

На правах рукописи



Беккель Людмила Сергеевна

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ БУМАЖНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО
НЕВОСПРОИЗВОДИМОЙ МЕТКЕ, СОЗДАННОЙ
СТОХАСТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОРАЗЯДНЫМ ПРОЦЕССОМ**

05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная
безопасность

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Калуга - 2019

Работа выполнена в Калужском филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Научный руководитель: **Шкилев Владимир Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Официальные оппоненты: **ЯЗОВ Юрий Константинович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального автономного учреждения «Государственный научно-исследовательский испытательный институт проблем технической защиты информации Федеральной службы по техническому и экспортному контролю»

СУПРУН Александр Федорович, кандидат технических наук, доцент Высшей школы кибербезопасности и защиты информации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)

Защита состоится «02» апреля 2020 г. в __:00 часов на заседании диссертационного совета Д.002.199.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39, комн. 401. Факс: (812)-328-44-50.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, <http://www.spiiras.nw.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д.002.199.01,
кандидат технических наук



А.А. Зайцева

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Бумажные документы могут содержать как общедоступную, так и конфиденциальную информацию. Сопроводительные документы на продукцию, ценные бумаги, удостоверения личности, документы об образовании, профессиональной деятельности содержат конфиденциальную информацию, ограниченного доступа. Эта информация нуждается в защите от неправомерного модифицирования, копирования. Средствами защиты могут служить техническое, программное, программно-техническое средство, вещество и (или) материал. Для идентификации документов – проведения процедуры выявления их подлинности по совокупности характерных признаков (идентификаторов) – предназначены реквизиты, позволяющие ее идентифицировать.

Существующие правила идентификации бумажных документов по наименованию и коду организации, наименованию и коду формы документа, дате, регистрационному номеру документа, подписи, печати, грифам согласования и утверждения при современном уровне развития компьютерной техники и технологий не могут обеспечить защиту бумажных документов от угроз их фальсификации. Способы защиты документов – водяные знаки, голограммы, штрихкоды не дают положительного результата, так как эти признаки воспроизводимы.

Среди способов идентификации широко распространен метод автоматической (бесконтактной) идентификации, для которой используются, например, штриховые коды, радиоэтикетки, магнитные полосы, смарт-карты, звуки и сигналы, оптически распознаваемые знаки и др. Анализ существующих способов выявил наличие их основных недостатков:

1. Невозможность применения к идентификации бумажных документов.
2. Невозможность выделения объекта из ряда ему подобных, из его же класса, из-за отсутствия уникальной метки.
3. Отсутствие сложности повторения объекта в виде его копии.

Этим объясняется направленность диссертационной работы на исследование существующих методов идентификации документов и разработку нового метода, основывающегося на создании и использовании невозпроизводимых уникальных характеристик – меток, наносимых на бумажные документы. Основное требование к метке – невозможность ее повторения на других носителях. По этой характеристике и должно осуществляться отождествление документа.

Существуют критерии, по которым можно судить о надежности защиты бумажных документов: защита должна определять нерентабельность подделки; защита должна обеспечивать устойчивый однозначный контроль подлинности; защитный комплекс должен действовать как в условиях контролируемого, так и неконтролируемого окружения; применение защиты

предполагает наличие надежной аппаратной базы контроля подлинности; надежная защита обеспечивается совокупностью разнородных защитных технологий.

Анализ существующих способов, использующих стохастические физические процессы для придания объекту уникальной метки, доказал недостаточную степень проработанности задачи идентификации бумажных документов. Например, применение предложенной рядом исследователей спектральной идентификации объектов проблематично из-за неопределенности состава изотопной метки в различные временные промежутки, вызванной ее взаимодействием со средой. Методы, основанные на использовании магнитных свойств или измерении спекл-структур, требуют применения специальных материалов и обеспечения стабильности проверяемой структуры в течение срока службы объекта. Применение резинового опознавательного знака или магнитного чипа на бумаге требует обеспечения условия его идеальной впечатываемости, что приведет к значительным затратам. Кроме того, при использовании прикрепляемых маркеров возможно отсоединение и прикрепление маркера к другому объекту.

Отсутствие надежного метода идентификации бумажных документов приводит к распространению фальсифицированных товаров: по результатам анализа рынка охранных систем, 20% автосигнализаций являются контрафактом и распространяются по поддельным накладным. С каждым годом подделок становится больше, так как их выявление производится только при случайном обнаружении сайтов с объявлениями о продажах представителями фирм-производителей автосигнализаций-подлинников. ООО НПО «Телеметрия», выпускающее противоугонную автомобильную электронику под брендом «Pandora» для отечественного и иностранного потребителя (фирмы «Ниссан», «Форд») и входящее в пятерку фирм, занимающих более 70% российского рынка противоугонных средств, столкнулось с проблемой подделки их товаров. При этом предприятию, кроме финансового ущерба (по поддельным гарантийным талонам завод вынужден заменять электронные компоненты), наносится удар по имиджу. Поэтому было принято решение повысить уровень защиты бумажных документов (накладных на электронные компоненты, паспортов на выпускаемую продукцию, гарантийных талонов) за счет введения нового реквизита, позволяющего производить идентификацию с ошибками не выше 5-ти процентного значения.

Актуальность темы исследования подтверждается необходимостью поиска нового метода идентификации бумажных документов и возможности его реализации.

Степень разработанности темы исследования. Во второй половине XX века благодаря исследованиям ученых (в частности, Томской школы под

руководством проф. А.А. Воробьева) получила свое развитие высоковольтная электрофизика. В.Д. Шкилевым было предложено использовать электрический разряд для создания невоспроизводимой метки в электрических и диэлектрических материалах.

До настоящего времени в нашей стране метод идентификации, использующий электрический разряд для создания невоспроизводимой метки, был недостаточно изучен. Не был разработан программно-аппаратный комплекс для осуществления процедуры распознавания метки при различных условиях получения ее фотографии. Поэтому тема диссертации посвящена исследованию возможности осуществления метода идентификации бумажных документов по невоспроизводимой метке, созданной стохастическим электроразрядным процессом, использующего программный продукт – автоматизированную систему идентификации.

Целью исследования является повышение надежности отражения атак модификации и копирования информации бумажных документов за счет применения нового метода их идентификации, основанного на разнородных защитных технологиях, который позволит устанавливать подлинность документа с ошибками идентификации, не превышающими 5%-ный уровень.

Научная задача заключается в разработке модельно-методического аппарата для идентификации документа по дополнительному реквизиту – невоспроизводимой электроразрядной метке и коду документа-оригинала для повышения защищенности информации бумажных документов.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие **задачи**:

1. Теоретическое исследование существующих методов идентификации.
2. Разработка методики определения угроз безопасности информации бумажного документооборота и оценка защищенности информации бумажных документов.
3. Разработка технологии электроразрядного нанесения индивидуальной невоспроизводимой метки на бумажном носителе и выбор средства кодирования идентификационных признаков метки для идентификации информации кода с изображением метки.
4. Разработка автоматизированной системы идентификации бумажных документов по стохастически нанесенной метке и QR-коду.
5. Экспериментальные исследования защищенности бумажных документов от подделки.

Объектом исследования являются системы защиты информации бумажных документов.

Предметом исследования являются модели, методики и алгоритмы для идентификации документа по невоспроизводимой электроразрядной метке и коду документа-оригинала.

Научная новизна результатов работы:

1. В отличие от существующих методик определения угроз безопасности информации в информационных системах, не решающих вопросы защиты системы бумажного документооборота, разработана методика, по которой составлена модель угроз безопасности информации бумажного документооборота и произведена оценка риска их реализации.

2. В отличие от существующих воспроизводимых реквизитов бумажных документов впервые применена невоспроизводимая метка, нанесенная на документ стохастическим лавинно-стримерным разрядом при рассчитанных режимах работы электроразрядной установки, что обеспечивает множество каналов разрушения, характерные признаки которых служат идентификаторами и определяются разработанной автоматизированной системой. Ранее электрический разряд в системе бумажного документооборота не использовался.

3. В отличие от существующих методов идентификации бумажных документов в разработанном методе применена процедура кодирования значений идентификационных признаков метки в виде нанесенного рядом с меткой QR-кода, что позволило при невоспроизводимости метки производить сравнение ее признаков с информацией QR-кода документа-подлинника и тем самым обеспечить его уникальность.

Теоретическая значимость работы:

1. Разработанная методика определения угроз безопасности информации системы бумажного документооборота может быть дополнена с учетом специфики работы предприятий и организаций.

2. Разработанные технологии определения режимов электроразрядного нанесения метки и выявления ее идентификаторов автоматизированной системой при их дальнейшем развитии могут быть применены при нанесении меток на металлические и неметаллические объекты.

3. Разработанные алгоритмы кодирования информации и ее распознавания в виде автоматизированной информационной системы при их дальнейшем развитии могут быть применены к идентификации металлических и неметаллических объектов.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

Разработанная методика определения угроз безопасности может быть применена в системе бумажного документооборота предприятий и организаций для повышения защищенности информации документов.

Предлагаемый метод идентификации, основанный на сравнении информации QR-кода и метки, нанесенной электрическим разрядом, с помощью автоматизированной информационной системы, может быть использован:

1. в системе бумажного документооборота предприятий и организаций. Метка может быть нанесена на сопроводительные документы на выпускаемую продукцию;

2. в банковской сфере: при идентификации ценных бумаг – сертификатов, денежных купюр;

3. при идентификации документов об образовании, профессиональной деятельности и т.д.

По результатам работы получены два патента на изобретения.

Методология и методы исследования. В диссертации применены методы системного анализа, теории моделирования, компьютерной графики, электротехники.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная методика определения угроз безопасности информации бумажного документооборота позволяет на основе модели угроз произвести оценку защищенности бумажных документов и разработать сценарии дальнейшего развития событий.

2. Предложенные в работе режимы электроразрядного нанесения метки обеспечивают ее невоспроизводимость в силу стохастичности процесса и информативность из-за множества каналов разрушения, идентификационные признаки которых позволят выявлять разработанная автоматизированная система.

3. Предложенная автоматизированная система, реализующая разработанный метод идентификации, позволяет произвести кодирование и нанесение выявленных идентификаторов метки в виде QR-кода на документ для выделения его из множества подобных.

Степень достоверности научных положений и выводов, сформулированных в исследовании, подтверждается их внутренней непротиворечивостью и адекватностью физическим представлениям об исследуемом объекте, проведением экспериментальных проверок, внедрениями, выступлениями на всероссийских конференциях и публикацией результатов работы в ведущих рецензируемых изданиях.

Апробация работы. Основные результаты проделанной работы были доложены на Международном семинаре «Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации» (MIST: Aerospace-2018), научно-методических семинарах в КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (2016-2019 гг.), на конкурсе инновационных проектов «Startup tour», проходившем в г. Туле в 2016 г., на Всероссийских научно-технических конференциях «Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе» (МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015, 2016 гг.).

Публикации. Основное содержание диссертации представлено в 15 печатных работах, в том числе 3 из них – индексируемые в международных

базах цитирования Scopus и Web of Science, 5 – в изданиях, входящих в перечень ВАК, 2 патента на изобретение.

Внедрение результатов работы. Полученные основные научные результаты диссертационного исследования внедрены в бумажный документооборот ООО НПО «Телеметрия» (г. Калуга), ООО «Терекс Авто» (Калужская обл., п. Товарково).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Содержит 167 страниц основного текста, 25 таблиц, 66 рисунков и список использованной литературы из 113 источников.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель исследования и поставлены задачи, приведены объект и предмет исследования, научная новизна, практическая значимость, положения, выносимые на защиту, результаты внедрения.

В **первой главе** рассмотрены научные основы идентификации объектов (продукции, услуг, бумажных документов, информации). Даны понятия функций, задач и методов идентификации. Каждый объект имеет набор признаков, помогающих определить его сущность и отличить его из множества других очень похожих объектов. Для преобразования признака в идентификатор он должен обладать свойствами: индивидуальностью; относительной устойчивостью; отображаемостью; воспроизводимостью.

Все рассмотренные технологии идентификации объектов либо характеризуются отсутствием создания индивидуальной метки для отдельного объекта (не класса объектов), невозможностью применения для отождествления бумажных документов, либо несложностью воспроизведения не эмитентом – лицом, не выпускающим оригиналы документов.

Анализ существующих методов идентификации, использующих стохастические физические процессы и позволяющих создать на объекте индивидуальную метку, показал, что в нашей стране до недавнего времени использовались методы классической органической хромато-масс-спектрометрии (Лебедев А.Т., Шкилев В.Д., Каранфил В.Г.). Их область применения ограничивается доступностью приобретения маркеров не эмитентом, неопределенностью начального изотопного и элементного состава.

Методы, основанные на использовании магнитных свойств метки или измерении спекл-структур (Pappu R., Gershenfeld N., Smith J.R.), требуют применения специальных материалов и обеспечения стабильности проверяемой структуры в течение срока службы объекта. Внедрение каучукового маркера или магнитного чипа в бумагу или картон требует обеспечения условия его идеальной впечатываемости, что приведет к

значительным затратам. Кроме того, при использовании прикрепляемых маркеров возможно отсоединение и прикрепление маркера к другому объекту. Способ аутентификации ключа на кредитных картах неприменим для бумажных документов, требует наличия специального маркера, содержащего наночастицы, и дорогого устройства – лазера, испускающего импульсы когерентного света.

В 2009 г. Шкилев В.Д. предложил использовать для идентификации материальных ресурсов электрический разряд, что позволит придать объекту невоспроизводимую метку. Невозможность использования этого метода до настоящего времени заключалась в отсутствии программного обеспечения, позволяющего произвести процедуру идентификации. Также отсутствовала методика определения режимов работы электроразрядной установки для нанесения меток. В результате теоретического исследования подтверждена необходимость применения метода идентификации по стохастической невоспроизводимой метке и коду метки документа-подлинника для повышения защищенности информации бумажных документов.

Во **второй главе** разработана методика определения угроз безопасности информации бумажного документооборота, на основе которой произведено обоснование необходимости применения идентификации бумажного документа по дополнительному реквизиту и его коду, и определена вероятность ошибок идентификации первого и второго рода.

Наибольшую угрозу несут действия злоумышленника, когда даже при низкой вероятности подкупа или шантажа сотрудника, но при высоком показателе опасности угрозы копирования, модификации, хищения, уничтожения бумажного документа становятся актуальными.

Для формирования мер защиты информации бумажных документов составляется модель угроз, исходящих от внешнего источника (злоумышленника) и внутреннего источника (сотрудник организации, выпускающей/хранящей документ) (рисунок 1).

В разработанном методе идентификации используются две разнородные технологии: стохастический электроразрядный процесс, позволяющий исключить возможность подделки метки, и нанесение кода, содержащего информацию метки документа-подлинника, при составлении которого можно внести изменения для затруднения дешифровки информации со стороны потенциального нарушителя.

Для защиты информации бумажных документов в организации необходимо предусмотреть, по меньшей мере, два независимо работающих подразделения, в одном из которых будет происходить нанесение электроразрядных меток на документы, в другом – будут работать пользователи со специальным программным обеспечением, позволяющим обрабатывать информацию метки и наносить код.

Показатели потенциала в момент внедрения нового метода приобретают значения:

- затрачиваемое время – 0 (при идентификации уязвимости), 0 (при ее использовании) – в данный момент не может реализовать угрозу (до применения метода соответственно 3 и 5);
- непрофессионал – соответственно 0 и 0 (было 5 и 4);
- отсутствие знаний – 0 и 0 (было 5 и 4);
- невозможность доступа к системе защиты – 0 и 0 (3 и 6);
- отсутствие оборудования – 0 и 0 (было 3 и 4).



Рисунок 1 – Модель угроз безопасности информации бумажного документооборота

Таким образом, потенциал нарушителя становится недостаточным для реализации угрозы (табл. 1).

Табл. 1 – Потенциал нарушителя в зависимости от диапазона значений его характеристик

| Диапазон значений | Потенциал нарушителя |
|-------------------|---|
| <10 | Потенциал недостаточен для реализации угрозы безопасности |
| 10-17 | Базовый (низкий) |
| 18-24 | Базовый повышенный (средний) |
| >24 | Высокий |

Для оценки надежности идентификации бумажных документов необходимо определить вероятности ошибок первого (FRR) и второго (FAR) рода. Ошибки первого рода – при сравнении изображений одной и той же метки система ошибочно принимает их за «чужую» метку. Ошибки второго рода возникают при принятии системой «чужой» метки за метку подлинного документа.

На рисунке 2 изображен граф переходов документа из состояния Д в состояния $S_1 - S_5$.

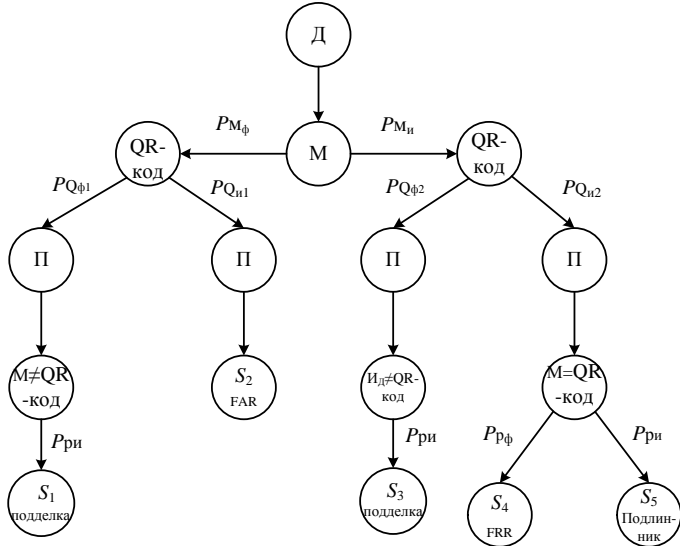


Рисунок 2 – Граф переходов

Вероятность нанесения метки М на документ эмитентом обозначена P_{M_i} . При предположении нанесения метки злоумышленником своим техническим устройством появляется вероятность возникновения на документе фальшивой метки – $P_{M_φ}$. $P_{Q_{i1}}$ – вероятность взлома нарушителем кода (на документ по его метке верно нанесен код), $P_{Q_{i2}}$ – вероятность нанесения кода эмитентом, $P_{Q_{φ1}}$ – вероятность нанесения фальшивого кода не эмитентом, $P_{Q_{φ2}}$ – вероятность внесения злоумышленником изменений в текст документа, $P_{P_{ri}}$ – вероятность верного распознавания идентификаторов, $P_{P_{φ}}$ – вероятность ошибочного распознавания.

Так как все эти события независимы во времени, то сумма $\sum_1^5 P(S_i)$ вероятностей всех состояний равна единице.

Погрешность идентификации документа ε возникает при появлении ошибок идентификации первого и второго рода, т.е.:

$$\varepsilon = P(S_2) + P(S_4), \quad (1)$$

где $P(S_2), P(S_4)$ – соответственно вероятности наступления события S_2, S_4 .

Вероятность безошибочной идентификации $P_{б.и.}$ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} P_{б.и.} &= P_{M_\phi} \cdot P_{Q_{\phi 1}} \cdot P_{P_i} + P_{M_i} \cdot P_{Q_{\phi 2}} \cdot P_{P_i} + P_{M_i} \cdot P_{Q_{i 2}} \cdot P_{P_i} = \\ &= P_{P_i} \cdot \left(1 - P_{M_\phi} \cdot P_{Q_{i 1}}\right). \end{aligned} \quad (2)$$

Вероятность расшифровки алгоритма внесения информации в QR-код $P_{Q_{i 1}}$ определим из условия, что изучение кода нарушителем высшей квалификации происходит по экспоненциальному распределению с параметром $\beta_{вз}$:

$$\beta_{вз} = \frac{1}{t_{вз}},$$

где $\overline{t_{вз}}$ – среднее время расшифровки кода.

Время взлома кода с перестановкой при длине ключа перестановки 15 и скорости чтения – 6 кодов в минуту составило 15,2 года. Среднее время расшифровки кода примет значение 7,6 лет.

Вероятность расшифровки нарушителем алгоритма внесения информации в QR-код $P_{Q_{i 1}}$ в течение пяти лет определяется при взятии интеграла от плотности вероятности:

$$P_{Q_{i 1}} = \int_0^5 \beta_{вз} \cdot e^{-\beta_{вз} \cdot x} dx = 0,482. \quad (3)$$

При вероятности точного распознавания в зависимости от точности сканирования изображений 0,999 и вероятности нанесения метки не эмитентом в течение пяти лет, определенной, исходя из доли преступников в численности населения России и с учетом, что доля физиков-теоретиков среди преступников составляет не более 30%, и равной 0,0025, вероятность безошибочной идентификации $P_{б.и.}$ составила 0,998.

Тогда вероятность ошибок идентификации первого и второго рода при правильно выбранном пороге чувствительности автоматизированной системы с учетом формул (1) – (3) составит:

$$\varepsilon = 1 - P_{б.и.} = 1 - 0,998 = 0,002 = 0,2\% < 5\%.$$

Следовательно, разрабатываемый метод идентификации можно применить для повышения защищенности информации бумажных документов.

В третьей главе проведен анализ физической сущности процесса электроразрядного способа с целью непосредственного получения уникальных меток на бумажном носителе и произведен выбор средства кодирования информации о признаках метки. Для доказательства невоспроизводимого характера наносимых меток проделано исследование процесса электрического разряда в межэлектродном промежутке между мишенью метки и инструментом-электродом: на плоский электрод помещалась бумага с нанесенной черным тоном картриджа мишенью. Каждой мишени был присвоен свой индивидуальный код, который

располагался внизу, под мишенью (рисунок 3). Полученные с помощью собранной установки метки также показали неустойчивый характер электрического разряда: метки имели вид отверстий, расположенных стохастическим образом.

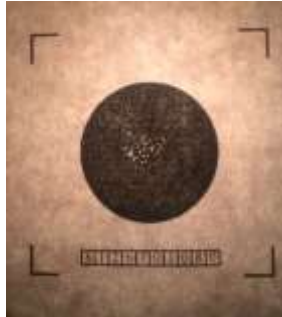


Рисунок 3 – Стохастическая метка и ее индивидуальный код

Для кодирования информации, предоставляемой стохастически нанесенными метками, предложено использовать технологию создания QR-кода. Запись большого объема информации в этом коде дает возможность отказаться от использования баз данных, предназначенных для хранения эталонной информации, содержащейся в получаемых метках. Кроме того, QR-код характеризуется высокой скоростью распознавания сканирующим оборудованием, определяющим код как двумерное изображение.

В **четвертой главе** для идентификации бумажного документа по невоспроизводимой метке, полученной электроразрядным способом разработана автоматизированная система в программной среде Visual Studio 2010, язык программирования C#.

Перед выполнением процедуры кодирования информации метки применены алгоритмы предварительной обработки ее изображения. Изображение имеет растровый формат, поэтому возможен попиксельный доступ к считыванию и установке значения цвета. Для получения полутонового изображения метки произведена конверсия из модели RGB в YUV.

В работе применено выполнение сегментации с помощью порога – признака, помогающего разделить искомый сигнал на классы. В процессе порогового разделения производится сравнение значения яркости каждого пикселя изображения с пороговым значением.

Для определения месторасположения мишени на изображении (нахождение четырех ограничителей в виде уголков) применен попиксельный обход по вертикали и горизонтали с отбором точек – вершин уголков.

С целью исключения зависимости результата идентификации от точности позиционирования метки при захвате ее камерой в алгоритмы

обработки включена процедура компенсации поворота изображения метки относительно границ кадра: преобразование алгоритма Брезенхема растеризации отрезка. Вместо вывода точки на экран, предусмотренного в оригинальной версии алгоритма, значения ее координат передаются процедуре, производящей смещение пикселей изображения по горизонтали или вертикали на разность между координатой начальной точки и выданной алгоритмом Брезенхема. Требованием дальнейшей обработки изображения является определение положения цифрового кода для правильной ориентации метки: применен обход изображения, ограниченного уголками с четырех сторон, из середины каждой стороны. При неправильной ориентации метки автоматизированная система осуществит поворот изображения на 90, 180 или 270 градусов в зависимости от расположения кода.

Полученный цифровой код выделяется в отдельное изображение. Затем определяется местонахождение мишени. В результате остаются два изображения – мишени и кода.

Для четкого разграничения светлых (отверстия) и черных областей (фон) проведена бинаризация – операция порогового разделения по методу Оцу. Выбор этого метода из существующих способов обусловлен наиболее качественным уровнем бинаризации при работе с метками, нанесенными стохастическим образом. В основе метода лежит использование гистограммы распределения значений яркости пикселей растрового изображения. Она строится по величинам, определяемым по формуле (4):

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad (4)$$

где p_i – значения яркости пикселей, N – общее количество пикселей на изображении, n_i – число пикселей с уровнем яркости i . Разделение диапазона яркостей на два класса осуществляется с помощью пороговой величины уровня яркости $k_{ц}$ представляющего собой целое значение от 0 до L . Относительные частоты каждого класса яркости $\omega_0(k_{ц}), \omega_1(k_{ц})$ определяются по формулам:

$$\omega_0(k_{ц}) = \sum_{i=1}^{k_{ц}} p_i, \quad \omega_1(k_{ц}) = \sum_{i=k_{ц}+1}^L p_i = 1 - \omega_0(k_{ц}). \quad (5)$$

Для каждого из двух классов зависимости формулы (5) рассчитываются средние уровни изображения $\mu_0(k_{ц}), \mu_1(k_{ц})$:

$$\mu_0(k_{ц}) = \sum_{i=1}^{k_{ц}} \frac{ip_i}{\omega_0}, \quad \mu_1(k_{ц}) = \sum_{i=k_{ц}+1}^L \frac{ip_i}{\omega_1}. \quad (6)$$

На основе использования формулы (6) определяется максимальное значение оценки качества разделения изображения на две части:

$$\eta(k_{ц}) = \max_{1 \leq k_{ц} \leq L-1} \left(\frac{\sigma_{кл}^2(k_{ц})}{\sigma_{общ}^2} \right), \quad (7)$$

где $(\sigma_{кл})^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2$ – межклассовая дисперсия, $(\sigma_{общ})^2$ – общая дисперсия для всего изображения целиком.

После получения четких контуров светлых и темных областей изображения автоматизированная система идентификации переходит к кодированию информации метки. В качестве идентификаторов приняты признаки метки – индивидуальный номер, количество отверстий, координаты их центров масс и размеры.

В результате обхода изображения система обнаруживает отверстие и запускает процедуру его обработки. В ходе ее выполнения отверстие перекрашивается методом затравки для исключения его повторной обработки. Определяются площадь отверстия в пикселях и его центр масс.

После обработки изображения метки и получения значений идентификаторов автоматизированная система приступает к записи информации в виде QR-кода. Из возможных видов выбрана алфавитно-цифровая кодировка: возможно буквенное обозначение номера серии. В качестве допустимого уровня повреждения кода выбран уровень М для обеспечения записи большого объема информации. Информация записывается в последовательности: способ кодирования – количество данных – данные. Определено количество создаваемых байтов коррекции, для создания которых к каждому блоку данных применен алгоритм Рида-Соломона. Блоки исходных данных и блоки коррекции объединены в один поток байт.

Таким образом, для идентификации используется принцип отображения множеств (8):

$$\begin{aligned} x \in A, y \in B, \\ f(x) = y, \end{aligned} \quad (8)$$

где A – множество меток; x – набор признаков метки; B – множество QR-кодов меток; y – QR-код, содержащий набор признаков, конкретной метки; f – функция отображения – создания QR-кода, содержащего признаки метки. f^{-1} – процедура проверки соответствия набора признаков, зашифрованных в QR-коде, набору признаков проверяемой метки. При выполнении условия $f^{-1}(y) = x$ идентификация метки считается успешной. В обратном случае, при $f^{-1}(y) \neq x$ метка «чужая».

Автоматизированная система позволяет произвести идентификацию изображения метки на основе сравнения ее с QR-кодом. С этой целью применены алгоритмы распознавания информации, использующие обязательные поля QR-кода для декодирования: поисковые и выравнивающие узоры, полосы синхронизации, код маски и уровня коррекции, код версии.

В пятой главе проведены экспериментальные исследования и анализ работы автоматизированной системы идентификации информации QR-кода и изображений меток, полученных стохастическим электроразрядным способом. Фотографии меток были получены в условиях различной освещенности, после длительного срока эксплуатации бумажного носителя.

Произведено сравнение значений идентификаторов метки-оригинала, записанных в ее QR-коде, с информацией копий той же метки. Совпадение значений совокупности признаков – количество отверстий, координаты центров масс и площади отверстий – позволяло автоматизированной системе сделать вывод о результатах процедуры идентификации.

Для получения изображений меток в лабораторных условиях использовалась камера обычного сотового телефона среднего класса. Некоторые из результатов работы автоматизированной системы приведены на рисунке 4.

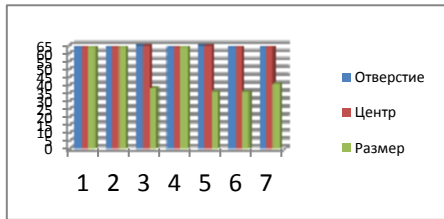


Рисунок 4 – Результаты идентификации метки, сделанных в условиях разной освещенности, с ее QR-кодом – оригиналом

Столбики 1 и 2 иллюстрируют совпадение значений идентификаторов QR-кода и изображений метки, полученных при фотографировании в условиях хорошей освещенности в разное время суток. Столбик 3 – идентификация кода метки по ее засвеченному изображению. Несмотря на «размытость» отверстий, по идентификаторам (количество отверстий и центр масс) можно судить об истинности метки.

Следовательно, эти идентификаторы имеют большую устойчивость по сравнению с признаком «площади отверстий». Столбик 4 иллюстрирует результат процедуры идентификации QR-кода метки-оригинала с изображением этой же метки, полученным при ее фотографировании спустя 6 месяцев эксплуатации бумажного носителя. Получение изображений метки в различное время суток пасмурного дня дало результаты столбиков 5, 6, 7. Даже при плохой освещенности совокупность значимых идентификаторов позволяет сделать вывод об истинности метки, несмотря на трудность отождествления размеров отверстий.

Экспериментальные исследования функционирования автоматизированной системы при сравнении QR-кода метки с изображениями других («чужих») меток показали явный отказ системы воспринимать их за оригинал. На рисунке 5 представлены, помимо полного несовпадения значений всех идентификаторов, и ненулевые результаты идентификации, отобранные из совокупности многочисленных экспериментов. Даже при пересечении частей отверстий оригинальной и

«чужой» метки (например, совпадение частей двух отверстий из 65 отверстий метки столбца 8) автоматизированная система покажет отрицательный результат идентификации: несовпадение по координатам центров масс и площадей отверстий.

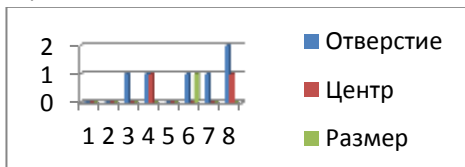


Рисунок 5 – Результаты сравнения QR-кода метки с бинарными изображениями «чужих» меток

Для оценки надежности работы автоматизированной информационной системы определены вероятности ошибок идентификации первого и второго рода (рисунок 6). При выборе порога чувствительности, равном 0,2 (рисунок 6, б) все «чужие» метки не будут пропущены, а все свои подтвердят свою истинность. Таким образом, результаты экспериментов доказали возможность применения предлагаемого метода идентификации бумажных документов, при этом ошибки идентификации при определенных значениях порога чувствительности могут быть равны нулю.

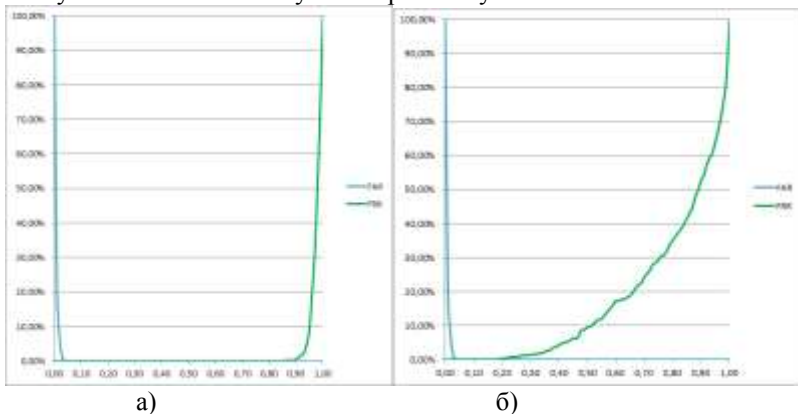


Рисунок 6 – Определение порога чувствительности: а) при хорошей освещенности; б) при разной степени освещенности меток

Заключение

В диссертационной работе решена научная задача разработки модельно-методического аппарата для идентификации документа по дополнительному реквизиту – невоспроизводимой электроразрядной метке и коду документа-оригинала для повышения защищенности информации бумажных документов. Основными результатами являются:

1. Разработана методика определения угроз безопасности информации бумажного документооборота, позволяющая на основе модели угроз произвести оценку защищенности информации бумажных документов и разработать сценарии дальнейшего развития событий.

2. Для защиты информации бумажных документов впервые применена невоспроизводимая метка, нанесенная на документ стохастическим лавинно-стримерным разрядом при рассчитанных режимах работы электроразрядной установки, что обеспечивает множество каналов разрушения, характерные признаки которых служат идентификаторами и определяются разработанной автоматизированной системой.

3. В новом методе идентификации применена процедура кодирования автоматизированной системой значений идентификационных признаков метки в виде нанесенного рядом с меткой QR-кода, что позволяет при невоспроизводимости метки с высокой степенью точности производить сравнение ее признаков с информацией QR-кода документа-подлинника и тем самым обеспечить его уникальность. Ошибки идентификации не превышают 5%-ный уровень.

Таким образом, все поставленные задачи выполнены, цель исследования достигнута.

Рекомендации по применению результатов работы для идентификации бумажных документов включают в себя указания по применению нового метода идентификации: использованию методики определения угроз безопасности информации бумажного документооборота для оценки защищенности информации бумажных документов и разработки сценариев дальнейшего развития событий; назначению режимов работы электроразрядной установки для нанесения меток; применению автоматизированной системы идентификации бумажных документов, позволяющей определять значения идентификаторов меток, кодировать их, наносить в виде QR-кода на документ и производить его идентификацию на основе сравнения информации метки и QR-кода. Основываясь на сформулированных рекомендациях, представляется вероятной возможность применения полученных результатов для идентификации бумажных документов, так как разработанный метод идентификации позволяет выявить подлинный документ из множества подобных с высокой степенью точности.

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования заключаются в адаптации разработанного метода к идентификации полимерных и металлических изделий.

Соответствие паспорту специальности. Положения, выносимые на защиту, соответствуют паспорту специальности 05.13.19 – «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность»: «4. Системы документооборота (вне зависимости от степени их компьютеризации) и средства защиты циркулирующей в них информации» (результаты 1-3); «б.

Модели и методы формирования комплексов средств противодействия угрозам хищения (разрушения, модификации) информации и нарушения информационной безопасности для различного вида объектов защиты вне зависимости от области их функционирования» (1-3); «13. Принципы и решения (технические, математические, организационные и др.) по созданию новых и совершенствованию существующих средств защиты информации и обеспечения информационной безопасности» (результаты 1-3).

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Статьи, изданные в научных журналах, рекомендованных ВАК:

1. Беккель, Л.С. Концепция разработки метода идентификации объекта по его невоспроизводимой стохастически нанесенной метке / Л.С. Беккель, В.Д. Шкилев //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. – 2016. №06 (34). С. 184-187.

2. Беккель, Л.С. Анализ и обработка изображений стохастически нанесенных меток / Л.С. Беккель, В.Д. Шкилев //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. – 2016. №06 (34). С. 30-34.

3. Беккель, Л.С. Алгоритм работы автоматизированной системы для нового метода идентификации бумажных документов / Л.С. Беккель, В.Д. Шкилев //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. – 2017. №04 (38). С. 47-53.

4. Беккель, Л.С. Анализ результатов работы автоматизированной системы идентификации изображений стохастически нанесенных меток / Л.С. Беккель, В.Д. Шкилев //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. – 2017. №04 (38). С. 54-58.

5. Беккель, Л.С. Определение вероятностей ошибок первого и второго рода при использовании нового метода идентификации бумажных документов/ Л.С. Беккель // Системы высокой доступности. – 2019. - № 4. – С. 5-10.

Патенты на изобретение:

6. Пат. на изобретение 2639176 Российская Федерация, МПК С 21 С 7/00 , С 22 С 1/00. Способ легирования металлов и сплавов// Шкилев В.Д., Хайченко В.Е., Филиппова И.А., Беккель Л.С., Головачева Ю.Г.; заявитель и патентообладатель Шкилев В.Д., Хайченко В.Е., Филиппова И.А., Беккель Л.С., Головачева Ю.Г. – № 2016117091; заявл. 02.11.2016; опубл. 20.12.2017, Бюл. № 35. - 7 с.: ил.

7. Пат. на изобретение RU 2647375 Российская Федерация, МПК G 07 D 7/00. Денежная купюра, способ ее изготовления и способ подтверждения ее истинности и индивидуальности // Шкилев В.Д., Беккель Л.С., Шкилев Д.В.; заявитель и патентообладатель Шкилев В.Д., Беккель

Л.С., Шкилев Д.В. – № 2016107875; заявл. 04.03.2016; опубл. 15.03.2018, Бюл. № 8. – 7 с.: ил.

Статьи в изданиях, индексируемые в международных базах SCOPUS и Web of Science:

8. Beckel, L.S. Non-replicable object surface development for its automatic identification / L.S. Beckel, V.D. Shkilev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 450(5) 052013, 2018. – 5 p.

9. Беккель, Л.С. Расчет напряжения электрического поля для пробоя промежутка «воздух – твердый диэлектрик»/ Л.С. Беккель, В.Д. Шкилев, А.П. Коржавый // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2018. № 8. С. 46-52.

10. Беккель, Л.С. Исследование явления интерференции при электрическом пробое твердого диэлектрика / Л.С. Беккель, В.Д. Шкилев, А.П. Коржавый // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2018. №06. С. 25-29.

Статьи, изданные в научных журналах из базы РИНЦ:

11. Шкилев, В.Д. Универсальный метод идентификации объектов материальных ресурсов / В.Д. Шкилев, Л.В. Лысенко, А.К. Горбунов, Л.С. Беккель // Электронный журнал: наука, техника и образование.– 2017. – №01 (10). – С. 90-100.

12. Шкилев, В.Д. О барьерном разряде и квантово-волновых дорожках / В.Д. Шкилев, Л.С. Беккель // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № СВ1 (11). – С. 164-171.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

13. Беккель, Л.С. Принцип Паули и возможности его применения в макромире / Л.С. Беккель, В.Д. Шкилев // Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: сб. тр. Всеросс. науч.-техн. конф. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – Т. 4. – С. 203-207.

14. Шкилев, В.Д. О методологии исследования стохастических процессов / В.Д. Шкилев, Л.С. Беккель // Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: сб. тр. Всеросс. науч.-техн. конф. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – Т. 5. – С. 281-284.

15. Шкилев, В.Д. О некоторых особенностях формирования идентификационных меток, полученных электроразрядным способом / В.Д. Шкилев, Л.С. Беккель // Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: сб. тр. Всеросс. науч.-техн. конф. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – Т. 4. – С. 70-74.