

3. Статистическая классификация, основанная на выборочных распределениях / В.Н. Иголкин, А.Б. Ковригин, А.И. Старшинов и др. – Л.: ЛГУ, 1978. – 256 с.
4. *Лепский А.Е., Броневиц А.Г.* Математические методы распознавания образов: Курс лекций. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 156 с.

**Брюхомицкий Юрий Анатольевич**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: bya@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2.

Тел.: 88634371905.

**Bryukhomitsky Yuri Anatol'evich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: bya@tsure.ru.

2, Chekhova street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371905.

УДК 681.3.067

**В.М. Федоров, Д.П. Рублев, Е.М. Панченко, О.Б. Макаревич**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ  
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ ЗАПИСИ CD/DVD-ДИСКОВ\***

*Проведено исследование возможности идентификации устройств записи CD/DVD по виброакустическим шумам, возникающим при считывании дисков на одном и том же устройстве считывания. Анализ записанных виброакустических шумов производился с помощью вейвлет-преобразования. Показано, что использование нейронных сетей позволяет идентифицировать записывающие устройства CD/DVD.*

*Виброакустические шумы; идентификация; вейвлет-преобразование; нейронные сети; записывающие устройства CD/DVD.*

**V.M. Fedorov, D.P. Rublev, E.M. Panchenko, O.B. Makarevich**

**IDENTIFICATION OF CD/DVD RECORDING DEVICES BASED ON  
VIBROACOUSTIC NOISE**

*Research of CD/DVD recording device identification possibility based on vibroacoustic noise features of disk reading process on the same device is presented. Analysis of the recorded vibroacoustics noises was performed by wavelet transform. It is shown that neural networks could be used for CD/DVD recording devices identification.*

*Vibroacoustic noises, identification, wavelet transform, neural networks, CD/DVD recording devices.*

**Введение.** Одной из важных и интересных проблем информационной безопасности является идентификация цифровых и аналоговых устройств записи звука, изображения и других данных на носители. Это связано с двумя актуальными задачами: установление авторских прав (фактически аналогично цифровым водяным знакам) и выявление устройств, на которых были нелегально записаны произведения (идентификация устройств записи). На данный момент известны методы идентификации цифровых фотоаппаратов и звуковых устройств записи (цифро-

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 08-07-00253-а и 09-07-00242-а.

вых микрофонов, звуковых плат и других устройств) [1–4]. Необходимо отметить, что при этом анализируется цифровой образ, создаваемый устройством записи, и на основе искажений, вносимых устройством, производится его идентификация. Так, в случае фотокамер можно выделить следующие аппаратные свойства, на основе которых возможно проведение их идентификации: объектив и система крепления (байонет) (формирует среднеустойчивые признаки), фильтр размытия (формирует средне- и высокочастотные устойчивые признаки), модуль светочувствительной матрицы (формирует устойчивые признаки всех частот) [1, 2, 3]. Для сканеров изображений таковыми являются дефекты и неоднородности светочувствительных элементов линейки сканера, отклонения перемещения каретки сканера от линейного, неравномерность засветки и прижатия к стеклу оригинала и т.д. Для цифровых микрофонов и диктофонов первой группой признаков являются отклонения от средней АЧХ микрофона, внутренние наводки на аналоговую часть, отклонения характеристик АЦП, нестабильность генераторов тактовой частоты и т.д.

**Постановка задачи.** В случае с записью на диски CD/DVD имеется существенное отличие – нет непосредственного влияния на записываемые цифровые данные устройством записи, что вынуждает использовать косвенные признаки, возникающие при этом. Рассмотрим возможные косвенные признаки, возникающие при такой записи. Одним из факторов, влияющих на распределение записанных данных на диски CD/DVD, является движение записывающей головки при записи информации. В дальнейшем это может проявиться на записанных дисках или в неоднородности движения считывающей головки в устройстве или оптической неоднородности записанных данных.

В данной работе исследуется движение считывающей головки в устройстве чтения дисков CD/DVD и, как вторичный эффект – акустический шум, возникающий при считывании.

**Метод решения.** Для проведения подобного рода исследований необходимо осуществить запись акустического шума, возникающего при чтении дисков CD/DVD с последующим их анализом. На рис. 1 приведена блок-схема устройства записи акустических шумов со считывающего устройства дисков CD/DVD.

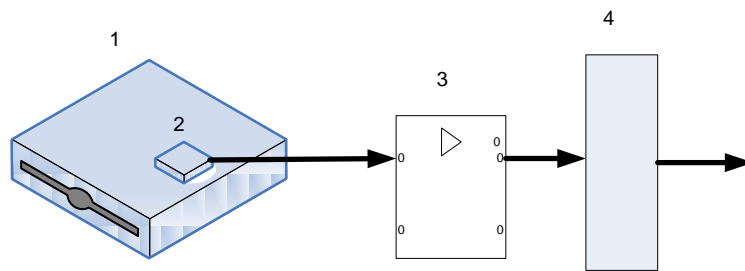


Рис. 1. Схема съема виброакустической информации со считывающего устройства CD/DVD: 1 – устройство считывания, 2 – виброакустический датчик, 3 – усилитель, 4 – АЦП

Таким образом, система регистрации шумов, возникающих при чтении диска, состоит из считывателя CD/DVD, пьезоэлектрического виброакустического датчика, жестко укрепленного на считывателе, усилителя АЦП и регистратора. В качестве считывателя CD/DVD использовано выносное устройство с USB-интерфейсом. Выносной считыватель использован для уменьшения собственных шумов персонального компьютера и помещен в бокс со звукопоглощающими стенками. В качестве считывателя виброакустических шумов использовался стандартный прибор

ST-031 «Пирания» со своим виброакустическим датчиком. В данном приборе предусмотрена связь с ПК как через звуковую плату, так и через СОМ-порт. Для регистрации виброакустических шумов использовалась стандартная встроенная звуковая плата ПК. Регистрация велась на максимальной частоте дискретизации 192 кГц.

Была проведена серия экспериментов по регистрации шумов от записанных дисков DVD, выполненных на разных записывающих устройствах. Было сделано предположение, что характер шума от движения считывающей головки при чтении дисков зависит от движения записывающих головок устройств, на которых они были записаны. Естественно предположить, что записываемый шум является смесью особенностей считывающей и записывающей систем. Таким образом, задача данной работы состояла в выделении особенностей шума при считывании, связанном с особенностями записи дисков.

На рис. 2 показаны спектрограммы записанных шумов при считывании записанных дисков с двух различных записывающих устройств CD/DVD.

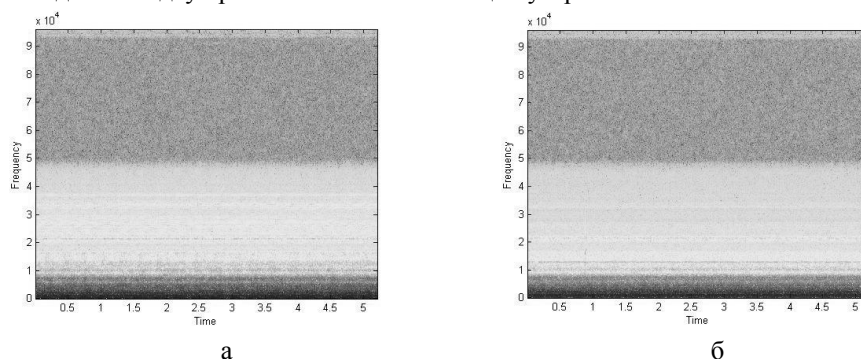


Рис. 2. Спектрограмма шума датчика с двух дисков, записанных на разных дисководов: а – первый дисковод; б – второй дисковод

Анализ спектрограмм показал, что кроме особенностей, связанных с шумом считывающего дисководов, одинакового для двух разных дисков, имеются отличия на спектрограммах, особенно на частотах от 500 до 6000 Гц. Таким образом, основной задачей является выделение компонент записанного шума, связанного с особенностями записи на исследуемых дисках. Анализ показал, что вклад в шум от устройства считывания лежит в районе 2000 Гц. На рис. 3 показана автокорреляция записанного шума.

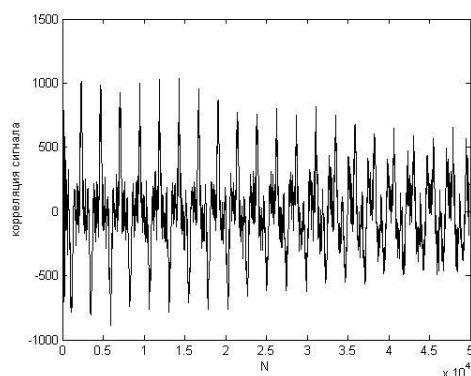


Рис. 3. Автокорреляция записи сигнала шума с датчика

Анализ показал, что обычными статистическими методами невозможно обнаружить особенности в записях шума с виброакустического датчика.

Одним из мощных методов анализа сложных случаев обработки сигналов является непрерывное вейвлет-преобразование.

Вейвлет-преобразование используется для анализа временных рядов, которые содержат непостоянную мощность в различных частотных диапазонах, а также для анализа их особенностей, которые невозможно обнаружить другими методами [5]. Предположим, что существует временной ряд,  $x_n$ , с равноотстоящими отсчетами  $\delta t$  и длиной интервала  $n=0, \dots, N-1$ . Также предположим, что существует вейвлет-функция  $\Psi_0(\eta)$ , которая зависит от безразмерного параметра "времени"  $\eta$ . Рассмотрим условия, при которых эту функцию можно использовать как базисную для вейвлет-анализа [5].

Ограниченность:

$$\int |\psi(t)|^2 dt < \infty .$$

Оценка хорошей локализации и ограниченности может быть записана в виде  $|\Psi(t)| < (1+|t|^n)^{-1}$  или  $|\hat{\Psi}(\omega)| < (1+|k-\omega_0|^n)^{-1}$ , здесь  $\omega_0$  – доминантная частота вейвлета, число  $n$  должно быть возможно большим.

Данные неравенства требуют, чтобы вейвлет-функция была ограничена по времени и по частоте.

Нулевое среднее  $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 .$

Самоподобие – все вейвлеты семейства имеют то же число осцилляций, что и базисный вейвлет, поскольку получены из него посредством масштабных преобразований и сдвигов.

Шумовой сигнал с датчика был разбит на окна длиной  $2^{10}$ . Для анализа использовалось изменение траектории одного из отсчетов по всем окнам и расположенного внутри окна.

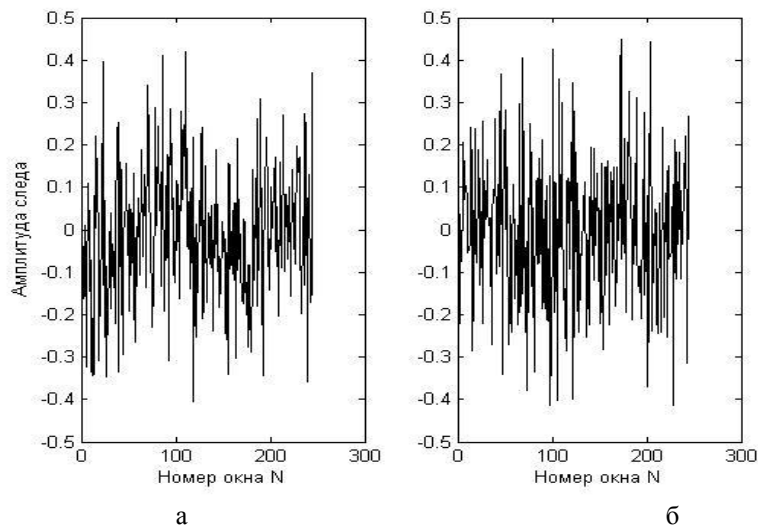


Рис. 4. Изменение траектории отсчета по окнам: а – 11-й отсчет; б – 120-й отсчет от начала окна

На рис. 4 показано изменение траектории (следа) выбранных отсчетов от номера окна. Полученный сигнал был разложен с помощью непрерывного вейвлет-преобразования. В качестве вейвлет-функции был использован модуль комплексного вейвлета Гаусса. Комплексный вейвлет возвращает значения  $p$ -производной комплексной функции Гаусса  $F(x) = C_p e^{-ix} e^{-x^2}$ . Величина  $C_p$  такая, что вторая норма  $p$ -производной функции  $F(x)$  стремится к 1. Для идентификации использовались векторы признаков длиной, равной 32 вейвлет-коэффициента.

На рис. 5 показаны временные зависимости аргументов разложения виброакустического сигнала по вейвлету Гаусса четвертого порядка для двух разных устройств чтения записи, как наиболее наглядно демонстрирующие отличия этих сигналов. По оси ОУ отложены масштабы анализа, а по оси ОХ – время. Анализ проводился на окнах длиной 500 отсчетов.

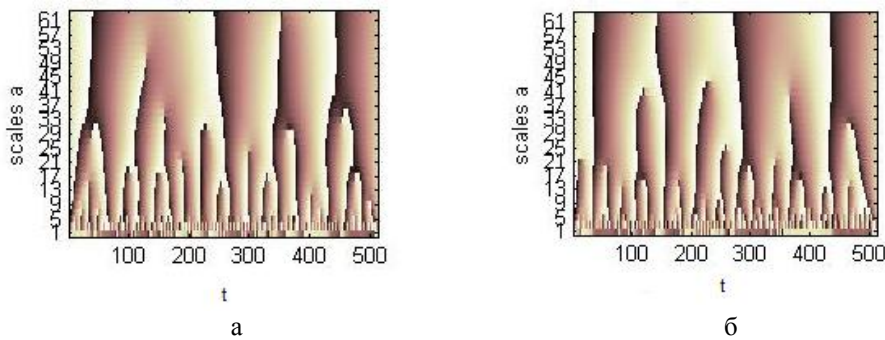


Рис. 5. Аргумент разложения виброакустического сигнала: а – для первого дисковод; б – для второго дисковод

Для проверки были исследованы диски, записанные на двух разных устройствах. Создавались выборки из тестовых и обучающих наборов. Отметим, что диски, участвующие в обучении, не использовались в тестовых экспериментах. Для распознавания использовался перцептрон, состоящий из двух скрытых слоев, каждый из которых содержал по 35 нейронов. В качестве обучающей выборки использовалось по 4 диска из двух групп. Результаты распознавания показали, что все тестовые диски были правильно идентифицированы. Проведено исследование зависимости ответов нейронной сети от длины окна и типа вейвлет-преобразования. Эксперименты показали, что наилучшее распознавание тестируемых дисков происходило при длине окна, равной  $2^{10}$ .

**Выводы.** На основании проведенного исследования можно сделать заключение, что при записи дисковых носителей CD/DVD возникают неоднородности в записанных данных из-за особенностей движения записывающей головки устройства. Такая неоднородная запись проявляется в шуме считывающей головки, причем, имеет место смесь как шума от считывающей головки, так и от неоднородности записанных данных. В работе осуществлено разделение этих двух видов виброакустических шумов с применением вейвлет-преобразования и последующей идентификаций с помощью нейронных сетей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lukáš J., Fridrich J., and Goljan M. "Determining Digital Image Origin Using Sensor Imperfections", Proc. SPIE Electronic Imaging, Image and Video Communication and Processing, San Jose, California, January 16–20, 2005. – P. 249-260.
2. Kharrazi M., Sencar H. T., and Memon N. "Blind Source Camera Identification", Proc. ICIP' 04, Singapore, October 24–27, 2004. – P. 312-317.

3. *Mehdi K.L. Sencar H.T. Memon N.* Blind source camera identification. International Conference on Image Processing, 2004. – Vol. 1. – P. 709-712.
4. *Фёдоров В.М., Макаревич О.Б. Рублев Д.П. Чумаченко А.Б.* Идентификация звуковых плат по создаваемым аудиоданным с помощью нейросетевых методов // Материалы III Международной конференции «Моделирование устойчивого регионального развития». – 2009. – № 2. – С. 90-94.
5. *Дьяконов В.П.* Вейвлеты – от теории к практике. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2004. – 440 с.

**Федоров Владимир Михайлович**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: vladmih@rambler.ru.

Россия, 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2.

Тел.: 88634371905.

**Рублёв Дмитрий Павлович**

E-mail: rublev-d@yandex.ru.

**Макаревич Олег Борисович**

E-mail: mak@tsure.ru.

**Панченко Евгений Михайлович**

НИИ физики Южного федерального университета в г. Ростов-на Дону.

E-mail: kordon@kordon-rnd.ru.

344090, г. Ростов-на Дону, пр. Стачки, 194.

Тел.: 88632905121.

**Fedorov Vladimir Mikhailovich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: vladmih@rambler.ru.

2, Chekhova street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371905.

**Rublev Dmitry Pavlovich**

E-mail: rublev-d@yandex.ru.

**Makarevich Oleg Borisovich**

E-mail: mak@tsure.ru.

**Panchenko, Eugene Mikhailovich**

Institute of Physics, Southern Federal University in Rostov-on-Don.

E-mail: kordon@kordon-rnd.ru.

194, pr. Strikes, Rostov-on-Don, 344090, Russia.

Phone: +78632905121.

УДК 681.324

**И.Ю. Половко, Е.С. Абрамов**

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ  
ИНФОРМАЦИИ, УСТОЙЧИВОЙ К АТАКАМ**

*Развертывание в сети комплекса из брандмауэров и сетевых системах обнаружения вторжений (СОА) и уверенность, что все эти компоненты безопасности правильно настроены, является сложной задачей. Хотя модели разрабатываются и для анализа эффективности брандмауэров, и для СОА, не существует общей математической модели для анализа их взаимодействия. В работе представлен комплексный подход к моделированию и*