

УДК 621.317+681.849

Рыбальский Олег Владимирович,

доктор технических наук, профессор, лауреат
Государственной премии УССР в области науки и техники,
профессор НАВД, г. Киев, Украина
ORCID ID 0000-0002-1440-8344

Соловьев Виктор Иванович,

кандидат технических наук, доцент, заместитель
заведующего кафедрой компьютерных систем и сетей
Восточнукраинского национального университета
им. В. Даля, Северодонецк, Украина,
ORCID ID 0000-0003-3541-4740

Журавель Вадим Васильевич,

кандидат технических наук, заведующий лабораторией исследований
в сфере информационных технологий Киевского
научно-исследовательского экспертно-криминалистического центра
МВД Украины, Киев, Украина

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРИМИНАЛИСТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ АППАРАТУРЫ ЦИФРОВОЙ ЗВУКОЗАПИСИ

Рассмотрены вопросы построения высокоэффективного инструментария для диагностики оригинальности цифровых фонограмм и идентификации аппаратуры цифровой звукозаписи, основанного на фрактальном подходе к сигналам ее собственных шумов. Предложены усовершенствованные методы выделения и обработки самоподобных структур из фонограмм, используемых в качестве идентификационных признаков при экспертизе. Предложено обязательное использование кривых ошибок первого и второго рода, построенных на основании большого объема данных, полученных из ограниченного количества фонограмм в автоматическом режиме. Установлено, что для фонограмм длительностью более 20 сек, записанных на разной аппаратуре, кривые ошибок носят устойчивый характер, т.е. практически не изменяются.

Ключевые слова: *аппаратура цифровой звукозаписи, вероятность, идентификационные признаки, мера близости, самоподобные структуры, цифровая фонограмма, фрактальный подход, экспертиза*

Розглянуто питання побудови високоефективного інструментарію для діагностики оригінальності цифрових фонограм та ідентифікації апаратури цифрового звукозапису, заснованого на фрактальному підході до сигналів її власних шумів. Запропоновані вдосконалені методи виділення і обробки самоподібних структур з фонограм, які використовуються як ідентифікаційні ознаки при експертизі. Запропоновано обов'язкове використання кривих помилок першого та другого роду, побудованих на підставі великого об'єму даних, отриманих з обмеженої кількості

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

фонограм в автоматичному режимі. Встановлено, що для фонограм тривалістю більше 20 сек, записаних на різній апаратурі, криві помилок мають стійкий характер, тобто практично не змінюються.

Ключові слова: апаратура цифрового звукозапису, імовірність, ідентифікаційні ознаки, міра близькості, самоподібні структури, цифрова фонограма, фрактальний підхід, експертиза

Введение и постановка задачи

Известно, что в комплект инструментария, необходимого для проведения судебной экспертизы материалов и аппаратуры звукозаписи, входят программы и методики идентификации голоса диктора, идентификации аппаратуры звукозаписи и диагностики подлинности (аутентичности) фонограмм [1].

В статье рассматриваются вопросы построения инструментария для диагностики оригинальности цифровых фонограмм и идентификации аппаратуры цифровой звукозаписи. Они относятся к основным задачам экспертизы материалов и аппаратуры звукозаписи. Это поясняется тем, что диагностика оригинальности (первичности) фонограммы, входящей как составная часть в диагностику ее подлинности, проводится путем идентификации такой аппаратуры [1]. По мере развития аппаратуры звукозаписи развивался и инструментарий, используемый для экспертизы. Однако на всех этапах его развития для идентификации использовались идентификационные признаки, фиксируемые при записи в фонограмме и выделяемые из нее при экспертизе. Разные виды аппаратуры записи создают разные признаки, но всегда они образуются за счет конструктивных и технологических особенностей (паразитных параметров) аппаратуры звукозаписи [1–9]. Основными свойствами таких признаков являются:

1. Индивидуальность для каждого конкретного аппарата записи;
2. Физическая выделяемость из фонограммы (реализуемость);
3. Стабильность в течение идентификационного периода;
4. Повторяемость для разных фонограмм, записанных на одном аппарате;
5. Изменяемость при обработке [4].

Эти признаки, в силу их индивидуальности и изменяемости при обработке, используются и при диагностике отсутствия следов монтажа в фонограмме. Существуют различные системы идентификации аппаратуры цифровой звукозаписи и диагностики подлинности фонограмм [1–9], но основная сложность создания таких систем состоит в том, что уровень паразитных параметров данной аппаратуры крайне мал, что не позволяет извлечь идентификационные признаки из фонограммы классическими методами [9].

Одним из последних вариантов создания экспертного инструментария, предназначенного для идентификации цифровой аппаратуры звукозаписи, является инструментарий “Фрактал” [10–13]. Он обладает высокой эффективностью и обеспечивает идентификацию аналоговой и цифровой аппаратуры. Однако его применение требует значительных трудовых и временных затрат. Кроме того, его эффективность снижается из-за того, что идентификационные признаки выделяются

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

из сигналов пауз в речевой информации (пауз между словами), записанной на фонограмме. Но выделение пауз из фонограммы всегда производится с некоторой погрешностью, а сигналы собственных шумов в паузе содержат, как правило, смесь шумов внешней звуковой среды с собственными шумами аппаратуры. Именно последнее обстоятельство приводит к необходимости записи и сравнения трех образцовых фонограмм для вычисления доверительного интервала критериальных точек фрактальных масштабов, используемых при сравнении образцовых и спорной (исследуемой) фонограмм [14]. Кроме того, при использовании для записи фонограмм современных средств коммуникации (например, смартфонов), сигналы шумов в паузах могут генерироваться в самом устройстве и не нести в себе собственных шумов аппаратуры.

При этом порог принятия решения об оригинальности исследуемой фонограммы принят на основании обобщенного практического опыта группы экспертов и определен на уровне 15 %, однако эта величина не имеет научного обоснования и носит субъективный характер.

Все это значительно ухудшает эффективность системы, усложняет экспертные исследования и увеличивает трудовые затраты на экспертизу.

Следовательно, имеются возможности и потребность усовершенствования инструментария, построенного на основе фрактального подхода. Оно должно привести к повышению эффективности инструментария для идентификации аппаратуры звукозаписи, упрощению использования и снижению трудоемкости его применения.

Цель статьи – усовершенствование экспертного инструментария идентификации аппаратуры звукозаписи, основанного на фрактальном подходе к сигналам ее собственных шумов.

Мы полагаем, что эта задача может быть решена путем дополнения фрактального подхода новыми технологиями обработки сигналов и автоматизации процесса проведения экспертизы. Кроме того, переход на программирование в программной среде “Piton” должно оказать положительное влияние на результаты автоматизации процесса экспертизы и, следовательно, упрощения использования и снижения ее трудоемкости.

Основная часть

Ранее нами было показано, что в аналоговой записи собственные шумы аппаратуры носят регулярный характер и поэтому в частотной области могут быть отделены от звуковых шумов, всегда носящих случайный характер, путем кратковременного (оконного) преобразования Фурье с последующим накоплением [1]. При этом уровень собственных шумов аналоговой аппаратуры достаточно высок (динамический диапазон не превышает 52 дБ), что и обеспечивает выделение регулярных частотных составляющих собственных шумов аппаратуры из всей фонограммы без разделения ее на сигналы речи и сигналы пауз [1]. Вместе с тем нами показано, что и собственные шумы аппаратуры цифровой звукозаписи содержат регулярные частотные составляющие, что обусловлено источниками их происхождения, но уровень таких сигналов и, соответственно, уровень порождаемых ими

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

самоподобных структур не превышает величины двух младших разрядов аналого-цифрового преобразования [9; 13]. Следовательно, такие сигналы как во временной, так и в частотной области будут содержать регулярные самоподобные структуры, которые можно выделить из смеси речевых сигналов, сигналов звуковой среды и собственных шумов фонограммы [13]. При выделении аппаратурных шумов не только из пауз, а из смеси сигналов по всей длительности фонограммы, значительно возрастает объем информации, из которой выделяются идентификационные признаки аппаратуры. Такое выделение сигналов собственных шумов должно обеспечить повышение эффективности системы идентификации. Разумеется, для их выделения потребуются специальные способы обработки информации. Один из них – вейвлет – преобразование с последующей декомпозицией сигналов, примененный для извлечения собственных шумов из смеси сигналов, обеспечивающий извлечение сигналов собственных шумов по всей длительности фонограммы [15]. Его применение также обеспечивает устранение погрешностей, возникающих при сегментации сигналов на паузы и речевую информацию. Мы полагаем, что совмещение фрактального подхода к выделению идентификационных признаков со способом декомпозиции сигналов, зафиксированных на фонограмме, способно обеспечить высокую эффективность системы, несмотря на крайне малый уровень сигналов собственных шумов, присущих аппаратуре цифровой звукозаписи. На рис. 1 показаны собственные шумы аппаратуры цифровой звукозаписи, выделенные из смеси сигналов, записанных на фонограмме.

Эти шумы были выделены следующим образом.

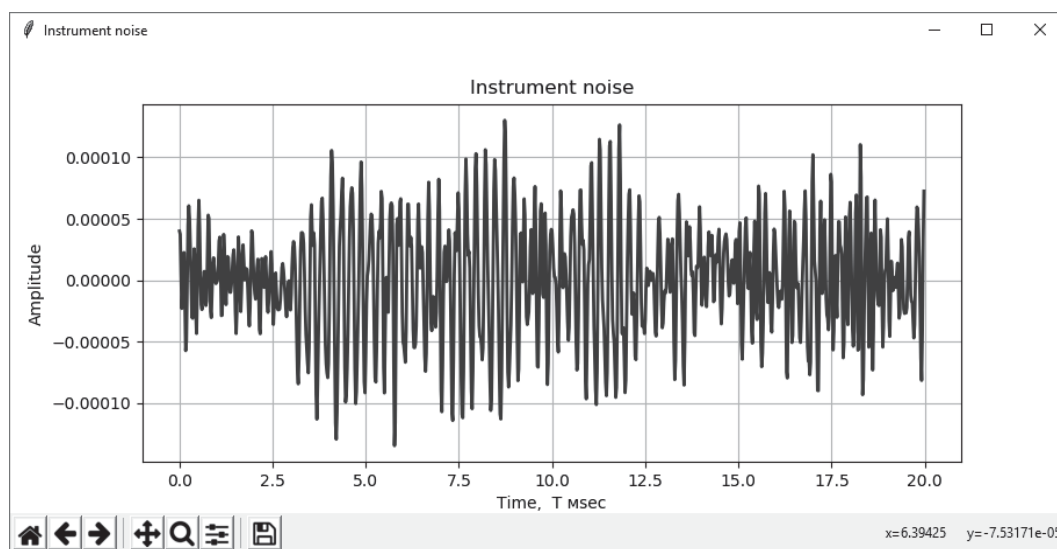


Рис. 1. Собственные шумы аппаратуры цифровой звукозаписи, выделенные из смеси сигналов, записанных на фонограмме

Следующим аспектом повышения эффективности системы является установление научно обоснованного порога принятия решения об оригинальности исследуемой фонограммы. Мы считаем, что такое значение порога может быть принято только на основе установления на экспериментальном материале большого

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

объема кривых ошибок первого и второго рода, присущих разрабатываемой системе. Для этого, во-первых, требовалось создать массив “больших данных” (dataset), который содержал бы сотни тысяч реализаций собственных шумов различной аппаратуры цифровой звукозаписи. В распоряжении авторов было 15 смартфонов различного типа и марок, на которых было сделано по четыре экспериментальных записей. Из этих записей приведенным выше способом были выделены собственные шумы аппаратуры. Полученные реализации шумов сканировались окном длительностью 20 мсек с интервалом 1 мсек и из них вырезались фрагменты данной длительности. При этом использовалась технология каркасов [15]. Таким образом, были сформированы массивы фрагментов шумов различной аппаратуры размерностью около 300000. Из них в созданном для этого программном модуле формировались фонограммы длительностью ≤ 3 , ≤ 5 и ≥ 20 сек. Для построения кривой ошибок первого рода сравнивались фрагменты шумов из массива записей, сделанных на одной аппаратуре. Для формирования массива фрагментов шумов, выделенных из разной аппаратуры, они отбирались случайным образом. Массивы сравниваемых фонограмм из их фрагментов создавались в автоматизированном компьютерном режиме. Из фонограмм выделялись самоподобные структуры и попарно сравнивались друг с другом. По результатам сравнения строились кривые ошибок. Эти кривые строились для фонограмм разной длительности. Установлено, что для фонограмм, записанных на различной аппаратуре, длительностью более 20 сек, кривые ошибок носят устойчивый характер, т.е. практически не изменяются. Пример таких кривых приведен на рис. 2.

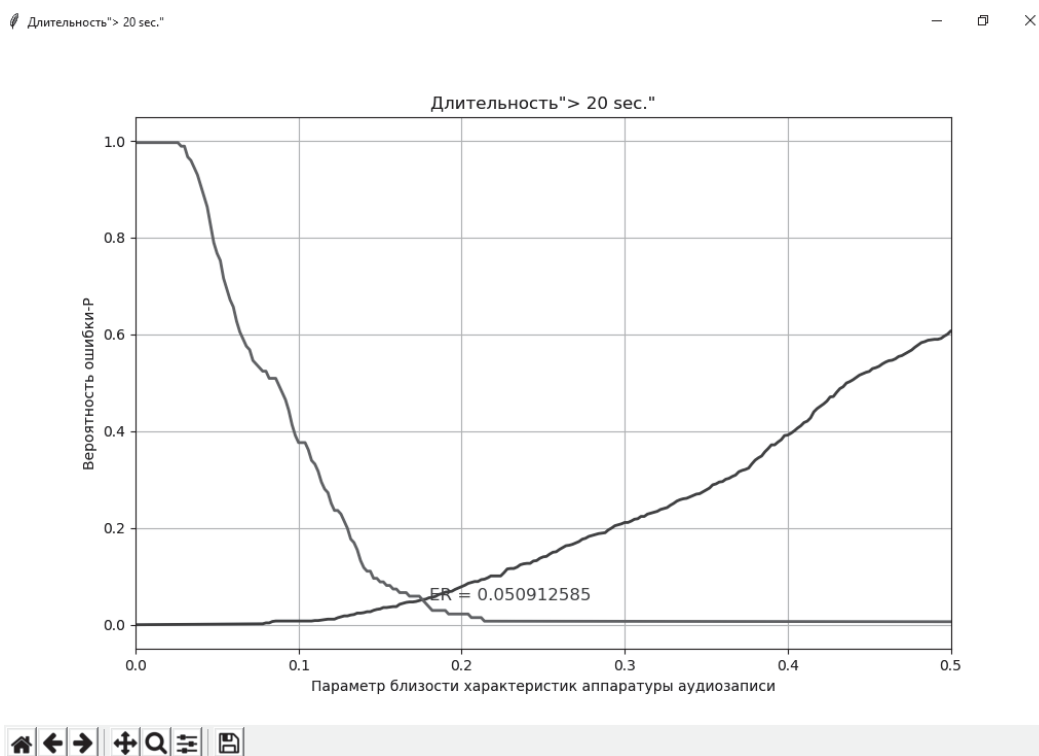


Рис. 2. График ошибок первого и второго рода для фонограмм длительностью больше 20 сек

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

Самоподобные структуры из фрагментов шумов аппаратуры выделялись методом максимума вейвлет преобразования [10; 15]. Они характеризуют индивидуальность аппаратуры цифровой звукозаписи и являются идентификационными признаками [10].

При этом точка пересечения кривых ошибок первого и второго рода определяют максимальное значение порога, при котором фонограммы принимаются как записанные на одной аппаратуре, т.е. определяет минимальную эффективность системы [16].

В качестве меры близости характеристик сравниваемой аппаратуры применяется модуль расстояния между нормированными фрактальными кривыми, получаемыми при измерениях фрактальных характеристик. Их нормирование проводится на каждом отсчете сигнала, а мера близости кривых определяется как

$$S = |A_{Ni} - A_{Nj}| = \left| \frac{A_i}{\sum_{i=1}^K A_i} - \frac{A_j}{\sum_{j=1}^L A_j} \right|,$$

где A_{Ni} , A_{Nj} – нормированные фрактальные характеристики первой и второй фонограммы,

A_i , A_j – величина выделенного фрактального максимума на i -том и j -том отсчетах сигналов для каждой из сравниваемых фонограмм.

Аналогичная технология сравнения шумов аппаратуры использована при проведении экспертных исследований в разработанной программе. При этом выбор типа ошибки (первого и второго рода) обусловлен величиной полученной меры близости между характеристиками сравниваемых фонограмм. Если полученная величина этой меры не превышает значения, полученного для точки пересечения кривых ошибок, то выбирается ошибка I рода, а если превышает – то II рода [17]. Соответственно, по величине меры близости и кривым ошибок устанавливается величина вероятности ошибки. Разумеется, что все эти операции производятся в автоматическом режиме.

Пример фрактальных кривых, полученных при сравнении двух фонограмм, показан на рис. 3.

На рис. 3 видно, что величина вероятности ошибки второго рода для сравниваемых фонограмм не превышает 0,45 %.

Такая высокая эффективность системы “Фрактал” достигнута за счет применения предложенных методов выделения и обработки идентификационных признаков из фонограммы.

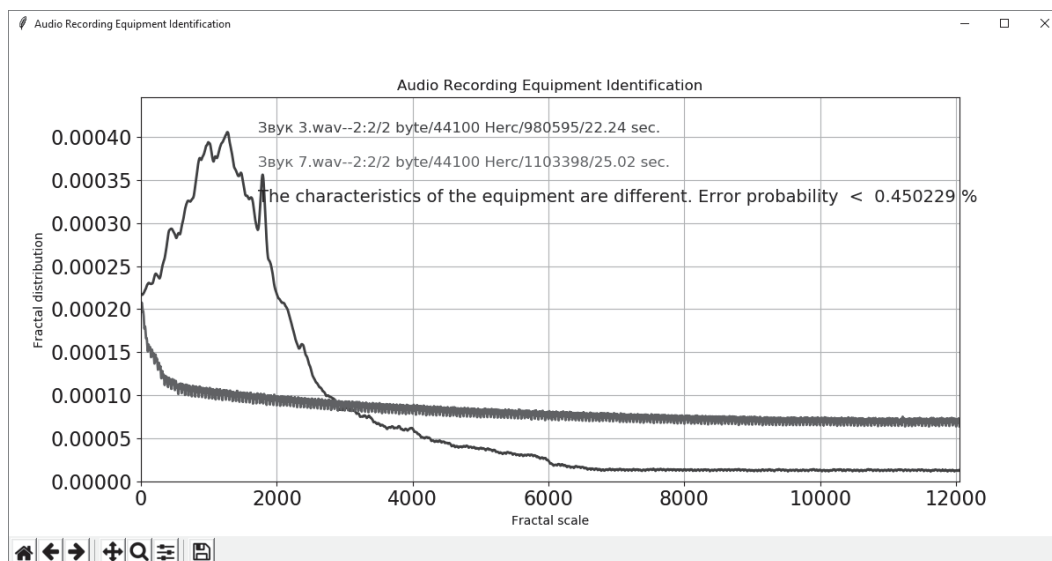


Рис. 3. Результат сравнения фрактальных характеристик собственных шумов двух фонограмм, записанных на разных аппаратах цифровой звукозаписи

Выводы

Предложены методы выделения и обработки самоподобных структур из фонограмм, используемых в качестве идентификационных признаков при экспертизе.

Один из предложенных методов построен на выделении самоподобных структур собственных шумов фонограммы по всей ее длине из их смеси с речевыми сигналами и сигналами звуковой среды.

Второй метод подразумевает при разработке системы обязательное построение кривых ошибок первого и второго рода. При их построении необходимо использовать большой объем данных, которые можно получить из ограниченного количества фонограмм путем их разбиения на отдельные участки разной длины в автоматическом режиме.

Предложено меру близости параметров самоподобных структур, выделяемых из сравниваемых фонограмм, определять как модуль расстояния между нормированными фрактальными кривыми, получаемыми при измерениях фрактальных характеристик.

Предложенные методы позволяют значительно повысить эффективность установления оригинальности фонограмм и идентификации цифровой аппаратуры звукозаписи при проведении экспертизы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбальский О.В., Жариков Ю.Ф. Современные методы проверки аутентичности магнитных фонограмм в судебно-акустической экспертизе. К.: НАВСУ, 2003. 300 с.
2. Шварц А. Криминалистическая экспертиза магнитофонных записей. М.: Юрид. лит., 1964. 162 с.

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

3. Попов Ю.П., Трунов Б.Н., Белинский Ю.В. и др. Модифицированный способ магнито-оптической визуализации сигналограмм и его использование в экспертной практике. Вопросы судебно-фоноскопической экспертизы. Тбилиси: ЦРНИЛСЭ, 1980. 47 с.

4. Вертузаев М.С., Жариков Ю.Ф. Судебная акустика: теоретические основы и экспертная практика: научно-практическое пособие. К.: РИО МВД Украины, 1992. 112 с.

5. Pfister B. Personenidentifikation anhand der Stimme. Kriminalistik, 2001, no. 55(4), p. 287–292.

6. Gonzalez-Rodriguez J., Ortega-Garcia J. & J. Lucena-Molina. Identivox: A PC Windows Tool for Text-Independent Speaker Recognition in Forensic Environments, in J. WUjckiewicz (ed.) Problems of Forensic Sciences: Proceedings of EAFS Meeting, Cracow, Poland, 2001, Vol. XLVII, p. 246–253.

7. Forensic speech and audio analysis forensic linguistics / A. Review: 2001 to 2004 / A.P.A. Broeders MA PhD Chief Scientist Netherlands Forensic Institute Ministry of Justice / P.O. Box 24044 2490 AA THE HAGUE. The Netherlands.

8. Speaker Recognition Evaluation 2016. NIST. URL: <https://www.nist.gov/itl/iad/mig/speaker-recognition-evaluation-2016> (дата звернення: 25.09.2019).

9. Рыбальський О.В. Застосування вейвлет-аналізу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм у судово-акустичній експертизі. К.: НАВСУ, 2004. 167 с.

10. Соловьев В.И. Идентификация аппаратуры аудиозаписи по статистическим характеристикам аудиофайлов. Реестрация та обробка інформації. 2013. Т. 14. № 1. С. 59–70.

11. Рыбальский О.В., Соловьев В.И., Журавель В.В. Методология построения системы экспертной проверки цифровых фонограмм и идентификации аппаратуры цифровой звукозаписи с применением программы “Фрактал”. Информатика та математичні методи в моделюванні. 2016. Т. 6. № 2. С. 105–115.

12. Рыбальский О.В., Соловьев В.И., Журавель В.В. Системы инструментария экспертизы аудио и видеозаписи в Украине. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. 2018. № 4. С. 15–19.

13. Рыбальский О.В., Журавель В.В., Соловьев В.И. Обоснование применения фрактального подхода к созданию комплекса контроля подлинности цифровых фонограмм для экспертизы материалов и аппаратуры цифровой звукозаписи. Информатика та математичні методи в моделюванні. 2016. Т. 6. № 3. С. 240–248.

14. Рыбальський О.В., Соловйов В.І., Журавель В.В. Методика ідентифікаційних і діагностичних досліджень аналогової та цифрової апаратури звукозапису та аналогових і цифрових фонограм при проведенні технічних досліджень звуко- та відеозаписів на основі використання програмного комплексу “Фрактал”. Авторське свідоцтво на твір № 75496, заявка № 76247 від 25.10.2017.

15. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов: пер. с англ. М.: Мир, 2005, 670 с.

16. Рыбальский О.В., Соловьев В.И., Чернявский С.С. и др. Вероятностный подход к принятию экспертных решений по анализу сложных объектов. Известия Национальной академии наук Белоруссии. Серия “Физико-технические науки”. 2019. Т. 64. № 3. С. 346–352. URL: <https://doi.org/10.29235/15-8358-2019-64-3-346-352> (дата звернення: 25.09.2019).

17. Рыбальський О.В., Соловйов В.І., Чернявський С.С. та ін. Особливості сучасних імовірносних технологій судової експертизи. Право і правоохорона. 2019. № 4. С. 212–215.

REFERENCES

1. Rybalsky O.V., Zharikov Yu.F. (2003). Sovremennyye metody proverki autentichnosti magnitnykh fonogramm v sudebno-akusticheskoy ekspertize. “Modern methods for verifying the authenticity of magnetic phonograms in forensic acoustic examination”. К.: NAVSU, 2003. 300 p. [in Russian].

2. Shvarts A. (1964). Kriminalisticheskaya ekspertiza magnitofonnykh zapisey. “Forensic examination of tape recordings”. М.: Jurid. lit. 162 p. [in Russian].

3. Попов Ю.П., Трунов В.Н., Белинский Ю.В. и др. (1980). Modifitsirovannyi sposob magnitoopticheskoy vizualizatsii signalogramm i yego ispol'zovaniye v ekspertnoy praktike. “A modified method of magneto-optical visualization of signalograms and its use in expert practice”. Questions of forensic phonoscopic examination. Tbilisi: CRNILSE, 47 p. [in Russian].

4. Vertuzayev M.S., Zharikov Yu.F. (1992). Sudebnaya akustika: teoreticheskiye osnovy i ekspertnaya praktika. “Forensic acoustics: theoretical foundations and expert practice: a scientific and practical manual. К.: RIO Ministry of Internal Affairs of Ukraine, 112 p. [in Russian].

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

5. *Pfister B.* (2001). Personenidentifikation anhand der Stimme. *Kriminalistik*, no. 55 (4). P. 287–292 [in English].
6. *Gonzalez-Rodriguez J., Ortega-Garcia J. & J. Lucena-Molina.* Identivox: A PC Windows Tool for Text-Independent Speaker Recognition in Forensic Environments, in J. WUjickiewicz (ed.) *Problems of Forensic Sciences: Proceedings of EAFS Meeting, Cracow, Poland, 2001, Vol. XLVII*, p. 246–253 [in English].
7. Forensic speech and audio analysis forensic linguistics / A. Review: 2001 to 2004 / A.P.A. Broeders MA PhD Chief Scientist Netherlands Forensic Institute Ministry of Justice / P.O. Box 24044 2490 AA THE HAGUE. The Netherlands [in English].
8. Speaker Recognition Evaluation 2016. NIST. URL: <https://www.nist.gov/itl/iad/mig/speaker-recognition-evaluation-2016>. (date of application: 25.09.2019). [in English].
9. *Rybalskyi O.V.* (2004). Zastosuvannya veyvlet-analizu dlia vyavlennia slidiv tsyfrovoy obrobky analogovykh i tsyfrovoykh fonohram u sudovo-akustychniy ekspertyzi. “The use of wavelet analysis to identify traces of digital processing of analog and digital phonograms in forensic acoustic examination”. K.: NAVDU.16 p. [in Ukrainian].
10. *Solovyev V.I.* (2013). Identifikatsiya apparatury audiozapisi po statisticheskim kharakteristikam audiofaylov. “Identification of audio recording equipment by the statistical characteristics of audio files”. *Registration and processing of information*. Vol. 14. No. 1. P. 59–70 [in Russian].
11. *Rybalsky O.V., Solovyev V.I., Zhuravel V.V.* (2016). Metodologiya postroyeniya sistemy ekspertnoy proverki tsyfrovoykh fonogramm i identifikatsii apparatury tsyfrovoy zvukozapisi s primeneniym programmy “Fraktal”. “Methodology for constructing a system of expert verification of digital phonograms and identification of digital sound recording equipment using the “Fractal program”. *Informatics and mathematical methods in modeling*. Vol. 6. No. 2. P. 105–115 [in Russian].
12. *Rybalsky O.V., Solovyev V.I., Zhuravel V.V.* (2018). Sistemy instrumentariya ekspertizy audio i videozapisi v Ukraine. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya S. “Audio and video recording examination toolkit systems in Ukraine. Bulletin of Polotsk State University. Series C”*. *Fundamental Sciences*. No. 4. P. 15–19 [in Russian].
13. *Rybalsky O.V., Zhuravel V.V., Solovyev V.I.* (2016). Obosnovaniye primeneniya fraktalnogo podkhoda k sozdaniyu kompleksa kontrolya podlinnosti tsyfrovoykh fonogramm dlya ekspertizy materialov i apparatury tsyfrovoy zvukozapisi. “The rationale for the application of the fractal approach to the creation of a complex of control of the authenticity of digital phonograms for the examination of materials and equipment for digital sound recording”. *Informatics and mathematical methods in modeling*. Vol. 6. No. 3. P. 240–248 [in Russian].
14. *Rybalskyi O.V., Soloviov V.I., Zhuravel V.V.* (2017). Metodyka identyfikatsiinykh i diahnostychnykh doslidzhen analogovoi ta tsyfrovoy aparatury zvukozapysu ta analogovykh i tsyfrovoykh fonohram pry provedenni tekhnichnykh doslidzhen zvuko- ta videozapysiv na osnovi vykorystannya prohramnoho kompleksu “Fraktal”. “Methods of identification and diagnostic studies of analog and digital audio recording equipment and analog and digital phonograms in conducting technical studies of audio and video recordings based on the use of the “Fractal” software complex”. Certificate of copyright for the work № 75496, application № 76247 dated 25.10.17 [in Ukrainian].
15. *Malla S.* (2005). *Veyvlety v obrabotke signalov. “Wavelets in Signal Processing”*: Per. from English M.: Mir, 670 p. [in Russian].
16. *Rybalsky O.V., Solovyev V.I., Chernyavskiy S.S. i dr.* (2019). Veroyatnostnyy podkhod k prinyatiyu ekspertnykh resheniy po analizu slozhnykh obyektov. *Izvestiya Natsionalnoy akademii nauk Belorussii. Seriya “Fiziko-tekhnicheskiye nauki”*. “A probabilistic approach to making expert decisions on the analysis of complex objects. *News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series “Physical and Technical Sciences”*”. V. 64. No. 3. P. 346–352. URL: <https://doi.org/10.29235/15-8358-2019-64-3-346-352> (date of application: 25.09.2019) [in Russian].
17. *Rybalskyi O.V., Soloviov V.I., Chernyavskiy S.S. ta in.* (2019). Osoblyvosti suchasnykh imovirnosnykh tekhnolohii sudovoi ekspertyzy. “Features of modern probabilistic forensic technologies”. *Law and law enforcement*. No. 4. P. 212–215 [in Ukrainian].

Rybalskyi Oleh,

Doctor of Technical Sciences, Full Professor,
Laureate of the state award in the field of science and technology,
Chief Researcher, Professor at the Department, National Academy
of Internal Affairs, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID 0000-0002-1440-8344

Soloviov Viktor,

Candidate of Technical Sciences, Docent, Deputy Head of the Department,
V. Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine,
ORCID ID 0000-0003-3541-4740

Zhuravel Vadym,

Candidate of Technical Sciences, Chief of the Laboratory,
Kyiv Research and Expert and Criminalistics Center of the
Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**WAYS OF ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF FORENSIC
IDENTIFICATION OF DIGITAL AUDIO RECORDING EQUIPMENT**

The article deals with the issues of building a toolkit for diagnosing the originality of digital soundtracks and identification of digital audio recording equipment. One of the last variants of creation of the expert toolkit intended for identification of digital recording equipment is the "Fractal" toolkit, but its efficiency is reduced because identification signs are allocated from signals of pauses in the language information (pauses between words) recorded on a phonogram. The purpose of the article is to improve the expert toolkit for identification of sound recording equipment based on the fractal approach to the signals of its own noises. It is suggested to use the separation of hardware noises not only from pauses, but also from a mixture of signals with the entire duration of the phonogram. At the same time, the volume of information from which the identification features of the equipment are allocated increases significantly. Such separation of the own noise signals ensures the increased efficiency of the identification system. The proposed methods of separation and processing of self-similar structures from phonograms, used as identification features in the examination. One of the proposed methods is based on the separation of self-similar structures of the phonogram's own noises along its entire length from their mixture with language and sound environment signals. The second method provides for mandatory building of error curves of the first and second types when developing the system. When building them, it is necessary to use a large amount of data that can be obtained from a limited number of phonograms by dividing them into separate sections of different lengths in automatic mode. It has been established that for phonograms lasting more than 20 seconds, the error curves are stable, in other words, they practically do not change. The degree of closeness of parameters of self-similar structures, separated from the compared phonograms, is offered to define as the module of distance between the normalized fractal curves, received at measurements of fractal characteristics. The

© Rybalskyi Oleh, Soloviov Viktor, Zhuravel Vadym, 2019

proposed methods allow increasing considerably the efficiency of establishing the originality of soundtracks and identification of digital recording equipment during the expertise.

Keywords: digital audio recording equipment, probability, identification features, degree of proximity, self-similar structures, digital phonogram, fractal approach, expertise

Отримано 18.10.2019