

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

*На правах рукописи*

**Шевцов Дмитрий Валерьевич**

**РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами (по отраслям)  
(технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Донецк – 2019

Работа выполнена в ГОУВПО «ДОННУ» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики (г. Донецк)

**Научный  
консультант:**

доктор технических наук, профессор,

**Мышко Сергей Васильевич,**

**Научный  
консультант:**

доктор технических наук, профессор,

**Толстых Виктор Константинович,**  
ГОУВПО «ДОННУ» (г. Донецк), профессор  
кафедры компьютерных технологий

**Официальные  
оппоненты:**

**Квятковская Ирина Юрьевна,**

доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУВО «Астраханский государственный  
технический университет» (РФ, г. Астрахань),  
заведующая кафедрой «Высшая и прикладная  
математика»

**Антипов Игорь Владиславович,**

доктор технических наук, профессор,  
Республиканский академический научно-  
исследовательский и проектно-конструкторский  
институт горной геологии, геомеханики,  
геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ)  
(г. Донецк), ведущий научный сотрудник

**Иванова Анна Александровна,**

доктор технических наук,  
ГУ «Институт прикладной математики и  
механики» (г. Донецк), заведующая отделом  
теории управляющих систем

**Ведущая организация:** ГУ «Научно-исследовательский и проектно-  
конструкторский институт по автоматизации  
горных машин» «Автоматгормаш им. В.А.  
Антипова» (г. Донецк)

Защита состоится «19» мая 2020 г. в 12<sup>00</sup> часов на заседании  
диссертационного совета Д 01.024.04 при ГОУВПО «ДОННТУ» и  
ГОУВПО «ДОННУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артёма, 58,  
1 уч. корпус, ауд. 1.203. Тел./факс +38(062)3043055, E-mail:  
[uchensovet@donntu.org](mailto:uchensovet@donntu.org)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «ДОННТУ»  
по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артёма, 58, 1 уч. корпус  
Адрес сайта университета: <http://donntu.org>

Автореферат разослан «    »                      2020 г.

Учёный секретарь совета Д 01.024.04  
канд. техн. наук, доцент

 Т.В. Завадская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Задачи учета, обработки, анализа и хранения больших объемов информации, содержащейся в различного рода документах, является неотъемлемой частью работы любого учреждения или организации. Библиотеки, архивные организации и музеи, выполняющие общественно-коммуникативную функцию как базовые элементы культурной, образовательной и информационной инфраструктуры, должны эффективно обеспечивать хранение, накопление и доступ к документам и содержащейся в них информации с целью реализации конституционных прав граждан Донецкой Народной Республики, связанных с удовлетворением информационных потребностей, свободы литературного, художественного, научного и технического творчества, защитой интересов субъектов авторского права и смежных прав. Функционирование органов государственного управления, предприятий крупного, среднего и малого бизнеса различных форм собственности невозможно без совокупности процессов, которые обеспечивают документирование управленческой информации и организацию работы с документами.

Подготовка, формирование и сопровождение рабочей конструкторской документации предполагают необходимость создания, накопления, учета, анализа, систематизации и хранения больших объемов различных документов, таких как чертежи, схемы, графики, таблицы, отчеты и прочие. Решение перечисленных задач позволяет, в частности, автоматизировать технологические процессы; усовершенствовать производство; модернизировать оборудование; повышать качество, расширять ассортимент и снижать себестоимость готовой продукции; увеличивать надежность и безопасность производственных линий.

Эффективная организация труда сотрудников библиотек, архивных и музейных учреждений, отделов делопроизводства промышленных предприятий, конструкторских проектных бюро на сегодняшний день предполагает внедрение и эксплуатацию современных информационных технологий (ИТ) для решения множества практических и прикладных задач.

Современные тенденции к компьютеризации информационных структур в рамках используемых средств автоматизации предопределяют создание и применение электронных информационных ресурсов, которые постепенно вытесняют традиционные документы на бумажных носителях.

При этом возникают задачи, связанные с потоковым сканированием, вводом и распознаванием полнотекстовых документов; сканированием и распознаванием документов с занесением данных в систему для ускорения анализа и увеличения достоверности информации; преобразованием чертежей в векторную форму представления; конвертации форматов документов; приведения документов к редактируемому формату; индексации сканированных копий документов; эффективной организацией

процессов хранения электронных документов и поиска, предполагающие аналитическую обработку изображений.

Анализ современных тенденций развития информационных технологий обосновывает актуальность автоматизации процессов поиска и аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов. В Статье 8 Закона об информации и информационных технологиях, принятого Народным Советом Донецкой Народной Республики 07 августа 2015 года (Постановление № I-278П-НС) отмечена необходимость обеспечения права граждан на доступ к информации, накапливаемой в открытых фондах библиотек, музеев и архивов, а также в государственных информационных системах, информационных системах органов местного самоуправления и иных информационных системах, созданных или предназначенных для обеспечения физических и юридических лиц такой информацией.

Задачи анализа, распознавания и приведения к редактируемому формату электронных копий документов в системах документооборота различных предприятий и организаций в настоящее время решаются разработчиками систем оптического (optical character recognition) и интеллектуального (intelligent character recognition) распознавания текста. Использование современных технологий распознавании зрительных образов предоставляет пользователям возможности поиска информации по содержимому файлов в форматах PDF, Jpeg, TIFF, bmp, gif, png, dib в отсканированных страницах книг, рекламных буклетов, электронных копиях подписанных договоров, презентациях, анкетным формам и других документах; автоматической индексации электронных копий документов для поиска по содержимому на Internet-серверах Google; обучения системы распознавания знакам алфавитов, изначально не присутствовавшим в базовом наборе эталонов, с целью анализа текстов, содержащих нестандартные символы.

Таким образом, на сегодняшний день одной из актуальных научных задач в направлении развития и усовершенствования процессов и систем автоматизации документооборота является эффективное приведение электронных копий документов к редактируемому формату на основе развития моделей, методов и ИТ автоматической обработки цифровых изображений знаков открытых алфавитов, которые позволят осуществлять классификацию и именование объектов безотносительно к предметной области, специфике информационного контекста документов и используемым словарям, шрифтам и символам в теории распознавания зрительных образов.

**Степень разработанности темы исследования.** Решение задач развития теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота путем разработки средств автоматизации поиска и аналитической обработки электронных информационных ресурсов в настоящее время осуществляется, как правило, на основе применения современных подходов, методов, способов и соответствующих алгоритмов

теории распознавания зрительных образов к электронным копиям документов.

За последние десятилетия сформировано множество фундаментальных подходов к решению задач автоматизации процессов обработки, анализа и распознавания зрительных образов в сканированных документах, различающихся целями обработки, предметной областью применения, природой используемой информации и математическим аппаратом. Среди них наибольшими возможностями обладают структурные методы (весомый вклад в развитие данного направления внесли Д. Альвес, М. Бауэр, Е. Брондизио, Л. Брюззон, Дж.Б. Коллинс, Р. Конгэлтон, П.Р. Коппин, С. Франклин, П. Фернандес, Т. Фанг, Дж.Р. Дженсен, А. Хьюэстар, Э. Лэмбин, Е. Морен, Р. Нэльсон, С. Серпико, Д. Тауншенд, К.Е. Вудкок, а среди отечественных ученых – Ю.И. Журавлев, Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, Л.М. Местецкий, Ю.П. Пытьев, В.В. Сергеев, А.И. Чуличков, А.Ю. Рубис, В.С. Горбачевич), детерминистские подходы (в данном направлении следует отметить таких исследователей, как Д. Хьюбел, Т. Визел, Т. Кохонен, М. Турк, А. Петланд, Д. Хинтон, Я. Лекун, Гонсалес Р., Дуда Р., Ли К., Прэтт У., Форсайт Д.А., Фу К., Хорн Б.К.П., Павлидис Т., Глушков В.М., Журавлев Ю.И., Сойфер В.А., Шлезингер М.И., Местецкий Л.М.), а также методы, основанные на теории решений, разработкой и внедрением которых занимаются Дж.З. Ванг, А. Гупта, С. Карсон, Дж.П. Эйкинс, Н.С. Байгарова, Е.П. Путятин, Ю.А. Бухштаб и другие. Также широко распространены комбинации различных методов, направленные на эффективное решение прикладных задач распознавания зрительных образов.

В последние годы перечисленные подходы прочно утвердились как проверенные и надежные методы обработки изображений различных классов, в том числе сканированных документов, электронных информационных ресурсов, и они активно развиваются во всем мире, о чем свидетельствует значительное количество публикаций и международных конференций по данной тематике.

Однако, не смотря на то, что разработанные на основе теории распознавания образов системы приведения сканированных копий документов к редактируемому формату успешно внедрены более чем в 30 странах мира, вследствие чего существенно повысилась эффективность работы с электронными информационными ресурсами за счет использования современных технологий распознавания, результаты автоматической обработки широкого класса документов (сканированных книг, содержащих математические, химические символы, знаки нестандартных алфавитов, анкет, бланков, заявок, удостоверений личности, карточек складского учета, приказов, форм, таблиц, коммерческих предложений, чертежной и проектной документации) в общем случае не соответствуют пользовательским потребностям.

Данный факт обусловлен, в частности, значительным количеством ошибок, допускаемых при распознавании слабо структурированных либо

неструктурированных текстов; сложностью автоматической интерпретации нестандартных, специальных и рукописных символов; низким качеством электронных копий документов, полученных в результате сканирования и, как следствие, содержащих помехи (шумы), что во многих случаях приводит либо к неверной интерпретации символов, либо делает распознавание невозможным; отсутствием единых правил анализа полнотекстовых документов; ограниченностью наборов словарей, используемых при распознавании.

Избежать указанных недостатков возможно путем разработки методов и информационных технологий обработки сканированных копий документов электронных информационных ресурсов, содержащих знаки различных алфавитов, в том числе открытых, при этом их реализация должна осуществляться в автоматическом режиме безотносительно к априорному выбору значащих свойств, множеств имен классов и изображений знаков – объектов обучающей выборки, поскольку указанный выбор существенно ограничивает функциональность систем распознавания изображений.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является совершенствование современных компьютерных систем автоматизации документооборота на основе развития методов и информационных технологий автоматического моделирования, именования и классификации растровых цифровых изображений.

Достижение поставленной цели осуществляется путем решения следующих основных задач:

- обзор современных компьютерных систем автоматизации документооборота, анализ методов распознавания и приведения к редактируемому формату сканированных документов электронных информационных ресурсов и определение значений показателей качества функционирования указанных систем;

- обоснование перспективных направлений развития компьютерных систем автоматизации документооборота путем совершенствования существующих, а также разработки инновационных методов и принципов моделирования, классификации и распознавания цифровых изображений;

- развитие теоретических основ моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений (РЦИ) знаков в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов;

- развитие и внедрение в компьютерных системах автоматизации документооборота метода автоматического моделирования цифровых изображений знаков открытых алфавитов, не предполагающего априорного задания множеств производных элементов, значащих свойств, мер близости и пороговых значений для его реализации;

- развитие информационных технологий автоматизации систем документооборота за счет автоматической обработки, анализа, моделирования, именования, классификации и распознавания изображений

знаков открытых алфавитов, содержащихся в сканированных копиях документов электронных информационных ресурсов;

– апробация разработанных методов и ИТ на изображениях знаков открытых алфавитов в экзаменационной выборке документов, относящихся к разнообразным сферам деятельности компьютерных систем автоматизации документооборота;

– подтверждение полученных в диссертационном исследовании результатов путем сравнительного анализа данных, определенных в ходе экспериментальной апробации использования разработанных моделей, методов и ИТ для преобразования к редактируемому формату сканированных копий документов в компьютерных системах автоматизации документооборота.

*Объект исследования:* компьютерные системы автоматизации документооборота, реализующие анализ и распознавание сканированных копий документов электронных информационных ресурсов.

*Предмет исследования:* теоретические основы и информационные технологии моделирования, классификации и распознавания цифровых изображений как средство автоматизации компьютерных систем документооборота.

### **Научная новизна полученных результатов.**

1. Впервые предложен общий подход к решению задачи автоматического моделирования и распознавания изображений знаков открытых алфавитов без априорного задания множеств имен классов обрабатываемых объектов и множества элементов репрезентативной выборки, традиционно используемой на этапах проектирования и разработки систем преобразования сканированных копий документов к редактируемому формату, что позволило отказаться от использования производных элементов, эталонов, значащих признаков, мер близости и пороговых констант, либо интервалов их значений, для описания и классификации анализируемых объектов.

2. Впервые представлено обоснование выбора образов изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, в качестве объектов исследования в комплексе задач их автоматического моделирования, именования и классификации, что позволило конструктивно учесть специфику представления сканированных копий документов в цифровом формате средствами используемой электронно-вычислительной техники и, как следствие, осуществлять процессы анализа непротиворечиво к результатам дискретизации исходных изображений.

3. Для путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов изображений знаков открытых алфавитов, впервые введены понятия различной ориентации, позволяющие на дискретном множестве учитывать такие характеристики, которые в некотором смысле аналогичны понятиям выпуклости и вогнутости, определенных для кривых в терминах свойств всюду плотных

множеств и позволяющих, в частности, учитывать локальные свойства соответствующих объектов, моделирующих изображения знаков, например, в признаковых и структурных подходах к распознаванию.

4. На множестве атомарных элементов для путей, формирующих представление образов растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, впервые даны определения взаимного расположения элементарных составляющих моделей, что позволило конструктивно определить различные типы пар путей и способы установления атрибутов для каждой из них. Вследствие этого автоматическое моделирование позволило учитывать для описания объектов исследования наличие пересечений, касаний и иных относительных характеристик, которым ставятся в соответствие значения соответствующих атрибутов.

5. Впервые на множестве атомарных элементов предложено понятие меры объектов, аналогичное градусной мере, заданной в терминах свойств всюду плотных множеств, что позволило в процессе моделирования дискретных образов изображений знаков открытых алфавитов измерять и учитывать характеристики путей, аналогичные значениям меры угла между парой отрезков и меры угла наклона отрезка к горизонтали.

6. Впервые предложено определение подпутей различных уровней, что предоставило возможность при моделировании относительных характеристик, устанавливаемых на множестве путей образа цифрового изображения знака, учитывать, в частности, различие их длин по мере, равной числу связей, составляющих конкретный путь. При этом для каждого пути критериально установлены «допустимые» пределы изменения меры его «длины», так как многократная генерация одноименных изображений не всегда характеризуется равенством продолжительностей соответствующих элементарных составляющих.

7. Впервые конструктивно определен элемент, используемый для покрытия путей с целью их автоматического моделирования, и его количественные и структурные параметры, что позволило ввести понятие полного покрытия пути и формализовать правила выявления фрагментов, характеризуемых сохранением локально-глобальных направлений движений, реализованных в процессе генерации прообраза исходного знака.

8. Впервые введено понятие моделей фрагмента и всего образа цифрового изображения знака на множестве атомарных элементов как совокупности дискретных отрезков, что при различных значениях размеров элементов покрытия и их секторов позволило сформировать множество математических моделей каждого образа как множества путей. Выбор дискретного отрезка как единой структурной составляющей моделей также теоретически обоснован в работе.

9. В диссертационной работе впервые определены понятия сходства, подобия и эквивалентности моделей дискретных образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, что позволило разработать информационную технологию автоматического

представления, именования, классификации и распознавания объектов исследования настоящей работы.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Получившие развитие в диссертационной работе модели, методы и информационные технологии являются оригинальными теоретическими положениями и позволяют усовершенствовать современные компьютерные системы автоматизации документооборота за счет повышения точности распознавания содержимого сканированных копий документов электронных информационных ресурсов различных предприятий и организаций безотносительно к их сфере профессиональной деятельности, связанной с обработкой и преобразованием графической информации, представленной в редактируемом формате.

Применение результатов диссертационного исследования позволяет повысить точность распознавания сканированных копий документов электронных ресурсов, содержащих изображения знаков произвольных алфавитов, на величину до 32,62 %, что является качественным показателем практической значимости разработанных моделей, методов и информационных технологий.

Комплекс информационных технологий автоматической обработки, именования, классификации и распознавания растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, основанный на предложенных в работе методах и моделях, использован в системе документооборота ООО «МСталь» (г. Кимры, РФ) при решении задач приведения сканированных копий документов к редактируемому формату, что позволило решить задачи эффективного учета, хранения, сортировки, систематизации и анализа коммерческих предложений контрагентов ООО «МСталь», и в целом привело к повышению точности принятия решений по выбору коммерческих предложений из множества поступивших, снизило объемы хранимой электронной документации и уменьшило экономические потери, возникающие вследствие допущенных ошибок при анализе коммерческих предложений (Акт о внедрении утвержден Генеральным директором ООО «МСталь» Сабиным С.А. «03» декабря 2019 г. и проректором по научной и инновационной деятельности ГОУ ВПО «ДонНУ» д-ром техн. наук, проф. Сторожевым В.И. «03» декабря 2019 г.).

Предложенные в работе методы, модели и информационные технологии внедрены в специализированном конструкторском бюро ООО «Бета ТВ ком» (г. Донецк) для автоматизации технологических процессов накопления, учета, анализа, систематизации и хранения больших объемов технической документации. Применение полученных в работе результатов позволило усовершенствовать производственные процессы предприятия, повысить качество, расширить ассортимент и сократить сроки изготовления продукции, в частности, одно- и двусторонних печатных плат с металлизацией отверстий и защитной маской (в том числе СВЧ). (Акт о внедрении утвержден Генеральным директором ООО «Бета ТВ ком» Ушаковым А.Н. «06» декабря 2019 г. и проректором по научной и

инновационной деятельности ГОУ ВПО «ДонНУ» д-ром техн. наук, проф. Сторожевым В.И. «06» декабря 2019 г).

Методы, модели и информационные технологии, разработанные в диссертационной работе, приняты к использованию архивом ГПОУ «Донецкий транспортно-экономический колледж», что позволило упростить процессы упорядочивания электронных копий документов и обеспечения оперативного доступа к ним, повысить эффективность поиска и отображения архивных документов. Как следствие, упрощена классификация дел и рубрикация документов с учетом различных форм, осуществлена возможность хранения не только карточек документов, но и соответствующих электронных образов документов, обеспечен удаленный доступ пользователей к электронным образам дел и документов (Акт о внедрении утвержден директором ГПОУ «ДОНТЭК» Демурой Ю.Н. «11» декабря 2019 г. и проректором по научной и инновационной деятельности ГОУ ВПО «ДонНУ» д-ром техн. наук, проф. Сторожевым В.И. «11» декабря 2019 г).

Подход к автоматическому моделированию и распознаванию изображений знаков без априорного задания множеств имен классов обрабатываемых объектов и множества элементов репрезентативной выборки; обоснование выбора образов изображений знаков открытых алфавитов в качестве объектов исследования в комплексе задач их автоматического моделирования, именования и классификации; понятия различной ориентации путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов изображений знаков открытых алфавитов; метод многоуровневого моделирования знаков использованы в качестве основного материала для проведения лекционных и лабораторных занятий по дисциплинам «Прикладные информационные технологии 5, 6» для студентов ОП «Бакалавриат», «Прикладные информационные технологии», «Анализ и обработка изображений» для студентов ОП «Магистратура» направлений подготовки 02.03.02, 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»; основные теоретические положения диссертационного исследования использованы при выполнении дипломных работ и магистерских диссертаций студентами ОП «Бакалавриат» и «Магистратура» направлений подготовки 02.03.02, 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»; разработанный комплекс информационных технологий решения задач приведения сканированных копий документов к редактируемому формату внедрен и апробирован в ходе прохождения производственных и преддипломных практик студентами указанных направлений подготовки.

Внедренные результаты диссертационного исследования позволили активизировать учебный процесс при подготовке высококвалифицированных специалистов в области информационных технологий и математического моделирования, а также актуализировать материал лекционных и лабораторных занятий в соответствии с

современными тенденциями развития компьютерных наук (подтверждено справкой о внедрении № 5506/01-27/6.1.0 от «12» декабря 2019 г).

Копии документов, подтверждающие практическое использование полученных в работе результатов, представлены в Приложении А к диссертации.

**Методология и методы исследования.** При решении поставленных задач в диссертационной работе использованы методологии и методы: математического моделирования, позволившие определить основные теоретические положения и метод автоматического моделирования образов изображений знаков на дискретном множестве атомарных элементов; теории информации и кодирования, на основании которых определены структура и основные элементы математических моделей распознаваемых образов; теории распознавания образов, согласно которым установлены способы и механизмы классификации и именования анализируемых объектов; автоматического анализа сложных изображений, позволившие разработать комплекс информационных технологий автоматической обработки, анализа, моделирования и распознавания изображений знаков открытых алфавитов; современные методы программирования, которые применялись в процессе практической апробации возможностей использования результатов диссертационной работы для эффективного преобразования сканированных копий документов электронных информационных ресурсов в редактируемый формат.

**Положения, выносимые на защиту.** Все основные идеи, положения, теоретические и практические результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. К таковым относятся:

1. Общий подход к решению задачи автоматического моделирования и распознавания изображений знаков открытых алфавитов в терминах дискретного множества, отличающийся от общепринятых отсутствием априорного задания множеств имен классов обрабатываемых объектов и элементов репрезентативной выборки, безотносительно к выбору эталонов, значащих признаков, мер близости и пороговых констант.

2. Определения различной ориентации путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов изображений знаков открытых алфавитов, которые в некотором смысле аналогичны понятиям выпуклости и вогнутости кривых в терминах свойств всюду плотных множеств.

3. Определения взаимного расположения элементарных составляющих моделей образов растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, отличающиеся конструктивизмом в описании моделируемых объектов пересечений, касаний и иных относительных характеристик, которым ставятся в соответствие значения соответствующих атрибутов.

5. Мера классов объектов на множестве атомарных элементов, аналогичная градусной мере, заданной в терминах свойств всюду плотных множеств, использование которой позволяет учитывать количественные и качественные характеристики путей.

6. Определение подпутей различных уровней и критериальное установление «допустимых» пределов изменения меры их «длин» с целью учета возможных вариативностей в используемых элементарных составляющих математических моделей.

7. Определение элемента покрытия путей при их автоматическом моделировании и его количественных и структурных параметров, понятие полного покрытия пути и установление правил выявления фрагментов, характеризующихся сохранением локально-глобальных направлений движений, реализованных в процессе генерации прообраза исходного знака.

8. Понятия моделей фрагмента и всего образа цифрового изображения знака на множестве атомарных элементов как совокупности дискретных отрезков, обоснование выбора дискретного аналога отрезка как единой структурной составляющей генерируемых моделей.

9. Определения понятия сходства, подобия и эквивалентности моделей дискретных образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, положенных в основу информационной технологии автоматического представления, именования, классификации и распознавания образов бинарных цифровых изображений знаков, содержащихся в сканированных копиях документов электронных информационных ресурсов.

**Степень достоверности и апробация результатов диссертации.** Изложенные в диссертационном исследовании положения, выводы и рекомендации по использованию являются достоверными, что подтверждается:

- достаточной полнотой критического анализа классических и современных литературных источников, содержащих фундаментальные и актуальные результаты прогрессивных исследований в предметной области решаемой задачи;

- корректным и последовательным изучением методов, моделей, способов и алгоритмов автоматизации процессов и систем документооборота;

- грамотным применением математического аппарата, теории распознавания изображений, средств математического моделирования, структурным и логическим изложением теоретических положений и практических разработок и рекомендаций;

- обоснованным выбором методологической базы исследования, способами и формами проведения апробации и сравнения рассматриваемых в работе и разработанных автором информационных технологий и систем.

Основные результаты исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на VIII Международной научно-технической конференции «Контроль и управление в сложных системах» (Винница, 2005), XIII Международной научной конференции по автоматическому управлению «Автоматика-2006» (Винница, 2006), VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии СИЭТ-2007» (Одесса, 2007), XI Научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании и управлении» (Новая Каховка, 2009), Научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Донецкого национального университета по итогам научно-исследовательской работы за период 2007-2008 гг. (Донецк, 2009), VIII Международной научно-практической конференции «Математическое и программное обеспечение интеллектуальных систем» (Днепропетровск, 2010), VIII, IX, XI Международных научно-практических конференциях «Современные информационные и электронные технологии» (Одесса, 2007, 2008, 2010), II Международной конференции «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды» (Нальчик, 2011), I Международной научной конференции «Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности» (Донецк, 2016), Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Донецкие чтения 2017: русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса» (Донецк, 2017), IV Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» (Горловка, 2018), III Международной научной конференции «Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» (Донецк, 2018), II Международной научно-практической конференции «Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2018)» (Донецк, 2018), IV Международной научной конференции «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» (Донецк, 2019).

**Публикации.** По результатам диссертации опубликовано 32 научные работы, из них 18 – в ведущих специальных изданиях, 14 – в материалах и тезисах конференций.

**Соответствие темы и содержания диссертации паспорту научной специальности.**

Полученные результаты, положения и выводы отвечают требованиям паспорта специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки)», в частности: п.3 «Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных

систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.»; п.4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»; п.8 «Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»; п.15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.)»; п.18 «Средства и методы проектирования технического, математического, лингвистического и других видов обеспечения АСУ».

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 325 наименований, содержит четыре приложения. Работа содержит 5 таблиц, 68 рисунков. Общий объем диссертации составляет 285 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первом разделе** «Современные тенденции и проблемы развития теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота. Постановка задачи исследования» проанализированы современные тенденции и обоснована актуальность автоматизации процессов поиска и аналитической обработки электронных информационных ресурсов библиотек, музеев, архивных учреждений, промышленных предприятий, использующих системы электронного документооборота, конструкторских и проектных бюро.

Исследованы современные средства автоматического распознавания документов электронных информационных ресурсов рассмотренных отраслей и осуществлены анализ и оценка результатов их использования для приведения сканированных документов к редактируемому формату.

Анализ средств автоматизации информационных процессов а также множества литературных источников позволил сформировать обобщенную функциональную схему формирования, обработки и хранения документов электронных информационных ресурсов (ЭИР), приведенную на рисунке 1. Изучены недостатки современных OCR-систем, снижающие эффективность автоматизации поиска и аналитической обработки электронных информационных ресурсов. Определены и обоснованы перспективные направления разработки методов и информационных технологий аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов и сформулирована постановка задачи диссертационного исследования.

**Во втором разделе** «Основные теоретические положения метода автоматического моделирования бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов» содержатся теоретические основы разработанного автором метода автоматического моделирования

образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах дискретного множества атомарных элементов.



Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема системы формирования, обработки и хранения ЭИР

В подразделе 2.1 осуществлен анализ способов представления изображений знаков открытых алфавитов, подлежащих автоматическому моделированию и именованию, а также описана проблема конструктивного определения образов обрабатываемых объектов на дискретном множестве атомарных элементов, указаны направления поиска ее решения.

Подраздел 2.2 посвящен определению ориентации кратчайших путей (КП), являющихся элементарными составляющими моделей GT-объектов, подлежащих автоматическому анализу на множестве атомарных элементов, введены понятия путей, ориентированных влево, вправо, вверх и вниз, а также отмечен отдельный класс кратчайших путей, локально-глобальное направление которых постоянно –  $D$ -отрезки.

В подразделе 2.3 конструктивно заданы типы взаимного расположения для пар элементарных составляющих моделей  $D$ -знаков, названные Т-, V- и X-путями, а также установлены правила определения соответствующих атрибутов каждой пары.

Подраздел 2.4 содержит теоретические положения определения аналога градусной меры на дискретном множестве атомарных элементов –  $u$ -меры для пары произвольных кратчайших путей или  $D$ -отрезков. Также для произвольного КП либо  $D$ -отрезка установлена количественная характеристика, аналогичная градусной мере угла наклона отрезка к горизонтали, заданной в терминах всюду плотных множеств.

В подразделе 2.5 определены подпути кратчайших путей и изучены их свойства, что позволяет на дискретных множествах оперировать такими кратчайшими путями, значение некоторой числовой характеристики которых равно некоторой части значения такой же характеристики заданного КП.

**В третьем разделе «Метод автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов»** представлены результаты разработки и реализации метода автоматического моделирования GT-объектов, представленных совокупностью кратчайших путей. Искомый метод базируется на гипотезе о способе формирования исходного изображения, изложенной в работах автора, и не предполагает априорного задания множеств непроектируемых элементов, примитивов, значащих свойств, мер близости и пороговых значений либо интервалов, равно как и самого множества моделируемых и именуемых объектов. В основе метода лежит подход, предполагающий автоматическое выявление на образе бинарного РЦИ знака фрагментов, характеризуемых сохранением локально-глобального направления движения. Формирование модели осуществляется вследствие размещения на GT-объекте структурированных множеств атомарных элементов – элементов покрытия, с последующим определением их качественных относительных характеристик.

В подразделе 3.1 изложены элементы гипотезы о формировании изображений и определены перспективные направления реализации метода автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений на дискретном множестве атомарных элементов.

Подраздел 3.2 содержит определения элемента покрытия GT-объекта, его структурных компонентов и параметров, таких, как П-центр, П-граница и П-тело, размер элемента покрытия и прочие. В подразделе также представлены понятия покрытия GT-объекта как совокупности путей на дискретном множестве атомарных элементов, изложены основные принципы формирования покрытия, установлено значение максимального размера элемента покрытия пути с целью генерации искомой модели.

В подразделе 3.3 вводятся понятия пути как структурной составляющей  $D$ -знака, полного покрытия, сегмента элемента покрытия и его размера. Обуславливаются дополнительные условия размещения элементов покрытия на путях с целью фиксации изменений локально-глобальных направлений. Определены фрагменты путей, характеризующиеся сохранением локально-глобального направления.

Сформулирована и доказана теорема о сохранении *D*-отрезком как локального, так и глобального направлений, на основании которой обоснован выбор указанного объекта в качестве основной структурной единицы автоматически формируемой модели GT-объектов.

В подразделе 3.4 описан метод автоматического моделирования образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов, заданных на дискретном множестве атомарных элементов. Даны понятия моделей пути, *D*-знака, указаны основные характеристики путей, которые должны быть определены в процессе анализа GT-объекта и автоматической генерации математической модели – установление относительных характеристик путей, их ориентация и значения *и*-меры.

Подраздел 3.5 посвящен анализу элементов формируемого множества моделей *D*-знака. В нем введены понятия подобия моделей путей, коэффициентов расположения и пропорциональной близости фрагментов, характеризующихся сохранением локально-глобального направления, аргументированы правила выявления валидной модели с целью ее использования для последующего именования анализируемого образа бинарного растрового цифрового изображения.

**В четвертом разделе** «Информационные технологии автоматической обработки, моделирования и распознавания растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов» вследствие разработки представленных в Разделе 2 основных теоретических положений и изложенного в Разделе 3 метода автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов для документов ЭИР описан комплекс информационных технологий, использование которого позволяет повысить качество и эффективность функционирования систем электронного документооборота, предполагающих возможность приведения сканированных копий документов к редактируемому формату.

Информационные технологии рассмотрены в работе как процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов (Закон ДНР № № I-278П-НС); приёмы, способы и методы применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных (ГОСТ 34.003-90); ресурсы, необходимые для сбора, обработки, хранения и распространения информации (ISO/IEC 38500:2008). Изложение материалов четвертого раздела проведено в соответствии с предложенными определениями.

В подразделе 4.1 проведен обзор и анализ современных методов и алгоритмов бинаризации цифровых изображений, приведено обоснование выбора метода адаптивной бинаризации в качестве компонента разрабатываемой информационной технологии для осуществления предварительной обработки растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов с целью их последующего представления в виде GT-

объектов и осуществления процессов моделирования, распознавания и именования.

Подраздел 4.2 посвящен описанию стадии формирования  $D$ -знаков как объектов исследования в разработанном методе автоматического моделирования остовов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов. Представлена функциональная блок-схема информационной технологии генерации GT-объекта и приведено подробное описание каждого из блоков, задействованных для обработки бинарных РЦИ с целью построения  $D$ -знака, наиболее адекватно соответствующего исходной модели концепта прообраза изображения.

Материалы, изложенные в подразделе 4.3, описывают этапы реализации разработанного метода автоматического моделирования остовов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов для отдельного GT-объекта.

Объект исследования определен как множество КП, являющееся GT-объектом некоторого  $D$ -знака, следующим образом: для произвольного  $D$ -знака  $Z \subset A$  результат восстановления его GT-объекта называется *GT-знаком*:

$$Z_{GT} = \{L_k(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \mid L_k(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})\}_{k=1}^{K_{GT}}, \quad (1)$$

где  $K_{GT} \in N$  – количество кратчайших путей, образующих GT-объект.

Определены основные характеристики структурных элементов  $D$ -знака, выявляемые в процессе формирования моделей.

В частности, для установления ориентации кратчайших путей рассматриваемых GT-знаков введено в рассмотрение отображение  $Or: \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b) \rightarrow \{l_{or}, r_{or}, t_{or}, b_{or}, d_s\}$ , которое произвольному КП  $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$  ставит в соответствие элемент  $Or(L(\alpha_a, \alpha_b)) \in \{t_{or}, l_{or}, b_{or}, r_{or}, d_s\}$  согласно введенным в п. 2.2 диссертационной работы определениям.

Также для произвольной пары КП  $L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT}, k, t \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$ , определяется кортеж  $\Gamma(L_k^{GT}, L_t^{GT}) = \langle \mu_3^{L_1} - \mu_3^{L_2}, M \rangle$ , где величины  $M, \mu_3^{L_1}$  и  $\mu_3^{L_2}$  для выбранной пары путей определяются согласно описанным в п. 2.4 правилам на основании введенных в работе определений.

С целью качественного установления параметров отношений путей, образующих в GT-знаке пары Т-, V- и Х-путей, введена в рассмотрение матрица относительных атрибутов КП на основании определенных в п. 2.3 Т-, V- и Х- атрибутов путей. Множество атрибутов КП GT-знака  $Z_{GT}$  задано формулой:

$$Atr(Z_{GT}) = \{atr_{i_k}(L_k^{GT})\}_{\substack{i_k=1, \overline{I_k^{atr}} \\ k=1, K_{GT}}}, \quad (2)$$

где  $I_k^{atr}$  – количество всех Т-, V- и X-атрибутов каждого пути  $L_k^{GT} \in Z_{GT}$ ,  $k = \overline{1, K_{GT}}$ . Элементы множества  $Atr(Z_{GT})$  задаются по введенной в диссертации формуле.

Как следствие, матрицей относительных атрибутов КП, образующих GT-знак  $Z_{GT} = \{L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})\}_{k=1}^{K_{GT}}$ , называется матрица  $R(Z_{GT})$   $K_{GT} \times K_{GT}$  над множеством  $Atr(Z_{GT})$ , элементы  $r_{kt}(Z_{GT})$ ,  $k, t = \overline{1, K_{GT}}$ , которой задаются следующим образом:

$$r_{kt}(Z_{GT}) = \begin{cases} atr_{i_k}(L_k^{GT}), & \text{если } k \neq t \text{ и КП } L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT} \text{ образуют пару Т-, V-или X-путей,} \\ 0, & \text{если } k = t, \text{ или КП } L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT} \text{ пару Т-, V-или X-путей не образуют.} \end{cases}$$

Элементы матрицы  $R(Z_{GT})$  названы относительными атрибутами путей  $L_k^{GT} \in Z_{GT}$ ,  $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$ .

В результате введено в рассмотрение представление  $P(Z_{GT})$  GT-знака  $Z_{GT} = \{L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})\}_{k=1}^{K_{GT}}$ , которым называется множество значений характеристик, заданное согласно формуле:

$$P(Z_{GT}) = \{ \{n_k^{GT}\}_{k=1}^{K_{GT}}, \{Or(L_k^{GT})\}_{k=1}^{K_{GT}}, \{\Gamma(L_k^{GT})\}_{k=1}^{K_{GT}}, \{d_{kt}(L_k^{GT})\}_{k,t=1}^{K_{GT}}, \{r_{kt}(L_k^{GT})\}_{k,t=1}^{K_{GT}} \},$$

где  $n_k^{GT} = \mu_2(L_k^{GT})$ , значение  $Or(L_k^{GT})$  устанавливается на основании выражения (3.1), приведенного в диссертационной работе, правила вычисления  $\Gamma(L_k^{GT})$  представлены в п. 2.4,  $d_{kt}(Z_{GT})$  и  $r_{kt}(Z_{GT})$  – соответственно элементы индикативной матрицы  $D(Z_{GT})$  и матрицы относительных атрибутов  $R(Z_{GT})$ .

Представление  $P(Z_{GT})$  используется для того, чтобы сформировать наиболее полную информацию о конфигурации и конструктивных особенностях анализируемого объекта.

Подраздел 4.4 посвящен информационным технологиям распознавания зрительных образов применительно к задаче автоматического именования цифровых изображений знаков открытых алфавитов, образы которых подлежат автоматическому моделированию и анализу на дискретном множестве атомарных элементов. Определены способы именования D-знаков вследствие анализа сформированных в автоматическом режиме математических моделей образов распознаваемых объектов.

В подразделе 4.5 представлена функциональная блок-схема комплекса информационных технологий автоматического анализа, моделирования, распознавания и именования растровых цифровых

изображений знаков открытых алфавитов сканированных документов электронных информационных ресурсов, приведенная на рисунке 2.

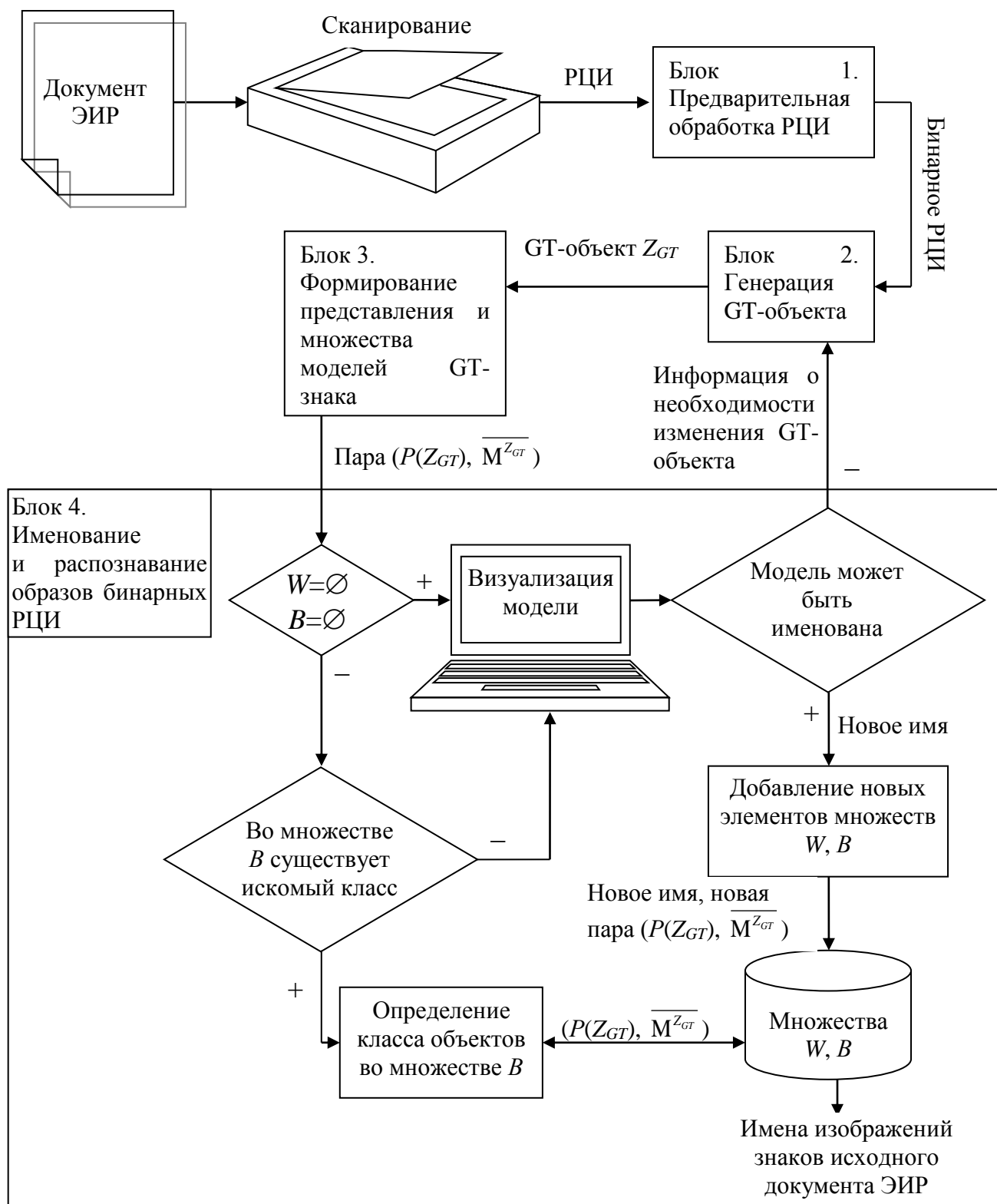


Рисунок 2 – Функциональная блок-схема разработанного комплекса информационных технологий автоматического анализа, моделирования, распознавания и именования растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов

Описана ее структура, определены функции блоков указанного комплекса ИТ и логические структуры данных, используемых при реализации блоков бинаризации, формирования GT-объекта, генерации математических моделей *D*-знаков, осуществлении технологий именования, классификации и распознавания растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов.

**В пятом разделе** «Результаты экспериментальных исследований использования разработанных методов, моделей и информационных технологий автоматизации процессов распознавания и именования изображений знаков открытых алфавитов. Перспективные направления исследований» описаны экспериментальные исследования по апробации использования разработанных методов, моделей и информационных технологий автоматического распознавания и именования изображений знаков открытых алфавитов.

В качестве экзаменационной выборки использовались документы ЭИР различных систем электронного документооборота, содержащие 39858 знаков 11 алфавитов на 186 страницах, что позволило сделать вывод о ее представительности и объективно оценить качество полученных результатов классификации, именования и распознавания.

В работе представлены количественные показатели результатов применения предложенных в работе методов и комплекса ИТ для классификации, распознавания и именования РЦИ знаков открытых алфавитов, содержащихся в сканированных копиях документов ЭИР.

Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами апробации современных OCR-систем, приведенными в Разделе 1 диссертационной работы. Сделан вывод о том, что практическое применение теоретических положений настоящей работы позволяет повысить точность распознавания от 8,13 % до 32,62 % в сравнении с показанными системой ABBYY FineReader 12 Professional Edition результатами, при этом количество ошибок первого рода может быть снижено от 1,54 % до 2,55 %, ошибок второго рода – от 4,05 % до 16,64 %, и количество нераспознанных объектов от 2,49 % до 13,73 %.

Обоснована целесообразность модификации теоретических и прикладных положений работы для автоматического анализа и моделирования границ образующих GT-объектов как образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов, что позволит достичь повышения точности именования и распознавания на основании предложенных методов и ИТ.

Предложено использовать методологию построения валидных моделей для измеримых характеристик фрагментов заданных на множестве атомарных элементов GT-объектов на основании теории меры неопределенности и множеств минимальной меры неопределенности, что позволит снизить мощность множества анализируемых моделей и

повысить показатели точности распознавания бинарных РЦИ. В качестве перспективных направлений исследований определены:

- автоматический анализ зашумленных изображений, что позволит, в частности, эффективно решить такие задачи, как определение и интерпретация траекторий движений заряженных элементарных частиц, зафиксированных камерой Вильсона;

- обработка образов изображений, заданных объемными моделями, что позволит применять полученные результаты в медицине для проведения высокоточных операций, автоматического исследования снимков эритроцитов крови, и иных актуальных задач;

- модификация предложенных в диссертации методов и моделей обработки растровых цифровых изображений для решения задач геолого-геофизического районирования, что позволит автоматизировать анализ многоуровневых геофизических наблюдений;

- разработка на основании основных теоретических положений диссертационной работы методов и моделей для решения задач отождествления объектов криминалистического исследования – отпечатков пальцев, следов, почерка и прочих, что предоставит возможность эффективно решать проблемы социально-правовых исследований и судебной экспертизы;

- разработка методов и ИТ моделирования, классификации и именования полноцветных изображений, что позволит использовать полученные результаты для автоматизации производственных процессов, использующих системы технического зрения при обработке металла разной степени нагрева; сортировке одинаковых по форме, но различных по цвету объектов и т.д.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой получено новое решение актуальной научно-технической проблемы развития теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота за счет приведения электронных копий документов к редактируемому формату, обоснования новых моделей, методов и информационных технологий автоматической обработки цифровых изображений знаков открытых алфавитов, содержащихся в документах электронных информационных ресурсов, что позволяет осуществлять классификацию и именование цифровых бинарных изображений сканированных копий документов безотносительно к предметной области, специфике информационного контекста документов и используемым словарям, шрифтам и символам.

**Основные выводы, научные и практические результаты** выполненной работы заключаются в следующем.

1. Впервые предложен общий подход к решению задачи автоматического моделирования и распознавания изображений знаков открытых алфавитов без априорного задания множеств имен классов

обрабатываемых объектов и множества элементов репрезентативной выборки, традиционно используемой на этапах проектирования и разработки систем преобразования сканированных копий документов к редактируемому формату, что позволило отказаться от использования производных элементов, эталонов, значащих признаков, мер близости и пороговых констант, либо интервалов их значений, для описания и классификации анализируемых объектов.

2. Впервые представлено обоснование выбора образов изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, в качестве объектов исследования в комплексе задач их автоматического моделирования, именования и классификации, что позволило конструктивно учесть специфику представления сканированных копий документов в цифровом формате средствами используемой электронно-вычислительной техники и, как следствие, осуществлять процессы анализа непротиворечиво к результатам дискретизации исходных изображений.

3. Для путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов изображений знаков открытых алфавитов, впервые введены понятия различной ориентации, позволяющие на дискретном множестве учитывать такие характеристики, которые в некотором смысле аналогичны понятиям выпуклости и вогнутости, определенных для кривых в терминах свойств всюду плотных множеств и позволяющих, в частности, учитывать локальные свойства соответствующих объектов, моделирующих изображения знаков, например, в признаковых и структурных подходах к распознаванию.

4. На множестве атомарных элементов для путей, формирующих представление образов растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, впервые даны определения взаимного расположения элементарных составляющих моделей, что позволило конструктивно определить различные типы пар путей и способы установления атрибутов для каждой из них. Вследствие этого автоматическое моделирование позволило учитывать для описания объектов исследования наличие пересечений, касаний и иных относительных характеристик, которым ставятся в соответствие значения соответствующих атрибутов.

5. Впервые на множестве атомарных элементов предложено понятие меры объектов, аналогичное градусной мере, заданной в терминах свойств всюду плотных множеств, что позволило в процессе моделирования дискретных образов изображений знаков открытых алфавитов измерять и учитывать характеристики путей, аналогичные значениям меры угла между парой отрезков и меры угла наклона отрезка к горизонтали.

6. Впервые предложено определение подпутей различных уровней, что предоставило возможность при моделировании относительных характеристик, устанавливаемых на множестве путей образа цифрового изображения знака, учитывать, в частности, различие их длин по мере, равной числу связей, составляющих конкретный путь. При этом для

каждого пути критериально установлены «допустимые» пределы изменения меры его «длины», так как многократная генерация одноименных изображений не всегда характеризуется равенством продолжительностей соответствующих элементарных составляющих.

7. Впервые конструктивно определен элемент, используемый для покрытия путей с целью их автоматического моделирования, и его количественные и структурные параметры, что позволило ввести понятие полного покрытия пути и формализовать правила выявления фрагментов, характеризующихся сохранением локально-глобальных направлений движений, реализованных в процессе генерации прообраза исходного знака.

8. Впервые введено понятие моделей фрагмента и всего образа цифрового изображения знака на множестве атомарных элементов как совокупности дискретных отрезков, что при различных значениях размеров элементов покрытия и их секторов позволило сформировать множество математических моделей каждого образа как множества путей. Выбор дискретного отрезка как единой структурной составляющей моделей также теоретически обоснован в работе.

9. В диссертационной работе впервые определены понятия сходства, подобия и эквивалентности моделей дискретных образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, что позволило разработать информационную технологию автоматического представления, именования, классификации и распознавания объектов исследования настоящей работы.

10. Решена задача обзора современных систем автоматизации документооборота, анализа принципов функционирования современных систем распознавания и приведения к редактируемому формату сканированных документов электронных информационных ресурсов и определения значений показателей качества функционирования указанных систем, что позволило обосновать перспективные направления исследований по усовершенствованию процессов и систем автоматизации документооборота.

11. Решена задача обоснования перспективных направлений развития компьютерных систем автоматизации документооборота путем совершенствования существующих, а также разработки инновационных методов и принципов моделирования, классификации и распознавания цифровых изображений знаков открытых алфавитов, что позволило сформулировать основные предпосылки для реализации предложенных в работе моделей и информационных технологий именования объектов исследования.

12. Решена задача развития теоретических основ моделирования образов бинарных РЦИ знаков в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, что позволило обосновать метод автоматического анализа цифровых изображений знаков открытых алфавитов, не

предполагающий априорного задания множеств производных элементов, значащих свойств, мер близости и пороговых значений для его реализации;

13. Решена задача разработки и внедрения в компьютерных системах автоматизации документооборота метода автоматического моделирования изображений знаков открытых алфавитов, содержащихся в сканированных копиях документов электронных информационных ресурсов, что позволило провести экспериментальные исследования результатов диссертационного исследования на экзаменационной выборке указанных документов.

14. Решена задача создания комплекса информационных технологий автоматической обработки, анализа, моделирования, именования, классификации и распознавания сканированных копий документов, что позволило провести экспериментальные исследования результатов диссертационного исследования на экзаменационной выборке указанных документов.

15. Решена задача апробации разработанных методов и ИТ на изображениях знаков открытых алфавитов, содержащихся в различного рода документах, что позволило получить подтверждение практической значимости результатов диссертационного исследования с точки зрения повышения точности распознавания при преобразовании сканированных копий документов электронных информационных ресурсов к редактируемому формату.

16. Решена задача подтверждения полученных в диссертационном исследовании результатов путем сравнительного анализа данных, определенных в ходе экспериментальной апробации использования разработанных моделей, методов и ИТ для преобразования к редактируемому формату сканированных копий документов в компьютерных системах автоматизации документооборота, что позволило сделать вывод о достижении цели диссертационной работы.

17. Апробация результатов диссертационного исследования показала, что использование разработанных моделей, методов и информационных технологий обработки, анализа, именования и классификации растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов позволяет добиться повышения показателей точности распознавания на величину от 8,13 % до 32,62 % по сравнению с аналогичными показателями системы ABBYY FineReader 12 Professional Edition.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук в Донецкой Народной Республике:**

1. Шевцов, Д.В. Информационная технология автоматического моделирования ГТ-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов / Д.В. Шевцов // Сборник научных трудов ДОНИЖТ, 2019, Выпуск 55, секция «Автоматика, телемеханика, связь». С. 4-11.

2. Шевцов, Д.В. Использование  $u$ -меры для определения количественных характеристик пар кратчайших путей и D-отрезков на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Информатика и кибернетика № 3 (17), 2019, Донецк, ДонНТУ. С. 15-20.

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН Украины:

3. Григорьев, С.В. Конструктивное распознавание дискретных контурных изображений знаков планиметрических фигур / С.В. Григорьев, С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, № 1. 2004. С. 487-491.

4. Мышко, С.В. К вопросу о сегментации изображений как декомпозиции знаков на дискретном множестве атомарных элементов / С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, № 1, 2005. С. 445-449.

5. Вайсруб, Н.В. Подпути кратчайших путей в системах автоматического опознавания знаков / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, № 2. 2005. С. 403-411.

6. Вайсруб, Н. В. Множество минимальной меры неопределенности для автоматического моделирования бинарных изображений / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, 2008. – № 2. – С. 494-501.

7. Мельник, А.-В.В. Проблема скелетизации при проектировании систем распознавания цифровых изображений / А.-В. В. Мельник, С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, 2008. – № 2. – С. 502-509.

8. Вайсруб, Н. В. Основные теоретические положения способа автоматического моделирования бинарных изображений / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Проблемы информационных технологий. – 2008. – № 2 (004). – С. 43-52.

9. Мельник, А.-В.В. Моделируемость ГТ-объекта на дискретном множестве атомарных элементов / А.-В. В. Мельник, С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2008. – № 33. – С. 112-118.

10. Вайсруб, Н. В. Способ автоматического моделирования бинарных изображений, сгенерированных отрезками прямых /

Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Вестник Восточноукраинского национального университета имени В. Даля. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2009. – №. 1 (131). – С. 19-29.

11. Мельник, А.-В.В. Способ формирования GT-объектов образов изображений на множестве атомарных элементов / А.-В. В. Мельник, С.В. Мышко, **Д.В. Шевцов** // Вестник Восточноукраинского национального университета имени В. Даля. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2009. – №. 1 (131). – С. 92-101.

12. Шевцов, Д.В. Обоснование перспективных направлений при проектировании систем автоматизированной обработки видеoinформации / Д.В. Шевцов // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2009. – № 1 (34). – С. 231-240.

13. Вайсруб, Н.В. Применение способа формирования GT-объектов и способа автоматического моделирования изображений при проектировании систем технического зрения / Н.В. Вайсруб, А.-В. В. Мельник, **Д.В. Шевцов** // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2009. – № 2. – С. 55-59.

14. Сопин, С.А. К вопросу о разработке способа автоматического выявления и моделирования фрагментов знаков изображений произвольной природы / С.А. Сопин, **Д.В. Шевцов** // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2012. – № 1 (44). – С. 312-319.

15. Шевцов, Д.В.// Определение ориентации элементарных составляющих моделей знаков, подлежащих автоматическому именованию на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Радиоэлектроника, информатика, управление, № 2, 2013. – С. 95-102

16. Сопин, С.А. Определение предмета исследования в задаче автоматической сегментации GT-объектов знаков на множестве атомарных элементов / С.А. Сопин, **Д.В. Шевцов** // Электротехнические и компьютерные системы, № 11 (87), 2013. – С. 122-131.

17. Сопин, С.А. Определение способа формирования моделей GT-объектов знаков на множестве атомарных элементов / С.А. Сопин, **Д.В. Шевцов** // «Проблемы информатизации и управления» Сборник научных трудов: Выпуск 2(46). – Киев: Национальная академия наук, 2014. – С. 77-82.

– публикации по материалам конференций:

18. Шевцов, Д.В. Определение объекта исследования в системах автоматического анализа изображений / Д.В. Шевцов // Тезисы докладов XIII Международной научной конференции по автоматическому управлению «Автоматика-2006». – Винница: «УНИВЕРСУМ- Винница», 2006. – С. 489.

19. Шевцов, Д.В. К определению меры D-углов на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Труды восьмой Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии СИЭТ-2007». – Одесса: «Маяк», 2007. – С. 60.

20. Шевцов, Д.В.// Преобразование знаков изображений, заданных на дискретном множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2008. – С. 72.

21. Шевцов, Д.В.// К решению задачи повышения качества функционирования подсистемы ввода и распознавания изображений в системах электронного документооборота / Д.В. Шевцов // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2010. – С. 48.

22. Сопин, С.А. К вопросу о моделировании знаков изображений произвольной природы / С.А. Сопин, **Д.В. Шевцов** // Научный сборник «Материалы Второй международной конференции «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды». – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2011. Том 2. – С. 73-76.

23. Шевцов, Д.В.// Определение и-меры для кратчайших путей и D-отрезков на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // «Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности» Материалы I Международной научной конференции. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство Южного федерального университета. – 2016. – С. 247-248.

24. Григоренко, В.А. О существующих проблемах, связанных с разработкой систем автоматического распознавания образов / В.А. Григоренко, **Д.В. Шевцов** // «Донецкие чтения 2017: русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса» Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство ГОУ ВПО «ДонНУ». – 2017. – С. 65-66.

25. Киселев, Ф.В. Разработка системы автоматизации обработки технической документации, содержащей данные в таблицах / Ф.В. Киселев, **Д.В. Шевцов** // «Донецкие чтения 2017: русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса» Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство ГОУ ВПО «ДонНУ». – 2017. – С. 67-68.

26. Вьюков, Н.А. Распознавание примитивов на изображении / Н.А. Вьюков, **Д.В. Шевцов** // «Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» Материалы III Международной научной конференции. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство ГОУ ВПО «ДонНУ». – 2018. – С. 371-372.

27. Плешкова, О.А. Перспективные направления развития интеллектуальных транспортных систем / О.А. Плешкова, **Д.В. Шевцов** // «Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» Материалы III Международной научной

конференции. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство ГОУ ВПО «ДонНУ». – 2018. – С. 385-388.

28. Плешкова, О.А. Объектное моделирование интеллектуальной транспортной системы распознавания автомобильных номеров [Электронный ресурс] / О.А. Плешкова, **Д.В. Шевцов** - Материалы IV Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» 24 мая 2018 г. / редкол.: М.Н. Чальцев и др. — Горловка: — АДИ ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2018. — С. 338-342 Режим доступа: [https://issuu.com/studtv.donntu/docs/adi\\_atrk\\_2019](https://issuu.com/studtv.donntu/docs/adi_atrk_2019), свободный.

29. Шевцов, Д.В. Системы распознавания изображений как средство автоматизации процессов документооборота / Д.В. Шевцов // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2018): сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, Том. 1. 14-18 ноября 2018 г. – Донецк, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2018. – С 185-193.

30. Шевцов, Д.В. Обоснование выбора метода адаптивной бинаризации для предварительной обработки сканированных документов электронных информационных ресурсов / **Д.В. Шевцов**, Е.В. Шевцова // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – Том 1: Физикоматематические и технические науки. Часть 1 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – С. 152-155.

31. Шевцов, Д.В. Обоснование метода автоматического моделирования образов растровых цифровых бинарных изображений на дискретном множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – Том 1: Физикоматематические и технические науки. Часть 1 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – С. 146-148.

– публикации в других изданиях:

32. Сопин, С.А. Критерии сравнения моделей GT-объектов знаков цифровых бинарных изображений / С.А. Сопин, **Д.В. Шевцов** // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (Warszawa), Том 4, № 2, 2015. – С. 87-94.

В работах, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежат: [3] – определения изображений знаков планиметрических объектов; [4] – развитие способа автоматического выявления и моделирования фрагментов изображений знаков произвольной природы; [5] – определение

подпутей кратчайших путей и исследование их свойств в терминах дискретного множества атомарных элементов; [6] – определение множества минимальной меры неопределенности и исследование его свойств; [7] – обоснование способа скелетизации; [8] – развитие теоретических положений способа автоматического моделирования бинарных изображений; [9] – определение понятия моделируемости GT-объекта на дискретном множестве; [10] – развитие способа автоматического моделирования бинарных изображений, сгенерированных отрезками прямых; [11] – развитие способа формирования GT-объектов образов изображений на множестве атомарных элементов; [13] – развитие способа автоматического выявления и моделирования фрагментов изображений знаков произвольной природы; [14] – определение предмета исследования в задаче автоматической сегментации GT-объектов знаков; [16] – определение элементов покрытия как средства автоматического формирования математических моделей знаков на множестве атомарных элементов; [17] – развитие способа формирования моделей GT-объектов знаков на дискретном множестве; [22] – развитие принципов автоматического моделирования GT-объектов знаков на дискретном множестве; [24] – анализ методов распознавания знаков открытых алфавитов; [25] – определение структуры информационных технологий распознавания технической документации; [26] – определение объектов исследования в задачах сегментации; [27] – обоснование перспективных направлений развития интеллектуальных транспортных систем; [28] – анализ методов моделирования транспортных интеллектуальных систем; [30] – анализ литературных источников, посвященных методам бинаризации; [32] – обоснование критериев сравнения моделей GT-объектов знаков цифровых бинарных изображений.

## АННОТАЦИЯ

**Шевцов Д.В. Развитие теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки). – ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Донецк, 2019 г.

В диссертации решена актуальная научно-техническая проблема совершенствования современных компьютерных систем автоматизации документооборота на основе развития методов и информационных технологий автоматического моделирования, именования и классификации растровых цифровых изображений. В работе осуществлен обзор современных компьютерных систем автоматизации документооборота, анализ методов распознавания и приведения к редактируемому формату сканированных документов электронных информационных ресурсов и определение значений показателей качества функционирования указанных

систем. Представлено обоснование перспективных направлений развития компьютерных систем автоматизации документооборота путем совершенствования существующих, а также разработки инновационных методов и принципов моделирования, классификации и распознавания цифровых изображений. Получили развитие теоретические основы моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов. Предложено внедрение в компьютерные системы автоматизации документооборота метода автоматического моделирования цифровых изображений знаков открытых алфавитов, не предполагающего априорного задания множеств производных элементов, значащих свойств, мер близости и пороговых значений для его реализации. Осуществлено развитие информационных технологий автоматизации систем документооборота за счет автоматической обработки, анализа, моделирования, именования, классификации и распознавания изображений знаков открытых алфавитов, содержащихся в сканированных копиях документов электронных информационных ресурсов. Проведена экспериментальная апробация разработанных методов и ИТ на изображениях знаков открытых алфавитов на выборке документов, относящихся к разнообразным сферам деятельности. Полученные в диссертационном исследовании результаты подтверждены путем сравнительного анализа данных, определенных в ходе экспериментальной апробации разработанных моделей, методов и ИТ для преобразования к редактируемому формату сканированных копий документов в компьютерных системах автоматизации документооборота.

**Ключевые слова:** документооборот, метод, модель, классификация, распознавание, именование, информационная технология.

## ABSTRACT

**Shevtsov D.V. Development of theoretical bases of processes and systems of automation of document circulation. – Manuscript.**

Dissertation for the doctor's degree in technical sciences, specialty 05.13.06 – Automatics and control of technological processes and enterprises (by branches) (technical sciences). – DONNTU, Donetsk, 2019.

In the dissertation the actual scientific and technical problem of improvement of modern computer systems of automation of document circulation on the basis of development of methods and information technologies of automatic modeling, naming and classification of raster digital images is solved. The paper provides a review of modern computer systems of document management automation, analysis of methods of recognition and reduction to an editable format of scanned documents of electronic information resources and determination of the values of indicators of the quality of functioning of these systems. The substantiation of perspective directions of development of computer systems of automation of document circulation by improvement of existing, and also development of innovative methods and

principles of modeling, classification and recognition of digital images is presented. The theoretical foundations of modeling images of binary raster digital images of signs in terms of the properties of a discrete set of atomic elements have been developed. It is proposed to introduce the method of automatic modeling of digital images of signs of open alphabets into computer systems of document flow automation, which does not presuppose a priori assignment of sets of non-derivative elements, significant properties, proximity measures and threshold values for its implementation. Development of information technologies of automation of document management systems due to automatic processing, analysis, modeling, naming, classification and recognition of images of signs of open alphabets contained in scanned copies of documents of electronic information resources is carried out. Experimental approbation of the developed methods and it on images of signs of open alphabets on a sample of the documents relating to various spheres of activity is carried out. The results obtained in the dissertation research are confirmed by the comparative analysis of the data determined during the experimental approbation of the developed models, methods and it for conversion to an editable format of scanned copies of documents in computer systems of document automation.

**Keywords:** document management, method, model, classification, recognition, naming, information technology.