

На правах рукописи



**Исхаков Алмаз Раилевич**

**МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ  
И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В МОДИФИЦИРОВАННЫХ  
ДЕСКРИПТИВНЫХ АЛГЕБРАХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

ЧЕЛЯБИНСК – 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмиллы»

**Научный руководитель:**

доктор физико-математических наук,  
профессор Маликов Рамиль Фарукович.

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук,  
профессор Кризский Владимир Николаевич,  
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»,  
Стерлитамакский филиал,  
зам. директора по научной работе и инновациям;

доктор физико-математических наук,  
профессор Сукачева Тамара Геннадьевна,  
ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет им.  
Ярослава Мудрого», кафедра алгебры и геометрии,  
зав. кафедрой.

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

Защита состоится 26 июня 2017 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.298.14 при Южно-Уральском государственном университете, по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета, а также на сайте <http://www.susu.ru/ru/dissertation/d-21229814/ishakov-almaz-railevich/>.

Автореферат разослан 21 апреля 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.ф.-м.н., доцент



А.В. Келлер

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы исследования.** Системой технического зрения (СТЗ) называется программно-аппаратный комплекс для наблюдения и захвата изображений с последующей обработкой, анализом и распознаванием объектов наблюдения в широком диапазоне электромагнитных волн. В диссертационной работе принято допущение, что СТЗ однозначно определяется набором выполняемых ею функций, т.е. ее функциональной моделью.

Современный отечественный рынок СТЗ экспансирован зарубежными производителями (Mallenom Systems, OMRON и т.п.) или отечественными торговыми фирмами (Спектрис Си-Ай-Эс, Promenergo Автоматика, Microsystemy, Промышленная автоматика и т.п.), которые просто реализовывают решения на зарубежной электронной базе. В России существуют государственные учреждения, которые занимаются комплексными разработками в области машинного зрения для различных нужд (ФГУП «ГосНИИАС» и т.п.) и научными исследованиями обработки, анализа и распознавания изображений (ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, ИКИ РАН, ИСОИ РАН и т.п.).

Среди зарубежных авторов по СТЗ в робототехнике и методам цифровой обработки изображений были проанализированы работы Б.К.П. Хорна, А. Пью, Дуда Р. и Харта П., Марра Д., Патрика Э.А., Прэтта У., Ту Дж. и Гонсалеса Р., Форсайт П. и Понса Ж., Фу К., Хуанга Т.С., Шапиро Л. и Стокмана Дж.. В диссертационной работе учитывался зарубежный опыт по созданию СТЗ для роботов и применялись методы цифровой обработки изображений.

СТЗ советского и постсоветского периода в большинстве случаев имели простую архитектуру и разрабатывались для различных задач производства и промышленности. Проблемами и задачами СТЗ в разное время занимались Сырянкин В.И., Якушенков Ю.Г., Титов В.С., Петров А.А и др. Были решены проблемы: классификации СТЗ, создание общей концепции их построения, разрабатывались методы и алгоритмы обработки зрительной информации, решались проблемы создания типовых элементов и узлов, были получены расчетные формулы оценки и технологии проектирования СТЗ. Проводились также и перспективные исследования по таким направлениям, как корреляционные и акустические СТЗ. В диссертационной работе используются: алгоритм обработки зрительной информации, которая соответствует функциональной модели современных СТЗ и основные принципы автоматического проектирования (содержательные модели сцены наблюдения, математические модели подсистем СТЗ, оптимизация моделей).

Традиции советских исследователей-разработчиков СТЗ и улучшенного зрения продолжают сотрудники ФГУП «ГосНИИАС». Известны работы Визильтера Ю.В., Желтова С.Ю. Бондаренко А.В., Ососков М.В., Моржин А.В., Степанова А.А. по детектированию объектов на основании событий, обнаружение и идентификация объектов с использованием методов проективной морфологии. В диссертационной работе предполагается, что задача

сегментации объектов на изображениях решена доступными методами, а измеряемый объект полностью содержится на начальных изображениях.

Были изучены научные работы сотрудников Института систем обработки изображений РАН Сойфера В.А., Сергеева В.В., Попова С.Б., Мясникова В.В., Глумова Н.И., Чернова В.М., Чернова А.В., Чичевой М.А., Бавриной А.Ю., Копенкова В.Н., Митекина В.А., Фидосеева В.А., Ильясовой Н.Ю., Куприянова А.В., Лыкова К.В. и Кузнецова А.В.. В диссертационной работе учитывались научные достижения этих ученых по проблеме параметрической идентификации систем обработки и анализа изображений, оценке параметров линейной спектральной смеси с полными ограничениями для анализа отсчетов гиперспектральных изображений, методу автоматического построения процедуры локальной нелинейной обработки изображений на основе иерархической регрессии.

Существуют также известные работы, основанные на методах: идентификации систем Гропа Д., идентификации объектов управления Дилигенской А.Н. и методов оптимального управления Черноруцкого И.Г.. Решение прикладных проблем с помощью оптимизации можно найти в работах: оптимальное размещение элементов распределенной производственной структуры у Нефедова Д.Г., алгоритмы и программные средства эволюционной обработки изображений у Белоусова А.А., адаптивный видеодатчик с предварительной обработкой изображений у Табаси С.Х., вычислительные устройства с параллельной и изменяемой архитектурой для задач обработки изображений у Аряшева С.Н., методы синтеза и многомерных моделей и алгоритмов цифровой обработки изображений у Медведевой Е.В., синтез и анализ алгоритмов обработки изображений групповых точечных объектов для ориентации летательных аппаратов у Чеснокова С.Е..

Идеи автоматического проектирования и разработки СТЗ нашли развитие в работах известных российских ученых и исследователей Ларкина Е.В. и Ивутина А.Н. Они задачу проектирования систем предлагают формулировать в виде задачи минимизации целевой функции, представляющей модель проектируемой программной системы, с ограничениями. В диссертационной работе используются **принцип оптимального проектирования программной части СТЗ** предлагаемый Ларкиным Е.В. и Ивутиным А.Н..

**Адаптивность математической модели** обработки и анализа изображений является еще одним **принципом построения методов математического моделирования обработки и анализа изображений**. Этот принцип основан на работе по адаптивным СТЗ Гридина В.Н., Титова В.С. и Труфанова М.И..

Фундаментальные работы в области обработки, анализа и распознавания изображений также ведутся академиком Ю. И. Журавлевым и его учениками на базе Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН. В основу научных исследований положен алгебраический подход к задачам обработки, анализа и распознавания данных. К формированию алгебраического подхода к обработке, анализу и распознаванию изображений привели работы Г.Матерона, Ж.Серра, У.Гренандер, М.Павла, С.Стернберга и Г. Риттера. По-

следними разработками отечественного направления, руководимого И.Б. Гуревичем, являются дескриптивные алгебры изображений и дескриптивные алгебры изображений с одним кольцом (И.Б. Гуревич и В.В. Яшина). В диссертационной работе использовались универсальные алгебры и были переопределены, а также уточнены некоторые понятия и объекты, введенные И.Б. Гуревичем и В.В. Яшиной. Дескриптивные алгебры изображений с таким измененным математическим аппаратом в дальнейшем будут называться **модифицированными дескриптивными алгебрами изображений (МДАИ)**.

**Объектами исследования** являются обработка и анализ изображений СТЗ в оптическом диапазоне.

**Предметом исследования** являются математические методы моделирования обработки и анализа изображений и численные методы оптимизации их параметров.

**Целью исследований** является разработка методов математического моделирования обработки и анализа изображений с оптимальными значениями параметров, а также программного комплекса комбинаторной оценки пространства обработки и анализа изображений для задачи вычисления площади и количества природных водоемов на размытых изображениях.

Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**.

1. Провести комплексные исследования математического аппарата дескриптивных алгебр изображений для случая универсальных алгебр и разработать методiku построения методов математического моделирования обработки и анализа изображений в этом аппарате.
2. Провести исследование пространства обработки и анализа изображений и его количественный анализ для выбора начальных изображений, разработать методы математического моделирования обработки и анализа изображений в этом пространстве.
3. Разработать эффективный численный метод оптимизации параметров для разработанных методов математического моделирования обработки и анализа изображений.
4. Провести вычислительные эксперименты по оптимизации методов математического моделирования обработки и анализа изображений для задач вычисления площади и количества природных водоемов на размытых изображениях.

**Методы исследования.** В исследованиях применялась теория дескриптивных алгебр изображений, методы цифровой обработки изображений, универсальные алгебры, комбинаторика, методы математического моделирования, теория оптимального управления, методы параметрической идентификации систем и численные методы оптимизации. Были проведены комплексные исследования математического аппарата дескриптивных алгебр изображений на случай универсальных алгебр, что позволило определить пространство обработки и анализа изображений, а также его воронку. Комбинаторный анализ структуры этого пространства привел к оценке вероятности выбора начальных изображений. Также был разработан программный комплекс, автоматизирующий комбинаторные вычисления. С использованием разрабо-

танных МДАИ и методов цифровой обработки изображений были получены методы математического моделирования обработки и анализа изображений. Теория оптимального управления и параметрической идентификации систем позволили сформулировать задачи параметрической оптимизации полученных методов. Численные методы оптимизации использовались на этапе проведения вычислительного эксперимента для получения оптимальных значений параметров методов математического моделирования обработки и анализа изображений.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов** по теории МДАИ обеспечивается строгой формализованностью вводимых теоретических конструкций и их непротиворечивостью теории дескриптивных алгебр изображений. Комбинаторная оценка пространства обработки и анализа изображений (оценка воронки пространства) получена анализом его структуры и синтезом комбинаторных оценок для составляющих подпространств. Разработанные методы математического моделирования участвуют в постановке задач параметрической оптимизации, как задачи многопараметрической минимизации нелинейной целевой функции с линейными ограничениями, что находится в рамках теории оптимального управления, параметрической идентификации систем и численной оптимизации. Численные методы стохастической минимизации (генетические алгоритмы) целевой функции позволяют получить результаты заданной точности.

**Научная новизна.** *В области математического моделирования:* разработан математический аппарат МДАИ, представляющий специализацию дескриптивных алгебр изображений на случай универсальных алгебр; определено и исследовано пространство обработки и анализа изображений; проведена комбинаторная оценка воронки этого пространства с целью выбора начальных данных; разработан алгоритм построения методов математического моделирования обработки и анализа изображений в данном пространстве.

*В области численных методов:* впервые использован генетический алгоритм для многопараметрической оптимизации параметров математической модели обработки и анализа изображений; задача вычисления площади и количества природных водоемов на размытых изображениях решена, как задача минимизации нелинейной многопараметрической целевой функции с линейными ограничениями.

*В области комплексов программ:* разработан программный комплекс для MATLAB, позволяющий получить комбинаторную оценку воронки пространства обработки и анализа изображений.

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Элементы теории МДАИ: определение метода конвертирования изображений, определение методов обработки изображения и анализа изображений, определение пространства обработки и анализа изображений, теорема о пространстве обработки и анализа изображений.
2. Формулы оценки пространства обработки и анализа изображений и комбинаторной оценки его воронки и программный комплекс.
3. Методика разработки методов математического моделирования обра-

ботки и анализа изображений в СТЗ.

4. Численный алгоритм минимизации нелинейной двухпараметрической целевой функции с линейными ограничениями.
5. Решения задач вычисления площади и количества природных водоемов, как задач минимизации многопараметрической целевой функции с ограничениями

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость работы заключается в комплексном исследовании математического аппарата дескриптивных алгебр изображений на случай универсальных алгебр, что позволило создать теорию МДАИ, которая позволяет разрабатывать математические методы моделирования обработки и анализа изображений в СТЗ и системах компьютерного зрения (СКЗ). Задача измерения признаков объектов наблюдения на изображениях впервые ставится как задача многопараметрической минимизации нелинейной целевой функции с линейными ограничениями. Целевая функция определяется через разработанный метод математического моделирования обработки и анализа изображений. Оптимальные значения параметров метода моделирования гарантируют измерение искомого признака с заданной точностью при условии, что измеряемое изображение отобрано с учетом комбинаторной оценки воронки в пространстве обработки и анализа изображений.

Практическая значимость работы заключается в: разработке программного комплекса комбинаторной оценки воронки пространства, что позволяет получить вероятность успешного выбора начальных изображений; решена задача по вычислению площади и количества природных водоемов на размытых изображениях, как задача многопараметрической минимизации нелинейной целевой функции с линейными ограничениями. Предлагаемую методику измерения признаков объекта наблюдения можно распространять на любые детерминированные, вероятностные и структурные признаки.

Ограничения, полученных теоретических и практических результатов, следующие: изображения фиксируются только в оптическом диапазоне, хотя возможно распространение предлагаемой методики и на другие диапазоны; изображения в алгебрах представлены только в виде 3 матриц, которые естественным образом описывают полноцветные, полутоновые и бинарные изображения, хотя самой теорией допускается расширение этих разновидностей; для проведения комбинаторной оценки воронки, как показывает опыт, нужно использовать Maple или MATLAB; построение метода математического моделирования обработки и анализа изображений остается прерогативой разработчика, хотя ее можно вполне сформулировать как задачу структурного синтеза; сложность формулировки целевой функции заключается в недостаточном исследовании метрик в пространстве признаков.

**Апробация работы.** Теоретические и практические результаты исследований по диссертационной работе были апробированы на следующих конференциях: Международная научно-практическая конференция «Инновации и современная наука» (Новосибирск, 2011), Международная научно-практическая конференция «Математика и информационные технологии в

современном мире» (Новосибирск, 2011), Республиканская научно-практическая конференция «Информатизация образования: опыт проблемы и перспективы» (Уфа, 2011), IX Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы гуманитарных и естественных наук» (Москва, 2011), IV Международная научно-практическая конференция «Теория и практика современной науки» (Москва, 2011), XIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2011» (Москва, 2011), XIV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2012» (Москва, 2012), XIII Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (Белгород, 2012), VI Всероссийская научно-техническая конференция «Робототехника и искусственный интеллект» (Железногорск, 2014 г.), Научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления» (Москва, 2016 г.), VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Робототехника и искусственный интеллект» (Железногорск, 2016 г.), Научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления - 2017» (Москва, 2017 г.).

Материалы диссертационной работы также проходили обсуждение в научных семинарах: Института математики УНЦ РАН (Уфа, 2011 г.), математического факультета ЧелГУ (Челябинск, 2012 г.), Института систем обработки изображений РАН (Самара, 2012 г.), Башкирского отделения научного совета по методологии искусственного интеллекта РАН (Уфа, 2013 г.), Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН (Москва, 2013 г.), Стерлитамакского филиала БашГУ (Стерлитамак, 2015 г.), кафедры уравнений математической физики факультета математики, механики и компьютерных наук ЮУрГУ (Челябинск, 2015 г.), кафедры уравнений математической физики факультета математики, механики и компьютерных технологий в институте естественных и точных наук ЮУрГУ (Челябинск, 2016 г.).

**Публикации.** Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 18 работах [1-18], из них 4 статьи [1-4] опубликованы в журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, из них статья [1] опубликована в международном рецензируемом журнале, включенном в наукометрическую базу Web of Science, статья [4] опубликована в международном рецензируемом журнале, включенном в наукометрические базы Scopus, Web of Science, EBSCO, Zentralblatt MATH, Ulrich's Periodicals Directory; 1 монография, изданная в организации, где выполнена диссертационная работа [5], 1 свидетельство о регистрации программных продуктов [6] в Объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование» Минобрнауки РФ. Из работ, выполненных в соавторстве [7-18], в диссертацию вошли только результаты, полученные ее автором. Список работ приводится в конце автореферата.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и одного приложения. Полный ее объем составляет 164 страниц машинописного текста, включая 23 рисунка, 9 таблиц, библиографию, содержащую 152 наименования, 1 приложение.



## Основное содержание работы

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, выделены объект и предмет исследования, определена цель и перечислены задачи диссертационной работы, описываются применяемые методы, сформулированы достоверность и обоснованность полученных результатов, сформулирована научная новизна, приведены положения, выносимые на защиту, описывается теоретическая и практическая значимость результатов работы, приведен перечень проведенных апробаций результатов исследований.

**В первой главе** содержится анализ современного состояния вопроса, состояния отечественного рынка СТЗ и научно-исследовательских и научно-производственных учреждений России, занимающихся данной проблематикой. Проведен анализ наиболее распространенной зарубежной литературы по СТЗ, теории цифровой обработки изображений и теории распознавания образов. Проанализирован ряд ключевых работ по СТЗ советского периода. Изучаются опыт и достижения ученых и сотрудников ФГУП «ГосНИИАС» по системам технического и дополненного зрения авиационных систем. Изучаются работы ученых Института систем обработки изображений РАН. Анализируется и изучается опыт отдельных задач по теории оптимального управления, параметрической идентификации систем, параметрическому синтезу систем и адаптивным системам. Проводится детальный анализ работ ученых Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН по проблематике дескриптивных алгебр изображений и их специализаций.

**Вторая глава** посвящена определению основных объектов МДАИ изображений и установлению взаимных отношений между ними. Начальные, промежуточные и конечные данные определяются в виде реализаций изображений.

*Определение 1:* Реализацией изображения  $I$  называется любая из матриц

1.  $I_{bin} \stackrel{def}{=} \|x_{ij}\|$ , где  $x_{ij} \in \{0,1\}$  - бинарное изображение.
2.  $I_{gray} \stackrel{def}{=} \|x_{ij}\|$ , где  $x_{ij} \in \{0, \dots, 255\}$  - полутоновое изображение.
3.  $I_{color} \stackrel{def}{=} \|x_{ij}\|$ , где  $x_{ij} = \langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle; r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \in \{0, \dots, 255\}$  - цветное изображение.

Реализации изображений дополняются их тернарным представлением, семантической и контекстной информацией об изображении, фигурой.

Методы обработки изображений являются неотъемлемой частью математического аппарата МДАИ. В этой главе методы цифровой обработки изображений классифицированы на группы: конвертирование изображений, улучшение зрительных характеристик, препарирование изображений, фильтрация изображений и морфологическая обработка изображений. Исследование методов обработки изображений заключается в точной формулировке в математической форме.

*Определение 2:* Конвертированием цветной реализации изображений

$I_{color} = \|x_{ij}\|$  в бинарную реализацию изображений  $I_{bin} = \|x_{ij}\|$  называется проце-

дурное преобразование

$$\begin{aligned}
O_T^{color \rightarrow bin}(I_{color}, \eta_0) &= O_T^{gray \rightarrow bin}(O_T^{color \rightarrow gray}(I_{color}, *), \eta_0) = \times \\
&\times = O_T^{gray \rightarrow bin}(O_T^{color \rightarrow gray}(\langle \langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle \rangle, *), \eta_0) = \times \\
&\times = \left| I_{gray} = \langle \langle y_{ij} \rangle \rangle, y_{ij} = \left\lfloor \frac{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}{3} \right\rfloor = O_T^{gray \rightarrow bin} \left( \left\lfloor \frac{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}{3} \right\rfloor, \eta_0 \right) = \times \right. \\
&\times = \left. \left| I_{bin} = \langle \langle z_{ij} \rangle \rangle, z_{ij} = \begin{cases} 0, & \left\lfloor \frac{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}{3} \right\rfloor < \eta_0 \\ 1, & \left\lfloor \frac{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}{3} \right\rfloor \geq \eta_0 \end{cases} \right| = I_{bin}
\end{aligned}$$

где  $I_{bin}$ ,  $I_{gray}$  и  $I_{color}$  - бинарное, полутоновое и цветное изображение;  $\langle \langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle \rangle$  - пиксели цветного изображения  $I_{color}$ ;  $y_{ij}$  - пиксели полутонового изображения  $I_{gray}$ ;  $z_{ij}$  - пиксели бинарного изображения  $I_{bin}$ ;  $\eta_0$  - порог конвертирования.

Параметрические преобразования из аппарата МДАИ позволяют решать задачи анализа изображений (измерение признаков объектов интереса). В работе строго формализовано определяются следующие классы параметрических преобразований для вычисления: детерминированных, вероятностных (статистических) и структурно-лингвистических признаков.

Процедурные преобразования описывают последовательность преобразований над реализациями изображений, представляя строгую форму любого метода обработки изображений, составленной из последовательности методов обработки изображений.

*Определение 3:* Т-ДАСПИ в МДАИ называется суперпозиция процедурных преобразований

$$\mathfrak{R}_T(\bar{\mu})(I_f) \stackrel{def}{=} \langle O_{T,1}^k(\cdot, \mu_1), \dots, O_{T,n}^k(\cdot, \mu_n) \rangle(I_f) = O_{T,n}^k(\cdot, \mu_n)(\dots O_{T,2}^k(O_{T,1}^k(I_f, \mu_1)) \dots),$$

где  $f \in \{bin, gray, color\}, k \in \{X \rightarrow Y, improve, filter, dissect, morph, \dots\}, \bar{\mu} = \langle \mu_1, \dots, \mu_n \rangle$

Параметрические преобразования описывают совокупность методов анализа изображений.

*Определение 4:* Р-ДАСПИ в МДАИ называется композиция параметрических преобразований

$$\mathfrak{R}_P(\bar{\eta})(I_f) \stackrel{def}{=} \left[ \begin{matrix} m \\ \circ \\ j=1 \end{matrix} O_{P,j}^k(\cdot, \eta_j) \right](I_f) = \begin{matrix} m \\ \circ \\ j=1 \end{matrix} O_{P,j}^k(I_f, \eta_j), \text{ где}$$

$f \in \{bin, gray, color\}, k \in \{determ, probal, struct\}, \bar{\eta} = \langle \eta_1, \dots, \eta_m \rangle$ .

Формулировки преобразований в такой форме позволяют строго формализовано подойти к определению форм методов математического моделирования обработки и анализа изображений.

**Третья глава** посвящена вопросам исследования универсальных ал-

гебр, элементами которых являются реализации изображений из  $M_{bin}$ , а главными операциями логические функции и морфологические операции от матричных аргументов:  $\wedge$  - конъюнкция,  $\vee$  - дизъюнкция,  $\oplus$  - сумма Жегалкина,  $F_x, F_y$  - логические функции аргументов  $x, y$ ,  $\rightarrow$  - импликация,  $\leftarrow$  - антиимпликация,  $\rightarrow'$  - отрицание импликации,  $\leftarrow'$  - отрицание антиимпликации,  $\downarrow$  - стрелка Пирса,  $|$  - штрих Шеффера,  $x', y'$  - отрицания  $x, y$ ,  $dl, er, \bullet, \circ$  - морфологические операции дилатации, эрозии, замыкания и размыкания соответственно.

В ходе исследований была доказана замкнутость логических операций на множестве  $M_{bin}$ , выявлены алгебры и сформулированы соответствующие утверждения для:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}_B^L &= \langle M_{bin}, \{\wedge, \vee, \oplus\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^L &= \langle M_{bin}; \{F_x, F_y\} \rangle, \\ \mathfrak{R}_B^{F_x} &= \langle M_{bin}; \{F_x\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{F_y} &= \langle M_{bin}; \{F_y\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^L &= \langle M_{bin}; \{x', y', \rightarrow, \leftarrow, \rightarrow', \leftarrow', \downarrow, | \} \rangle, \\ \mathfrak{R}_B^{x'} &= \langle M_{bin}; \{x'\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{y'} &= \langle M_{bin}; \{y'\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{\rightarrow} &= \langle M_{bin}; \{\rightarrow\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{\leftarrow} &= \langle M_{bin}; \{\leftarrow\} \rangle, \\ \mathfrak{R}_B^{\rightarrow'} &= \langle M_{bin}; \{\rightarrow'\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{\leftarrow'} &= \langle M_{bin}; \{\leftarrow'\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{\downarrow} &= \langle M_{bin}; \{\downarrow\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{|} &= \langle M_{bin}; \{| \} \rangle, \\ \mathfrak{R}_B^{\Leftrightarrow} &= \langle M_{bin}, \{\Leftrightarrow\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^M &= \langle M_{bin}; \{dl, er, \bullet, \circ\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{dl} &= \langle M_{bin}; \{dl\} \rangle, \\ \mathfrak{R}_B^{er} &= \langle M_{bin}; \{er\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{\bullet} &= \langle M_{bin}; \{\bullet\} \rangle, & \mathfrak{R}_B^{\circ} &= \langle M_{bin}; \{\circ\} \rangle. \end{aligned}$$

Исследования логических операций в этих алгебрах на ассоциативность позволили выявить полугруппы и сформулировать соответствующие утверждения для:

$$\begin{aligned} \mathfrak{S}_B^{\wedge} &= \langle M_{bin}, \{\wedge\} \rangle, & \mathfrak{S}_B^{\vee} &= \langle M_{bin}, \{\vee\} \rangle, & \mathfrak{S}_B^{\oplus} &= \langle M_{bin}, \{\oplus\} \rangle, \\ \mathfrak{S}_B^{F_x} &= \langle M_{bin}; \{F_x\} \rangle, & \mathfrak{S}_B^{F_y} &= \langle M_{bin}; \{F_y\} \rangle, & \mathfrak{S}_B^{\Leftrightarrow} &= \langle M_{bin}, \{\Leftrightarrow\} \rangle. \end{aligned}$$

Среди обнаруженных полугрупп были выявлены следующие моноиды-полугруппы с нейтральным элементом:  $M_B^{\vee} = \langle M_{bin}, \{\vee, O\} \rangle$ ,

$$M_B^{\oplus} = \langle M_{bin}, \{\oplus, O\} \rangle, M_B^{\Leftrightarrow} = \langle M_{bin}, \{\Leftrightarrow, I\} \rangle.$$

Выявление у моноидов симметричных элементов привели к следующим абелевым группам:

$$\mathfrak{S}_B^{\oplus} = \langle M_{bin}, \{\oplus, f'\} \rangle, \text{ где } (\forall x \in M_{bin}) [f'(x) = x],$$

$$\mathfrak{S}_B^{\Leftrightarrow} = \langle M_{bin}, \{\Leftrightarrow, f'\} \rangle, \text{ где } (\forall x \in M_{bin}) [f'(x) = x].$$

Аналогично МДАИ бинарных реализаций изображений были исследованы МДАИ полутоновых и цветных реализаций изображений.

Использование операций конвертирования  $O_T^{color \rightarrow gray}(\cdot, *)$  и  $O_T^{gray \rightarrow bin}(\cdot, p)$  приводят к нарушению свойства замкнутости в универсальных алгебрах реализаций изображений (МДАИ). Но эти три вида МДАИ могут быть объединены в единое пространство, в котором уже не нарушается замкнутость при обработке изображений. Существование этого пространство доказано в дескриптивных алгебрах изображений с одним кольцом. В диссертационной работе сформулирована теорема и вводится определение об этом пространстве.

*Теорема:* Упорядоченная совокупность  $GS_I = \langle M_{GS}, F_{GS} \rangle$  множества элементов  $M_{GS} = M_{bin} \cup M_{gray} \cup M_{color}$  и множества операций  $F_{GS} = F_{bin} \cup F_{gray} \cup F_{color} \cup \{O_T^{color \rightarrow gray}, O_T^{gray \rightarrow bin}\}$  является универсальной алгеброй.

*Определение 5:* Универсальная алгебра  $GS_I = \langle M_{GS}, F_{GS} \rangle$  называется пространством состояний изображений, если выполнены условия:

1.  $M_{GS} \neq \emptyset$ ; 2.  $O_T^{color \rightarrow gray} \in F_{GS}$  или  $O_T^{gray \rightarrow bin} \in F_{GS}$

В ходе исследований были получены следующие оценки мощностей множества главных элементов МДАИ.

1.  $P(M_{bin}) = 2^{nm}$ ; 2.  $P(M_{gray}) = 256^{nm}$ ; 3.  $P(M_{color}) = 256^{3nm}$  (1)

*Замечание:* Допустим, что СТЗ выполняет функцию измерения детерминированного признака  $p$  на изображении  $I_{color}^0$ . В ходе обработки изображения  $I_{color}^0$  получается такая реализация изображения, на которой можно достоверно измерить искомый признак  $p$ . Тогда, метод математического моделирования обработки изображения  $I_{color}^0$  согласно определению 3 будет записано в форме Т-ДАСПИ  $I_{bin}^n = \mathfrak{R}_T(\bar{\mu})(I_{color}^0) = O_{T,n}^k(\cdot, \mu_n)(\dots O_{T,2}^k(O_{T,1}^k(I_{color}^0, \mu_1))\dots)$

Допустим, что начальное изображение  $I_{color}^0$  выбирается таким, что изображение  $I_{bin}^n$ , полученное в ходе обработки, допускает измерение признака  $p$  с заранее заданной точностью  $\delta$ . Значит, измерение признака  $p$  можно производить на множестве бинарных реализаций изображений  $\{I_{bin}^n\}$ , которые могут содержать  $p - \delta, \dots, p + \delta$  пикселей с точностью до числа сочетаний этих позиций в  $I_{bin}^n$  по  $n \cdot m$ .

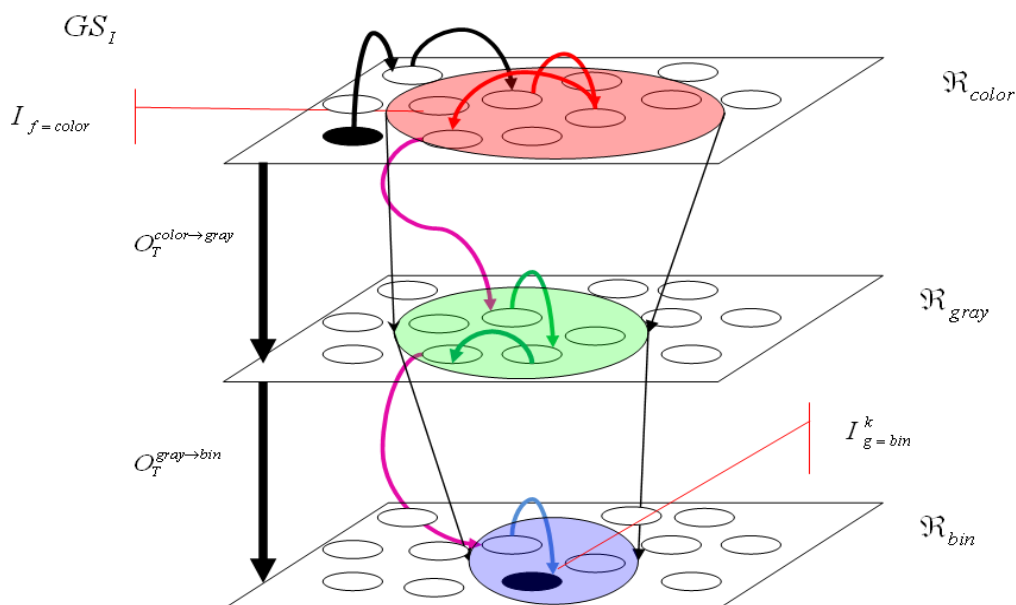


Рисунок 1 – Пространство состояний изображений и его воронка.

Следовательно, можно предположить, что в пространстве состояний изображений

жений  $GS_I = \langle M_{GS}, F_{GS} \rangle$  существует воронка (рисунок 1), в которой можно провести измерение признака  $p$  с точностью  $\delta$  используя метод измерения признака  $p^* = \mathfrak{R}_p(p)(I_{bin}^n) = O_P^{\det erm}(I_{bin}^n, p)$ . В каждой МДАИ воронка имеет свое сечение. Оценка этих сечений позволит подойти к выбору начальных изображений, как к задаче измерения геометрической вероятности попадания выбранного изображения в сечение воронки. Для оценки был использован комбинаторный анализ сечений.

Пусть начальное цветное изображение  $I_{color}^0$  обработано экспертом и на полученной реализации изображения  $I_{bin} = \|z_{ij}\|, z_{ij} \in \{0,1\}$  проведена экспертная оценка значения искомого признака  $N_{pix}$ . Например, если на изображении  $I_{bin} = \|z_{ij}\|, z_{ij} \in \{0,1\}$  содержатся только те пиксели, которые делают вклад в значение признака  $p$ , то  $p \approx N_{pix} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m z_{ij}$ . Пусть  $\varepsilon$  допускаемая погрешность в единицах измерения площади, а  $\delta$  - эта же погрешность в пикселях. Тогда точность вычислений определяется величиной  $\delta$  по формуле (2)

$$\delta = \lceil N_{pix} \cdot \varepsilon \rceil \quad (2)$$

Сечение воронки  $K_{bin}$  в МДАИ  $\mathfrak{R}_{bin}$  вычисляется по формуле (3)

$$K_{bin} = \sum_{l=p-\delta}^{p+\delta} C_{nm}^l \quad (3)$$

Каждое изображение в этом сечении воронки получено после конвертирования  $O_T^{gray \rightarrow bin}(:, \theta)$  с порогом  $\theta$  реализаций изображений  $I_{gray}$  из сечения воронки в  $\mathfrak{R}_{gray}$ . Сечение воронки  $K_{gray}$  в МДАИ  $\mathfrak{R}_{gray}$  вычисляется по формуле (4)

$$K_{gray} = \sum_{l=p-\delta}^{p+\delta} C_{nm}^l \cdot \theta^{nm-l} \cdot (256 - \theta)^l \quad (4)$$

Каждое изображение в этом сечении воронки получено после конвертирования  $O_T^{color \rightarrow gray}(:, *)$  реализаций изображений  $I_{color}$  из сечения воронки в  $\mathfrak{R}_{color}$ . Сечение воронки  $K_{color}$  в МДАИ  $\mathfrak{R}_{color}$  вычисляется по формуле (5)

$$K_{color} = (K_{gray})^3 \quad (5)$$

Таким образом, вероятность выбора начального изображения будет равна

$$P(I_{color} \in N_{color}) = \frac{K_{color}}{P(M_{color})} = \frac{K_{color}}{256^{3nm}} \quad (6)$$

С применением комбинаторных и вероятностной оценок (2)-(6) в диссертационной работе разработан алгоритм построения любого метода математического моделирования обработки и анализа изображений функцией СТЗ (Приложение А). Чтобы измерение было произведено с заранее заданной точностью, необходима оптимизация параметров разработанного математического метода.

В диссертационной работе задача параметрической оптимизации метода математического моделирования обработки и анализа изображений функ-

цией СТЗ сформулирована в форме

$$G(\langle \mu_1, \dots, \mu_n, \eta \rangle) = \left| p - \mathfrak{R}_p(\eta) \left( \mathfrak{R}_T(\langle \mu_1, \dots, \mu_n \rangle) (I_{color}^0) \right) \right| \rightarrow \min_{\langle \mu_1, \dots, \mu_n, \eta \rangle \in X} \quad (7)$$

$$X = \left\{ \langle \mu_1, \dots, \mu_n, \eta \rangle \mid \alpha_i \leq \mu_i \leq \beta_i, i = \overline{1, n}; \alpha_{n+1} \leq \eta \leq \beta_{n+1} \right\} \subset \mathfrak{R}^{n+1}$$

Она решается с применением генетического алгоритма. В диссертационной работе для решения задачи (7) впервые использован генетический алгоритм. Генетический алгоритм относится к классу стохастических численных методов многопараметрической оптимизации с ограничениями.

**Четвертая глава** посвящена решению задач вычисления площадей и количества природных водоемов на картографических данных. Для автоматизации расчета вероятности выбора начальных изображений для MATLAB был разработан программный комплекс MDAITool. Приложение используется для вычисления характеристик пространства состояния изображений. Комплекс имеет GUI-интерфейс. Может работать в ручном и автоматическом режимах. В интерфейс приложения встроены подсистема контроля управляющих элементов формы и подсистема помощи в виде всплывающих подсказок. Подсистемы информирования пользователя через информационную строку и отчетности позволяют пользователю оперативно получать информацию о текущем состоянии вычислений, а также промежуточную и результирующую отчетность.

Пусть заданы изображение природного водоема (рисунок 2, слева) и экспертная оценка его площади (рисунок 2, справа).

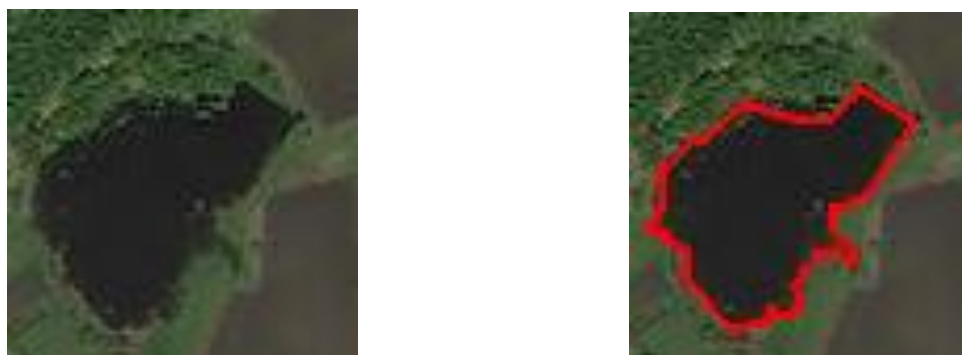


Рисунок 2 – Водоем (слева) и экспертная оценка его площади (справа).

Площадь природного водоема составляет  $S \approx 328,702 \text{ m}^2$ . Пусть измерение реальной площади озера производится с точностью  $\varepsilon = 50 \text{ m}^2$ , что составляет 15% от полной площади  $S$ . Тогда оценка погрешности в пикселях по формуле (2) равна  $\delta = \left\lceil \frac{2070 \cdot 15}{100} \right\rceil = \left\lceil \frac{31050}{100} \right\rceil = 310,5 \approx 311$  при числе существенных пикселей  $N_{pix} = 2070$ . Комбинаторная оценка сечения воронки  $K_{bin}$  в МДАИ  $\mathfrak{R}_{bin}$  по формуле (3) равна  $K_{bin} = \sum_{l=1759}^{2381} C_{7254}^l = .3423393567 \cdot 10^{1993}$ . При пороге конвертирования  $\theta = 64$  по формуле (4) была получена оценка сечения воронки  $K_{gray}$  в МДАИ  $\mathfrak{R}_{gray}$  равной  $K_{gray} = \sum_{l=1759}^{2381} C_{7254}^l \cdot 64^l \cdot 192^{7254-l} = .2190920805 \cdot 10^{17470}$ .

Оценка сечения воронки  $K_{color}$  в МДАИ  $\mathfrak{R}_{color}$  по формуле (5) равна  $K_{color} = (K_{gray})^3 = 0.1051671340 \cdot 10^{52409}$ . Следовательно, вероятность выбора начального изображения, позволяющего вычислить площадь  $S \approx 328,702 \text{ m}^2$  с погрешностью 15% по формуле (6) составляет

$$P(I_{color} \in N_{color}) = \frac{K_{color}}{256^{3nm}} = \frac{0.105167134 \cdot 10^{52409}}{0.131257799 \cdot 10^{52409}} = \frac{0.105167134 \cdot 10^{52409}}{0.131257799 \cdot 10^{52409}} \approx 0.8.$$

Далее производится формирование начальных изображений с полученной вероятностью. Применяя алгоритм, описанный в Приложении А, разрабатывается метод математического моделирования обработки и анализа изображений функцией СТЗ для измерения площади. Для данной задачи был получен следующий метод математического моделирования обработки и анализа изображений для вычисления количества по площади природного водоема (рисунок 2, слева).

$$N = \text{Alg}(I_{color}; \langle n, \theta \rangle)$$

$$\{I_{bin} = \|z_{ij}\|, I_{gray} = \|y_{ij}\|, I_{color} = \|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\|$$

$$\|y_{ij}\| = O_T^{color \rightarrow gray}(\|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\|; *), \quad y_{ij} = \left\lfloor \frac{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}{3} \right\rfloor$$

$$\|\overline{y_{ij}}\| = O_T^{medfilt}(\|y_{ij}\|; n, W), \quad \overline{y_{ij}} = med[y_{i+n, j+n}; (n, n) \in W]$$

(8)

$$\|z_{ij}\| = O_T^{gray \rightarrow bin}(\|\overline{y_{ij}}\|; *), \quad z_{ij} = \begin{cases} 0, & \overline{y_{ij}} < \theta \\ 1, & \overline{y_{ij}} \geq \theta \end{cases}$$

$$m = O_P^{blabel}(\|z_{ij}\|, q), \quad q \in \{4, 8\}$$

$$N = \begin{cases} P(S), & P(S) > 0 \\ m, & P(S) = 0 \end{cases}, \quad S = \{S_k \mid k = \overline{1, m}, |S_{expert} - S_k| \leq \varepsilon, \varepsilon \in [0; 1]\}$$

Далее ставится задача нахождения оптимальных параметров двухпараметрической целевой функции  $G(\overline{\mu})$  с линейными ограничениями:

$$G(\overline{\mu}) = \left| N^* - O_P^{blabel} \left( O_T^{gray \rightarrow bin} \left( O_T^{medfilt} \left( O_T^{color \rightarrow gray} \left( *; \|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\| \right), n \right), \theta \right), * \right) \right| \rightarrow \min_{\overline{\mu} \in X} \quad (9)$$

$$X = \{\overline{\mu} \mid \overline{\mu} = \langle n, \theta \rangle; n > 6, 0 < \theta \leq 1\} \subset \mathbb{N} \times \mathbb{Z},$$

где

$N^*$  (apriori)

$$\|y_{ij}\| = O_T^{color \rightarrow gray}(*; \|\langle r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \rangle\|), \quad x_{ij} = \left\lfloor \frac{r_{ij} + g_{ij} + b_{ij}}{3} \right\rfloor, \quad x_{ij}, r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \in \{0, \dots, 255\}$$

$$\|\overline{y_{ij}}\| = O_T^{medfilt}(\|y_{ij}\|; n, W), \quad \overline{y_{ij}} = med[y_{i+n, j+n}; (n, n) \in W] \in \{0, \dots, 255\}$$

$$\|z_{ij}\| = O_T^{gray \rightarrow bin}(\|\overline{y_{ij}}\|, \theta), \quad z_{ij} = \begin{cases} 0, & \overline{y_{ij}} < \theta \\ 1, & \overline{y_{ij}} \geq \theta \end{cases}$$

$$m = O_p^{bwlabeled} (\|z_{ij}\|, q), \quad q \in \{4, 8\}$$

$$N = \begin{cases} P(S), & P(S) > 0 \\ m, & P(S) = 0 \end{cases}, \quad S = \{S_k \mid k = \overline{1, m}, |S_{expert} - S_k| \leq \varepsilon, \varepsilon \in [0; 1]\}$$

Для решения данной задачи был использован генетический алгоритм. Была получена поверхность целевой функции (рисунок 3), которая позволила уменьшить пространство поиска на 60%.

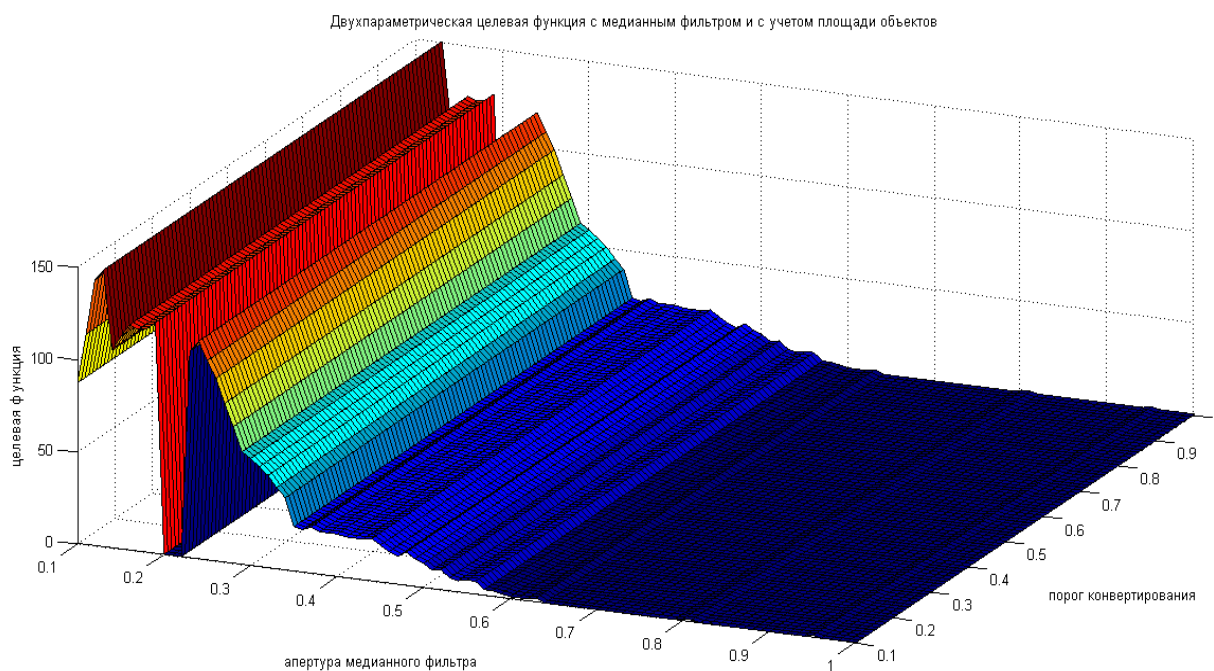


Рисунок 3 – Поверхность целевой функции.

Исследования генетического алгоритма проводились с целью повысить его эффективность в минимизации целевой функции. Рассматривались параметры генетического алгоритма: число элитных особей, вероятность кроссинговера и вероятность мутации.

В результате оптимизации целевой функции (9) были получены следующие точки минимума (таблица 1).

Таблица 1

Точки минимума двухпараметрической целевой функции.

<i>Апертура</i>	<i>Порог</i>	<i>Апертура</i>	<i>Порог</i>	<i>Апертура</i>	<i>Порог</i>
0.8942	0.8708	0.9901	0.2189	0.5612	0.2173
0.8057	0.2316	0.924	0.2325	0.8252	0.2308
0.8784	0.2116	0.988	0.2215	0.8965	0.2221
0.1636	0.2221	0.974	0.2158	0.1	0.2214
0.9901	0.2189	0.8252	0.2308	0.5305	0.2213
0.7108	0.2153	0.1	0.2214	0.3782	0.2334
0.7303	0.2199	0.4526	0.2227	0.3149	0.2183
0.3896	0.2308	0.345	0.2262	0.1	0.2018
0.2162	0.2219	0.7506	0.2229	0.8613	0.2262
0.42	0.239	0.1	0.2018	0.8814	0.2181



Была получена наиболее эффективная вероятность кроссинговера генетического алгоритма, равная 0.7 (рисунок 4).

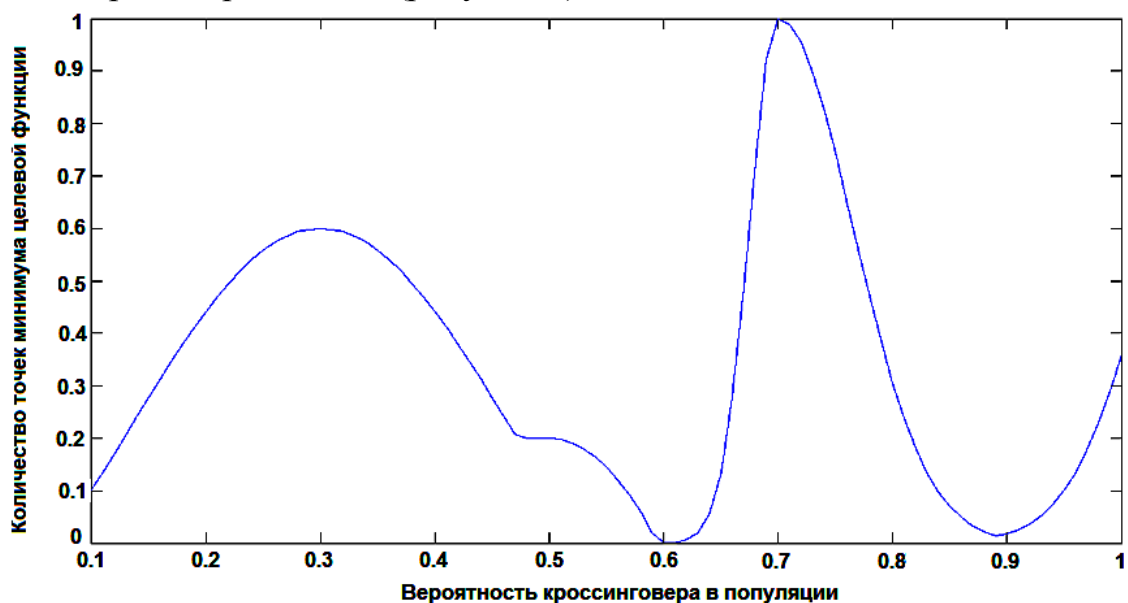


Рисунок 4 – Влияние вероятности кроссинговера на число точек минимума.

Обнаруженные точки минимума с учетом вероятности кроссинговера, равной 0.7, образуют наборы значений (таблица 1) для параметров генетического алгоритма – апертюра медианного фильтра и порог конвертирования. Результаты применения измерительной функции СТЗ, площадям новых природных водоемов, приведены в таблице 2. Общая площадь 2 природных водоемов составляла 3372 пикселя.

Таблица 2

Измерение площадей новых природных водоемов.

<i>Площадь, пиксель</i>	<i>Точность, %</i>	<i>Отклонение, %</i>	<i>Площадь, пиксель</i>	<i>Точность, %</i>	<i>Отклонение, %</i>
3372	100.00	0.00	2957	87.69	0.12
3120	92.53	0.07	3011	89.29	0.11
2986	88.55	0.11	3027	89.77	0.10
3022	89.62	0.10	3022	89.62	0.10
2993	88.76	0.11	3158	93.65	0.06
3049	90.42	0.10	2917	86.51	0.13
3101	91.96	0.08	2993	88.76	0.11
3099	91.90	0.08	3039	90.12	0.10
3022	89.62	0.10	3123	92.62	0.07
3128	92.76	0.07	3039	90.12	0.10
3131	92.85	0.07	3099	91.90	0.08
3025	89.71	0.10	3068	90.98	0.09
2996	88.85	0.11	3055	90.60	0.09
2986	88.55	0.11	3110	92.23	0.08
3120	92.53	0.07	3117	92.44	0.08
3061	90.78	0.09	3064	90.87	0.09

В **заключении** представлены основные выводы по результатам исследований в соответствии с пунктами паспорта специальности и приведены рекомендации по их использованию.

*В рамках комплексных исследований научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента получены:*

1. Математический аппарат МДАИ, представляющий специализацию ДАИ на случай универсальных алгебр, который позволяет описывать и исследовать процессы обработки и анализа изображений в СТЗ и СКЗ.
2. Пространство обработки и анализа изображений, а также проведена его комбинаторная оценка, которая позволяет выбирать подходящие начальные изображения для разработки математических методов обработки и анализа изображений.
3. Методика улучшения математических методов обработки и анализа изображений путем их оптимизации генетическим алгоритмом, которая позволяет получить возможные режимы работы измерительных функций СТЗ и СКЗ.

*В рамках разработки новых математических методов моделирования объектов и явлений получены:*

1. Способ построения методов математического моделирования обработки и анализа изображений в пространстве состояния изображений, который позволяет разрабатывать функции СТЗ и СКЗ для измерения различных признаков объектов наблюдения.
2. Способ измерения площади и количества природных водоемов на размытых изображениях в ходе минимизации нелинейной многопараметрической целевой функции с линейными ограничениями, который позволяет вычислять оптимальные значения параметров измерительных функций СТЗ и СКЗ.

*В рамках реализации эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента:*

1. Впервые применен генетический алгоритм для нахождения оптимальных значений параметров измерительных функций СТЗ и СКЗ, который позволяет выявить возможные значения параметров для измерения площадей и количества с заданной точностью.
2. Разработан программный комплекс в MATLAB, позволяющий получить комбинаторную оценку воронки пространства обработки и анализа изображений для выбора начальных изображений.

### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

*Публикации в российских рецензируемых научных изданиях и журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:*

1. Исхаков, А.Р. Система классификации микроскопических водорослей рода *Chlorella* / А.Р. Исхаков, М.Р. Богданов, А.В. Богданова // Известия Са-

марского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т.12, №1(3). – С. 688-690. (**Web of Science**)

2. Исхаков, А.Р. Автоматизация предварительной обработки картографического материала, содержащего цветные контуры, в целях их дальнейшей векторизации / А.Р. Исхаков, Р.М. Асадуллин, М.Р. Богданов, Н.И. Федоров // Информационные технологии. – 2011. - №5. – С. 67-72.
3. Исхаков, А.Р. Доверенные сети связи, как основа информационной безопасности государства / А.Р. Исхаков, Т.Я. Якубов, А.Р. Маннапов // Информационное общество. – 2015. - №1. – С. 37-48.
4. Iskhakov, A.R. Calculation of aircraft area on satellite images by genetic algorithm / A.R. Iskhakov, R.F. Malikov // Bulletin of the south ural state university. Series: «Mathematical modeling, programming & computer software». – 2016. – Vol.9, No.4. – P. 148-154. (**Scopus, Web of Science, EBSCO, Zentralblatt MATH, Ulrich's Periodicals Directory**)

#### *Монография*

5. Исхаков, А.Р. Моделирование систем технического зрения в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений: монография / А.Р. Исхаков, Р.Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2015. – 159 с.: ил.

#### *Свидетельство о регистрации программы*

6. Исхаков, А.Р. Электронный ресурс «Программный комплекс MDAITool 1.0 «Проектирование информационных систем» / А.Р. Исхаков, Р.Ф. Маликов. – М.: ФГНУ ИНИПИ РАО, ОФЭРНиО № 22154 от 20.09.2016.

#### *Другие научные статьи и тезисы докладов*

7. Исхаков, А.Р. Об одном подходе к формализации операции структуризации, процедурных преобразований и Т-представлений в дескриптивных алгебрах изображений / А.Р. Исхаков, Ф.Ф. Исламов, Г.В. Логвин, М.С. Агафонов // Материалы международной заочной научно-практической конференции «Инновации и современная наука», Новосибирск, 12 декабря 2011 г. – Ч.1. – С.6-18.
8. Исхаков, А.Р. Параметрические преобразования и Р-представления дескриптивных алгебр изображений / А.Р. Исхаков, Н.Г. Мигранов, Е.М. Кузнецова, И.В. Мухаметова, В.А. Галанов // Материалы международной заочной научно-практической конференции «Математика и информационные технологии в современном мире», Новосибирск, 20 декабря 2011 г. – С.65-76.
9. Исхаков, А.Р. Математическое моделирование систем технического зрения на основе модифицированных дескриптивных алгебр изображений / А.Р. Исхаков, Р.Ф. Маликов, Н.Г. Мигранов // Материалы республиканской научно-практической конференция «Информатизация образовательного пространства: опыт, проблемы и перспективы», Уфа, 22 декабря 2011 г. – Ч.2. – С.12-17.
10. Исхаков, А.Р. Модифицированные дескриптивные алгебры изображений и пространство состояний изображения / А.Р. Исхаков, Н.Г. Мигранов, А.И. Ильина, Р.М. Гумеров. // Материалы IX международной научно-практической конференции «Современные проблемы гуманитарных и ес-

- тественных наук», Москва, 30-31 декабря 2011 г. – С.94-101.
11. Исхаков, А.Р. Моделирование функции системы технического зрения в пространстве состояний изображения / А.Р. Исхаков, Н.Г. Мигранов, А.С. Павлов, Э.Ф. Газизов // Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции «Теория и практика современной науки», Москва, 30 декабря 2011 г. – С. 169-185.
  12. Исхаков, А.Р. Нейронные сети в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений / А.Р. Исхаков, Н.Г. Мигранов. // Сборник тезисов X Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение», Москва, 20 марта 2012 г. – С.34.
  13. Исхаков, А.Р. Методология теории обработки и анализа изображений / А.Р. Исхаков, Р.Ф. Маликов, Н.Г. Мигранов // Сборник трудов конференции «Прикладная информатика и компьютерное моделирование», Уфа, 25-28 мая 2012 г. – С.100-103.
  14. Исхаков, А.Р. Обработка и анализ изображений в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений / А.Р. Исхаков, Н.Г. Мигранов, Р.Ф. Маликов // Сборник трудов XIII Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием, Белгород, 16-20 октября 2012 г. – С.44-51.
  15. Исхаков, А.Р. Математическое моделирование систем технического зрения в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Робототехника и искусственный интеллект», Железнодорожск, 13 декабря 2014 г. – С. 89-95.
  16. Исхаков, А.Р. Параметрический синтез систем технического зрения в модифицированных дескриптивных алгебрах изображений // Исследования наукограда. – 2015. – №2 (12). – С. 24-31.
  17. Исхаков, А.Р. Интеллектуальная система анализа видео-контента в доверенных сетях связи // Тезисы докладов конференции «Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015», Москва, 16-20 февраль 2015 г. – С. 124.
  18. Iskhakov, A.R. Mathematical methods of modeling of image processing and analysis in the modified descriptive algebras of images / Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2016. – Vol.3, No.1. –P.3-9.

Лиц. на издат. деят. Б848421 от 03.11.2000 г. подписано в печать 19.04.2017

Формат 60x84/16. Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman.

Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. – 1,2. Уч.-изд. л. – 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ №796

ИПК БГПУ 450000, г.Уфа, ул. Октябрьской революции, За

