4)$$

The boundary conditions of the second type set the values of the second derivative at the ends of the range:

$$S''(a) = y''_0, \quad S''(b) = y''_N. \quad (5)$$

The third type of boundary conditions is called periodic and defines the full equality of the values of the spline and the first two derivatives at the ends of the interpolation range:

$$S(a) = S(b), S'(a) = S'(b), S''(a) = S''(b). \quad (6)$$

The choice of boundary conditions is one of the central problems in the interpolation of functions. It is very important in such cases, where it is necessary to ensure high accuracy. The boundary values have significant influence on the behavior of the spline near the extreme points, and this influence rapidly decreases with distance from them.

The choice of boundary conditions is often determined by the presence of additional information about the behavior of the approximated function.

In the case of contour interpolation, it is obvious, that the desired spline function will be periodic, due to the closeness of the contour, therefore it is necessary to apply the third type of boundary conditions. Figure 6 represents the result of spline interpolation with periodic boundary conditions.

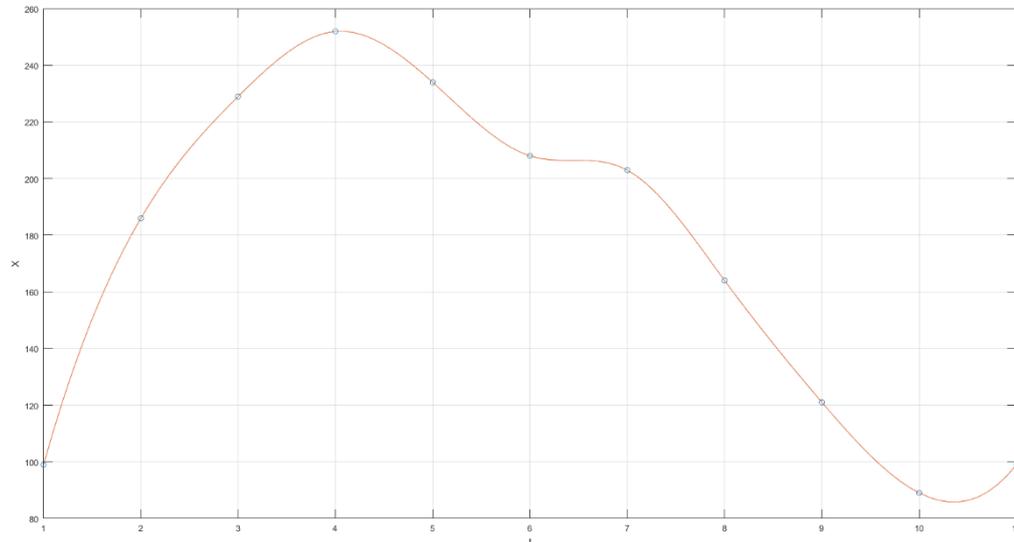


Figure 6 - Result of spline interpolation

Due to the fact, that the sequence of coordinates of points is not ordered in the general case along any of the axes, it is impossible directly use interpolation form  $Y=S(X)$ , where  $X$  is an independent variable. However, applying independent variable  $t$  allows to solve this problem. The analytical view of the contour can be represented as two spline functions depending on  $t$ :  $\{X(t), Y(t)\}$ . Each function is responsible for the coordinates  $X$  and  $Y$ , respectively. The range of change of the independent variable can be set arbitrarily. A visualization of the construction of a closed spline contour for 10 points is shown in Figure 7.

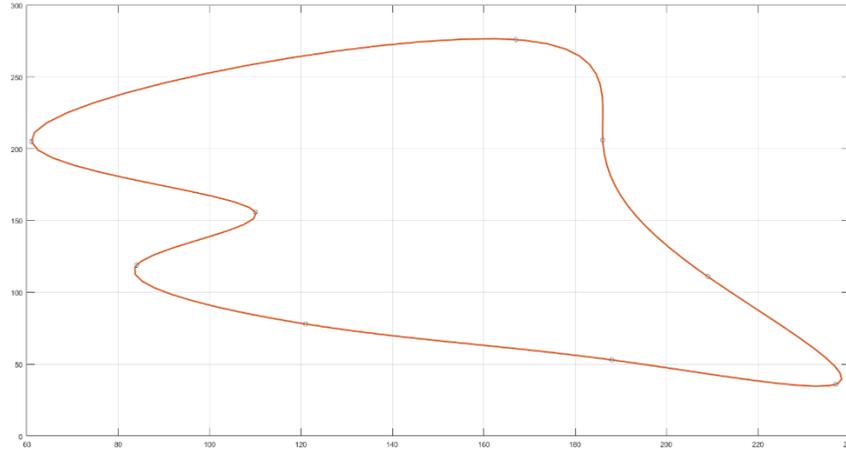


Figure 7 - Closed spline contour

As a result of the operations performed, an analytical piecewise function was obtained, which is defined and continuous for any value of  $t$  from a given range. This allows improve the result of segmentation. Also, such approach gives opportunity precisely and compactly present the segmentation result as a set of external and, possibly, several internal closed contours.

### Boundary detection

Border detection on the edge or diagonal of a superpixel occurs in parallel with two conditions. The truth of these conditions successful boundary detection of the segmented region.

The first condition: the current pixel brightness is compared with the average brightness value of the segmented area. The average value is interpreted as the arithmetic average of the brightness of pixels in the centers of already concatenated superpixels. The threshold parameter is a custom parameter of the algorithm:

$$\Delta I = |p_i - \bar{p}| \geq K. \quad (7)$$

The second condition: the assessment of the gradual difference in brightness. To verify this condition, a linear approximation of a sequence of five points is performed using the least squares method (LSM method). The coefficient, which is the slope of a straight line, is calculated by the formula (8).

$$\tan (\varphi) = \left| \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \right| \geq s, \quad (8)$$

, where  $x$  –coordinates of points (in our case it is a range from 1 to 5);  $y$  – brightness values;  $n$  – count of points.

When constructing the vector  $x$ , it should be taken into account that the distance between the pixels lying on the edges is 1, but for the pixels lying on the diagonals it is equal to  $\sqrt{2}$ . For the current pixel, the approximation is performed using two pixels on the right and two on the left. If the pixels are the boundaries of this superpixel, then additional pixels are taken, exceeding the boundaries of the superpixel. Checking the tilt module for exceeding a certain threshold allows to accurately determine the boundaries and get an algorithm that is resistant to noise. The boundary presence is checked at the edges and diagonals of the superpixel by the two provided methods.

### **Collective decision making methods**

For the rational use of the features of various algorithms when solving recognition problems, it is possible to combine various recognition algorithms in character into groups. Such groups define a classification decision using the theory of collective decisions. In this task, such group is a set of methods for detecting the boundary.

Let  $X$  be a finite set of alternatives. By alternative, we understand the permissible variant of resolving the task with a set of numerical values of the particular quality criteria of this solution. It is considered, that the group of decision makers consists of  $m$  experts and the preferences of each expert on a set of  $X$  alternatives are defined. The preference of the  $i$ -th expert is understood a set of data about the ranking of all considered alternatives. The collective decision is a certain group preference  $\phi$  on the set  $X$ , which based on processing the private preferences of all experts, who make decisions. Let us analyze the main models of collective decision making.

One of the simplest and most frequently encountered in practice is the Condorcet model [4]. The concept of this model is as follows. Based on the ranking data obtained from experts for each pair of alternatives  $x_j, x_k$ , it is needed to calculate the number of

experts  $l(x_j, x_k)$  considering the alternative  $x_j$  more preferable than  $x_k$ . If  $l(x_j, x_k) > l(x_k, x_j)$ , then the alternative  $x_j$  is considered more preferable  $x_k$ . The best alternative is such alternative  $x_j$ , for which corresponds the following condition:

$$l(x_j, x_k) \geq l(x_k, x_j) \quad k=1..n; j \neq k. \quad (9)$$

The main disadvantage of this model is that it does not always ensure sufficiency in determining the best alternative using direct counting of experts according to the majority rule (there is no uniqueness of the solution). In this case, it is better to use other, more complex models.

In the context of proposed algorithm, the set of alternatives will consist: the presence or absence of a border for each element of superpixel edge or diagonal. In this case, the decision group is a set of algorithms that detect the boundaries

In this algorithm, the Condorcet method is used. This method has low complexity and allows quickly make a group decision of several detection algorithms. It is possible to use various decision-making methods such as the Coplander, Bord or Simpson rule.

## Приложение Б

### Исходный код программы

```
function [ outputSplines, errorCode] = SquareSegmentation(img, startPoint, opts)
%UNTITLED Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
errorCode=0;
edgeSize=opts.edgeSize;
minEdgeSize=opts.minEdgeSize;
assert(floor(log2(edgeSize/minEdgeSize))-
log2(edgeSize/minEdgeSize)==0, 'Incomptable edge sizes!')
%putting first square
directions=[[0 1]; [-1 0]; [0 -1]; [1 0]]; % setting up parameters
allDiagonalsCorrect=true;
img=double(img);
sum=img(round(startPoint(1)),round(startPoint(2))); % sum of brightnesses for
mean value

brCount=1; % count of points for mean brightness
for dx=-1:2:1
    for dy=-1:2:1 % checking diagonals
        endPoint=CorrectNotValidPoint(img,startPoint+[dx dy]*edgeSize/2);
        sum=sum+img(round(endPoint(1)),round(endPoint(2))); % mean
brightness: adding new point
        brCount=brCount+1;
        if (GetBorder(GetEdge(img,startPoint,endPoint),sum/brCount,opts)~=-
1)
            allDiagonalsCorrect=false;
        end
    end
end
end
%assert(allDiagonalsCorrect, 'Impossible to put first square! Try to change edge
size or start point!');
if(~allDiagonalsCorrect) % error! stop executing...
    errorCode=1;
    outputSplines=0;
    return;
end
[height, width]=size(img); % get image size
map=zeros(floor(height/minEdgeSize)+20,floor(width/minEdgeSize)+20);
%map of squares: each cell contains square Id or null
mapCenter=[round(startPoint(1)/minEdgeSize)+10
round(startPoint(2)/minEdgeSize)+10];
squares=zeros(size(map,1)*size(map,2),2);
squares(1,:)= [0 0]; % matrix: each row is X and Y indexes of square in map
procListCount=1; % Length of processing list squares

currId=1; % current identifier
map(mapCenter(1),mapCenter(2))=currId;% mark up first square on the map
currId=currId+1; % choosing next free Id for square
while (edgeSize>=minEdgeSize)
    currSquare=1; % starts from first square in list
    borderSquaresCount=0;
    while(currSquare<=procListCount)
        square=squeeze(squares(currSquare,:));
        for direction=1:4 % trying to create a neighbour sq for each side
            neighb=mapCenter+square+squeeze(directions(direction,:)); % getting
neighbour sq
            if(~ValidCoords(map,neighb)) % if neighbour out of bounds
                continue; %
            end
        end
    end
end
```

```

        if (map(neighb(1),neighb(2))==0) % side is free
            if (CheckBorders (img,startPoint,neighb-
mapCenter,squeeze (directions (direction,:),edgeSize,sum/brCount,opts))
                squares (procListCount+1,:)=neighb-mapCenter;
                procListCount=procListCount+1;
                map (neighb(1),neighb(2))=currId;
                currId=currId+1;
                % mean brightness of region correctin
                point=startPoint+edgeSize*(neighb-mapCenter);
                sum=sum+img (round (point (1)),round (point (2))); % mean
brightness: adding new point
                brCount=brCount+1;
            else
                map (neighb(1),neighb(2))=-1;
                borderSquaresCount=borderSquaresCount+1;
            end
        end
    end
    currSquare=currSquare+1;
end
% ----- DEBUG DRAWING
% figure;
% imgForDraw=uint8 (img);
% for i=1:size (map,1)
%     for j=1:size (map,2)
%         if (map (i,j)~=0)
%             if (map (i,j)<0)
%                 color=150;
%             else
%                 color=0;
%             end
%             imgForDraw=DrawSquare (imgForDraw,startPoint+edgeSize*([i,j]-
mapCenter),edgeSize,color); % let's draw it!
%         end
%     end
% end
% imshow (imgForDraw);
% ----- END DEBUG DRAWING
if (edgeSize<=minEdgeSize)
    break;
end
% changing edge size and crushing squares
[squares, map, currId, procListCount]=CrushSquares (map,mapCenter,currId);
edgeSize=edgeSize/2;
startPoint=startPoint-[edgeSize/2, edgeSize/2];
end

outputSplines=GetSplineContours ( img, startPoint, map, mapCenter, edgeSize,
sum/brCount,opts);
function [ squaresNew, mapNew, currId, procListCount ] =
CrushSquares (map,mapCenter,currId)
% this function crush each square to 4 squares
[rows, cols]=size (map);
squaresNew=zeros (rows*cols,2);
mapNew=zeros (rows,cols);
Ic=mapCenter(1);
Jc=mapCenter(2); % extracting center coords
procListCount=0;
for i=1:rows
    for j=1:cols
        if (map(i,j)>0) % if cell is a square crushing it...
            Inew=Ic+2*(i-Ic); % stretching coords
            Jnew=Jc+2*(j-Jc);

```

```

mapNew(Inew, Jnew)=map(i, j);

% marking up 3 additional squares
mapNew(Inew, Jnew+1)=currId;
mapNew(Inew+1, Jnew)=currId+1;
mapNew(Inew+1, Jnew+1)=currId+2;
currId=currId+3;

%borders for current square
topBorder=map(i-1, j)>0;
bottomBorder=map(i+1, j)>0;
leftBorder=map(i, j-1)>0;
rightBorder=map(i, j+1)>0;
% adding outside squares to processing list
if(~topBorder || ~leftBorder)
    squaresNew(procListCount+1, :)= [Inew, Jnew]-mapCenter;
    procListCount=procListCount+1;
end
if(~topBorder || ~rightBorder)
    squaresNew(procListCount+1, :)= [Inew, Jnew+1]-mapCenter;
    procListCount=procListCount+1;
end
if(~bottomBorder || ~leftBorder)
    squaresNew(procListCount+1, :)= [Inew+1, Jnew]-mapCenter;
    procListCount=procListCount+1;
end
if(~bottomBorder || ~rightBorder)
    squaresNew(procListCount+1, :)= [Inew+1, Jnew+1]-mapCenter;
    procListCount=procListCount+1;
end
end
end
end
end
end

```

```

function [ point ] = CorrectNotValidPoint( img, point)
[N, M]=size(img);
if(point(1)<1)
    point(1)=1;
end
if(point(2)<1)
    point(2)=1;
end
if(point(1)>N)
    point(1)=N;
end
if(point(2)>M)
    point(2)=M;
end
end
end

```

```

function [ valid ] = ValidCoords( img, point )
%UNTITLED3 Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
valid=1;
point=round(point);
[N M]=size(img);
if(point(1)<=0 || point(2)<=0 || point(1)>N || point(2)>M)
    valid=0;
end
end

```

```

end

function [ edge ] = GetEdge( img, startPoint, endPoint)
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
distance=sqrt(sum((startPoint-endPoint).^2));
len=round(distance);
edge=uint8(zeros(len+1+4,1));
direction=(endPoint-startPoint)/len;
point=startPoint-2*direction;
for i=-2:len+2
    pCorrect=CorrectNotValidPoint(img,point);
    edge(i+3)=img(round(pCorrect(1)),round(pCorrect(2)));
    point=point+direction;
end
% plot(edge); % DEBUG PLOT!
% figure;
% im2=putCross(img,startPoint,2);
% im2=putCross(im2,endPoint,1);
% imshow(im2);
end

function [ index ] = GetBorder( ray, meanValue, opts)
% 1D region growing
%looking for the the border on a ray/edge
ray=double(ray);

maxDist=opts.threshold;
kLimit=opts.level;

index=-1;
i=3;

while(i<=numel(ray)-2)
    [k]=LSM(ray(i-2:i+2)');
    if((abs(ray(i)-meanValue)>maxDist) || (abs(k)>kLimit))
        index=i-2;
        break;
    end
    i=i+1;
end
end

function [ k ] = LSM( y )
% Least Square Method
% returns k coeff (y=kx+b) and value of functional
x=1:5;
n=5;
sumX=15;
sumXSq=55;
k=(n*sum(x.*y)-sumX*sum(y))/(n*sumXSq-225);
%k=(n*sum(x.*y)-sum(x)*sum(y))/(n*sum(x.*x)-(sum(x))^2);
%b=(sum(y)-k*sum(x))/n;
%Y=k.*x+b;
%F=sum((k.*x+b-y).^2);
end

function [ dir ] = TurnRight( direction )
%this functions returns vector rotated 90 degrees left
% input [-1/0/1 -1/0/1] format

```

```
% one of the element have to be 0 (directions along x or Y axis possible)
dir=[direction(2), -direction(1)];
end

function [ dir ] = TurnLeft( direction )
%this functions returns vector rotated 90 degrees left
% input [-1/0/1 -1/0/1] format
% one of the element have to be 0 (directions along x or Y axis available)
dir=[-direction(2), direction(1)];
end
```