

В.Д. Шкилев, А.Н. Адамчук, В.Г. Недиогло

## ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ ДОКУМЕНТОВ ОСОБОЙ ВАЖНОСТИ (СТРОГОЙ ОТЧЕТНОСТИ)

*Министерство информационного развития,  
ул. Пушкина, 42, г. Кишинев, MD-2012, Республика Молдова, [schilov@registru.md](mailto:schilov@registru.md)*

### **Введение**

Минимизация финансовых потерь государства и угроз безопасности, обусловленных такими явлениями, как коррупция, фальсификация документов, выпуск неучтенной и контрафактной продукции, контрабанда, экспорт и нелегальная миграция с использованием поддельных документов, требует внедрения в нашу жизнь информационных технологий, с помощью которых можно улучшить качество управления в производственной и социальной сферах.

Опыт экспертов-криминалистов показывает, что текст на бланке организации вместе с подписью и печатью может быть скорректирован злоумышленниками с использованием современных технологий компьютерной графики. Виртуальные документы легко защищаются с помощью так называемой электронно-цифровой подписи. К бумажным применяют традиционные методы защиты: специальное полиграфическое исполнение (*акцизных марок и бланков строгой отчетности*), снабжение различными видами голограмм (*юниграмм*), скрытых растровых изображений, внедрение маркировки с помощью машиночитаемых порядковых или случайно набранных номеров. Однако это не приводит к заметному снижению ущерба от преступлений.

Современный уровень организации государственного документооборота возможен только при обеспечении единства в защите виртуальных и аналоговых (*бумажных*) документов. Для этого необходимо не только придать каждому бумажному документу, как и единице товарной продукции, свой уникальный идентификационный код, с помощью которого может быть проконтролирован маршрут его движения на протяжении всего жизненного пути, но и информационно защитить цифровой код. Причем информационная защита идентификационного кода должна обладать свойством уникальности, которая проявляется в том, что цифровой код должен вноситься в базу данных вместе с уникальной матрицей, которую нельзя повторить дважды. В нашем сознании прочно укрепилась ошибочная система взглядов, что однажды сделанное одним человеком всегда может повторить другой. Именно из этой парадигмы зарождается мысль о невозможности построения уникального идентификатора, который не может повторить теневая экономика. Необходимость создания такого уникального идентификатора на философском уровне обсуждается в [1], а в [2] приведено описание патента, позволяющее с помощью электроразрядной технологии получить высочайшую степень информационной защиты индивидуального цифрового кода.

Такая технология чем-то напоминает новые подходы в биометрической идентификации [3], когда вместо характерных узоров (*папиллярных линий*) на коже пальцев (*классическая дактилоскопия*) в базу данных вводят другую индивидуальную особенность – расположение кожных пор, находящихся между этими линиями. В отличие от таких подходов, которые требуют применения дополнительных информационных программ, устраняющих искажения из-за возможных поворотных искажений при растяжении кожи, электроразрядный способ нанесения пятен (*пор*) на металлическую или бумажную поверхность лишен этих недостатков. База данных при таких подходах строится не на графических данных, а только на занесении параметров (*координат, площади, формы и т.п.*) полученных пятен. Идентификация по базе данных, состоящей из миллионов электроразрядных картинок, может быть произведена в течение нескольких секунд.

## Экспериментальные результаты

В данной работе анализируется невоспроизводимость (*индивидуальность*) матрицы, получаемой с помощью электрических разрядов. Схема проведения эксперимента чрезвычайно проста (рис. 1). В бумаге электроразрядным способом пробиваются небольшие отверстия. Затем полученные образцы сканируются на просвет на обычном сканере с разрешением 600 dpi и сохраняются в формате JPG. Полученные картинки считываются на компьютере, и вычисляется относительная площадь пробитых отверстий на кольце соответствующего диаметра (*см. математическая обработка полученных результатов*). Результат представляется в виде графика площади от номера кольца.

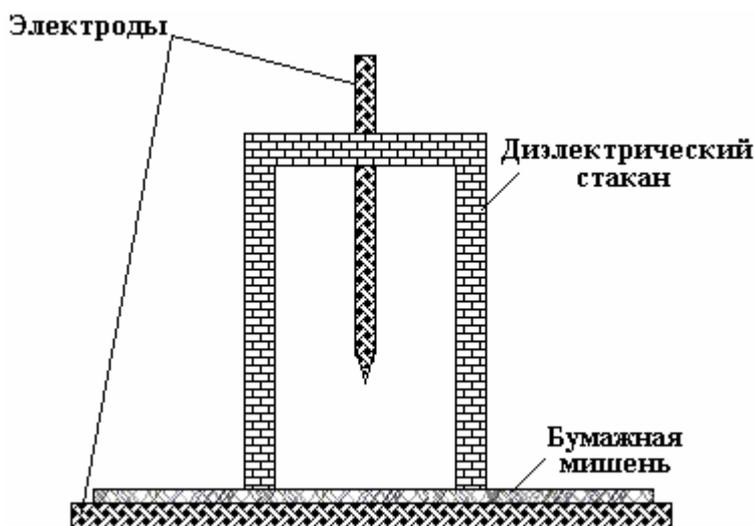


Рис. 1. Схема проведения эксперимента

Первичные эксперименты, проведенные на схеме с положительным острием и отрицательной плоскостью (*и наоборот*), показали, что использование источника постоянного высокого напряжения не оптимально для получения индивидуальной картинка на бумаге (*возможно, из-за накопления зарядов на диэлектрическом стакане*). Поэтому вся последующая информация относится к источнику с переменным высоким напряжением. Результаты, полученные с помощью электродов шар–плоскость, также были не оптимальны (*число пробойных отверстий на бумаге во много раз меньше, чем число разрядов, другими словами, разряд часто повторял путь предыдущего разряда и не приводил к усложнению индивидуальной матрицы*). Наилучшие результаты получены с помощью электродов острие–плоскость. Большинство экспериментальных работ в этой области [4] описывают особенности физических процессов в межэлектродном промежутке, внимание исследователей на информационные возможности технологий [2] ранее практически не было востребовано.

Немаловажным фактором, позволяющим легко сканировать места электрического пробоя на бумаге, явилось то, что на бумагу, на площадь для пробоя, наносился круг черного цвета лазерным принтером. Внутри этого круга, предположительно при создании документа строгой отчетности, наносится также индивидуальный цифровой код. При отсутствии индивидуального цифрового кода невозможно построить базу данных из-за непреодолимых математических трудностей, возникающих при распознании образов. База данных строится на совмещении цифровой и волновой (*индивидуальной матрицы*) информации. По цифровому индивидуальному коду находится документ в базе данных, а по индивидуальной матрице проверяется его подлинность. При осуществлении электрического разряда помимо появления отверстия в бумаге (*зарегистрировать которое с помощью серийного сканера было затруднительно*) происходило испарение электропроводящей черной краски (*оценка плотности излучения фотонов электронной компоненты подтверждает такую возможность*), что снимало все технологические трудности при регистрации.

Для статистики на каждом межэлектродном промежутке (*с шагом в 2,5 мм*) обрабатывалось 12 мишеней. Типичный документ, содержащий индивидуальный цифровой код (*сгенерированный, как правило, с помощью генератора случайных чисел*) и индивидуальную картинку, полученную с помощью электрических пробоев, выглядит следующим образом:



Рис. 2. Документ строгой отчетности с защитой индивидуального цифрового кода электроразрядной технологией

При малых межэлектродных промежутках (расстояние от кончика острия до плоскости 5 мм) число электроразрядных пятен на метке не превышало 20-25. Число разрядов при этом оценивается числом порядка 4000 (регистрировалось с помощью осциллографа). Это несоответствие объясняется тем, что разряд часто попадал в отверстие, сформированное предыдущими разрядами. Время обработки идентификационной метки во всех экспериментах поддерживалось постоянным и было равным шестидесяти секундам. При увеличении межэлектродного промежутка до 7,5 мм количество электроразрядных пятен на бумаге резко увеличивается. На рис. 3 приведена типичная индивидуальная картинка (без цифрового кода) для зазора в 7,5 мм, из которой следует не только индивидуальность картинка в целом, но и неповторимость каждого из пятен.



Рис. 3. Типичная индивидуальная картинка, полученная экспериментально с применением электроразрядной технологии

Позволим себе еще один краткий экскурс в историю физического эксперимента, который привел к зарождению квантовой механики. Начало этому в XIX веке положил Томас Юнг, наблюдавший интерференцию света на двух щелях. К.Д. Дэвисон и Л.Х. Джермер (и независимо от них Д.П. Томсон) наблюдали дифракцию электронов на монокристаллах никеля (впоследствии вышеперечисленные ученые за эти эксперименты получили в 1937 году Нобелевские премии). Природа наблюдаемых периодических пиков была аналогична природе пиков в двухщелевом эксперименте.

Подобные опыты многократно повторялись, отсеивались гипотезы о взаимодействии электронов путем проведения «поштучно» (с интервалом в 30 минут) испускаемых электронов, но результат был тот же – возникала интерференционная картина.

Физики стали проводить эксперименты со все более крупными частицами. В 2003 году был снова проведен классический двухщелевой эксперимент [5] и получена интерференционная картина от одновременного прохождения через две щели очень большой (по квантовым меркам) молекулы тетрафенилпорфирина.

Чем принципиально отличается наш эксперимент от предыдущих? На первый взгляд отсутствуют «щели». Между источником электронов и мишенью – обычный воздух при нормальных условиях. Но в этой среде всегда есть флуктуации электропроводимости (мельчайшие пылинки, ионизированные участки от космического излучения, неоднородности температур, влажности и т.д.), которые и исполняют роль «щелей» в эксперименте. Вместо одиночных электронов анализируются кластеры электронов (электронные лавины из «бесконечного» количества электронов). А в результате опять получаем интерференционную картину.

Механизм формирования искровых каналов (и, следовательно, возникновения искрового разряда) принято объяснять стримерной теорией электрического пробоя газов. Согласно этой теории, из электронных лавин, возникающих в электрическом поле разрядного промежутка, при определенных условиях образуются стримеры – тускло светящиеся тонкие разветвленные каналы, которые содержат ионизированные атомы газа и отщепленные от них свободные электроны. Стримеры, удлиняясь, перекрывают разрядный промежуток и соединяют электроды непрерывными проводящими нитями, а электрический разряд, сопровождающийся ярко светящимся каналом и звуковыми эффектами, формируется по самому развитому стримеру.

Утверждать, что электрический разряд, бьющий в конкретный участок мишени (регистрируемый с помощью различной техники), ведет себя как квантовая частица, не будем, но выскажем предположение, что образование предразрядного стримера (экспериментально зарегистрировать который практически невозможно) формируется на волновых принципах, и именно это обеспечивает интерференционную картину на матрице. Стример как бы участвует в первичном обнаружении тех «щелей», через которые в будущем пройдет разряд. Волновой характер процессов, протекающих при стримерном разряде, отмечался многими авторами [6–7]. Сам же разряд развивается по траектории, предварительно сформированной стримером, и ведет себя как классическое тело.

Для разрушения когерентности состояний и исчезновения интерференционной картины имеет значение только принципиальное наличие информации, через какую из «щелей» прошел стример. Если такой информации нет (такой информацией не располагаем), то на мишени всегда будет возникать интерференционная картина независимо от того, пролетает и попадает на мишень один электрон в 30 минут или одновременно сотни миллионов электронов в виде электронной лавины. Другими словами, интерференционная картина может возникать как при исследовании явления микромира (движения отдельного электрона через две «щели»), так и при исследовании явлений макромира (движения электронной лавины через множество «щелей», что показано на примере электроразрядной идентификационной технологии).

#### **Математическая обработка полученных результатов**

Для обработки полученных картинок была написана программа, выполнявшая следующие действия для имитации классического эксперимента по проверке распределения Максвелла.

■ Поиск центра распределения отверстий (для устранения неточной центровки образца при пробое на установке) осуществлялся по следующему алгоритму:

а) вначале вычисляли проекцию изображения на осях  $X$  и  $Y$ ;

б) в качестве центра брали точку, координатами которой являются центральные значения интервала ширины на половине максимума по каждой оси.

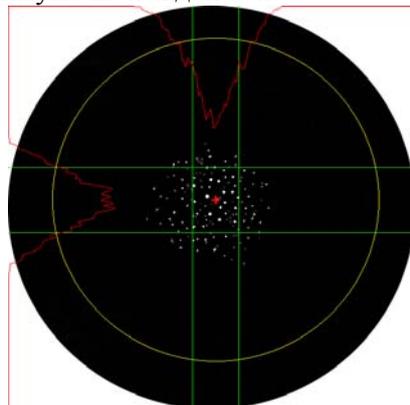


Рис.4. Алгоритм поиска центра масс

На рис. 4 видно, что физический центр (над которым устанавливался игольчатый электрод) отличается от геометрического, но оценка ошибки позиционирования игольчатого электрода относительно геометрического центра мишени не выходит за пределы окружности радиусом 1,5 мм, что позволяет утверждать о минимальном влиянии краевых эффектов.

- Разбиение картинка на указанное число колец относительно найденного центра.
- Вычисление относительной площади отверстий на кольце заданного радиуса (пока мы берем во внимание не пятно как единицу, а его вклад в суммарную площадь пятен соответствующего кольца).
- Вывод результатов в файл для дальнейших манипуляций.

По полученным данным были построены кривые, приведенные на следующих рисунках. Каждая кривая показывает результат, полученный на новой мишени при одинаковом межэлектродном промежутке.

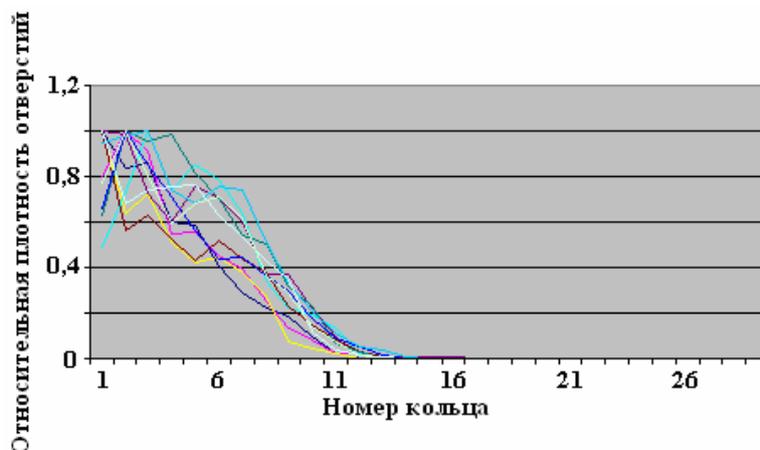


Рис. 5. Распределение плотности отверстий при зазоре 5 мм

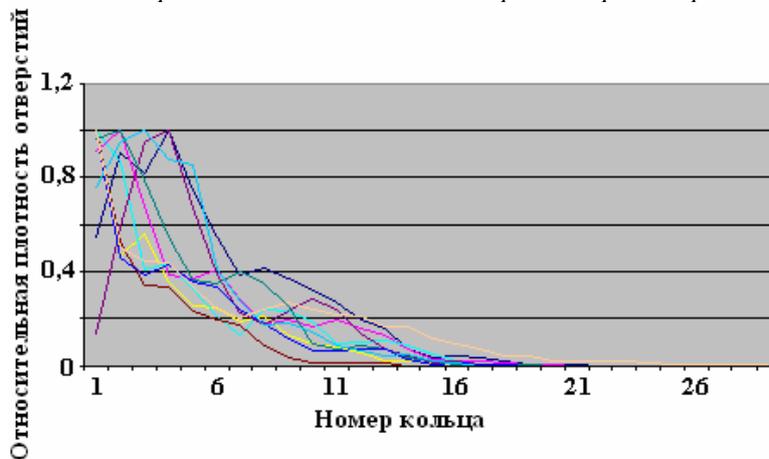


Рис. 6. Распределение плотности отверстий при зазоре 7,5 мм

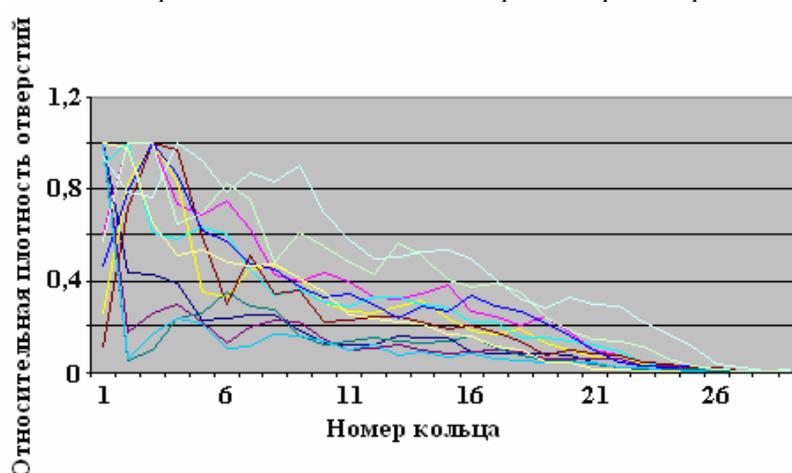


Рис. 7. Распределение плотности отверстий при зазоре 10 мм

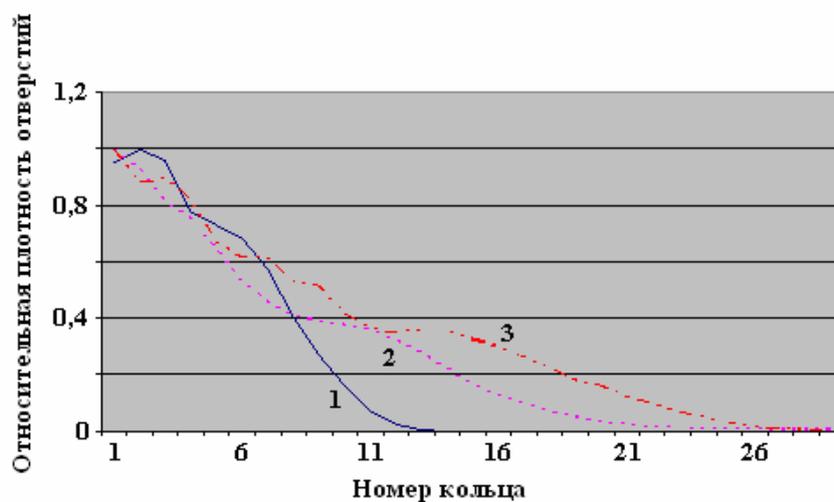


Рис. 8. Среднее распределение плотности отверстий при разных зазорах

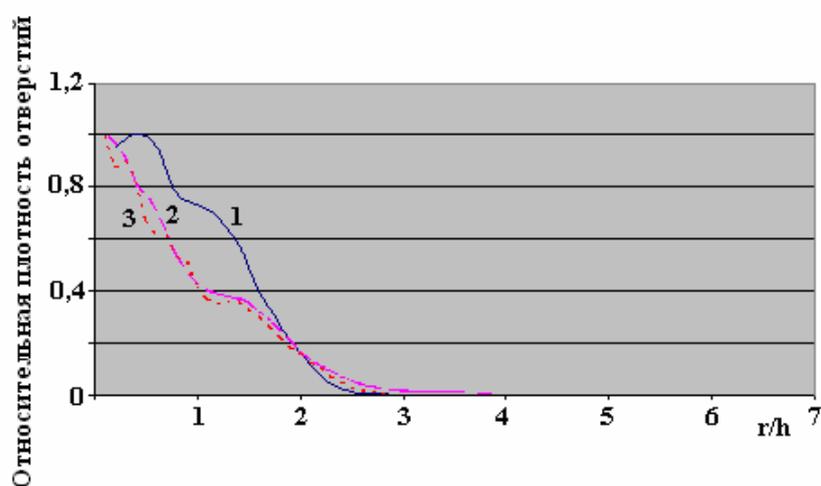


Рис. 9. Среднее распределение плотности отверстий при разных зазорах. По оси X радиус кольца нормирован на величину межэлектродного промежутка

### Обсуждение результатов

Из полученных данных видно, что отверстия на мишени распределяются неравномерно, формируя пики на кривых. В связи с использованным алгоритмом определения центра распределения в центральное кольцо, диаметр которого достаточно мал, иногда не попадает ни одного пятна, что объясняет провал первой точки на некоторых графиках. Пики на кривых не исчезают даже после значительного усреднения, показанного на рис. 8 (*усреднение по всем мишеням для данного зазора*). Также на рисунке видно, что с увеличением расстояния между электродами уменьшается наклон кривой, переходя от колоколообразного на малых расстояниях до почти прямой на большом расстоянии. После перестроения усредненных кривых с использованием по оси X радиуса, нормированного на величину межэлектродного промежутка, видно, что при зазоре 5 мм ход кривой отличается от поведения кривых на других зазорах. Возможно, это объясняется существенным изменением распределения поля в данном случае, так как размер плазменного образования на игольчатом электроде становится сравним с величиной зазора.

### Выводы

1. Электрический разряд формирует на мишени индивидуальную матрицу, что позволяет образовать невоспроизводимую идентификационную метку.
2. Наличие на идентификационной метке одновременно цифрового кода и индивидуальной матрицы позволяет быстро находить исследуемый объект в базе данных, а по совпадению (*или несовпадению*) индивидуальной матрицы проводить его идентификацию (*например, отличать контрафактный товар от легального*).

3. Электроразрядная идентификация, имеющая все признаки квантовой идентификации, в принципе не подлежит подделке и может быть использована в качестве защитной технологии при формировании документов самой строгой отчетности, вплоть до национальной денежной валюты.

4. Под одним и тем же цифровым кодом в принципе невозможно изготовить две одинаковые индивидуальные матрицы.

5. Наличие на идентификационной метке цифровой и волновой информации позволяет по-новому формировать универсальную базу данных материальных ресурсов (*бумаги, металлов, тонколистковых пластиков и т.д.*).

6. Наличие признаков интерференционной картины на мишени является доказательством волновых свойств стримеров.

7. Наличие особых признаков в виде интерференционной матрицы на метке позволяет надеяться на информационную защищенность цифрового кода (*а следовательно, и всего документа*) на самом высоком уровне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шкилев В.Д. О необходимости формирования единых принципов идентификации объектов учета и контроля в рамках национальной информационной системы III International Conference on Information Technologies 2003 ВІТ, с. 56–60.
2. Шкилев В.Д. и др. Патент Республики Молдова № 3389 «Способ идентификации электропроводящих объектов». MD-ВОPI №8. 2007. С. 51.
3. Wang L., Wilson R.G. Rotationally invariant statistics for examining the evidence from the pores in fingerprints. Department of Statistics, University Warwick, Coventry, CV4 7A1, UK.
4. Ретер Г. Электронные лавины и пробой в газах. Перевод с англ. под редакцией В.С. Комелькова М.: Мир, 1968. 390 с.
5. Hackermueller L., Uttenthaler S., Hornberger K., Reiger E., Brezger B., Ztlinger A., Arndt M. Wave Nature of Biomolecules and Fluorofullerenes // Phys. Rev. Lett. 91, 090408, (2003).
6. Басов Н.Г., Молчанов А.Г., Насибов А.С. и др. Стримерные лазеры на твердом теле // ЖЭТФ. 1976. Т.70. Вып. 5. С. 1751–1761.
7. Кускова Н.И. Искровые разряды в конденсированных средах // ЖТФ. 2001. Том 71. Вып. 2. С. 51–54.

Поступила 05.11.07

## Summary

The electrodigit technology on formation of an individual matrix, that allows in a new mode to build a database, by combining the digital and wave approaches, is offered. It is shown, that the electrodigit identification having all attributes of quantum identification, basically is not subject of counterfeiting and can be used as protective technology for the documents production of the strictest reporting, including the national money currency.