

УДК 621.317.799.297 + 681.849

**Рыбальский О. В.**, д-р техн. наук,

**Соловьев В. И.**, к-т техн. наук,

**Журавель В. В.**,

**Тимошенко Л. Н.**, к-т экон. наук

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА САМОПОДОБНЫХ СТРУКТУР, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ШУМОВ ФОНОГРАММ, ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИДЕНТИЧНОСТИ АППАРАТУРЫ ЦИФРОВОЙ ЗВУКОЗАПИСИ

*Аннотация.* Рассмотрено применение критерия Колмогорова-Смирнова для определения принадлежности к одному распределению выборок мультифрактальных структур, выделенных из шумов цифровых фонограмм. Показано, что применение такого критерия позволяет идентифицировать аппаратуру цифровой звукозаписи.  
*Ключевые слова:* цифровая звукозапись, мультифракталы, шумы, криминалистическая идентификация, цифровая фонограмма.

**Рыбальский О. В.**, д-р техн. наук,

**Соловьев В. И.**, к-т техн. наук,

**Журавель В. В.**,

**Тимошенко Л. Н.**, к-т экон. наук

## СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИХ СТРУКТУР, ВИДІЛЕНИХ З ШУМІВ ФОНОГРАМ, ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ІДЕНТИЧНОСТІ АПАРАТУРИ ЦИФРОВОГО ЗВУКОЗАПИСУ

*Анотація.* Розглянуто застосування критерію Колмогорова-Смирнова для визначення приналежності до одного розподілу вибірок мультифрактальних структур, виділених з шумів цифрових фонограм. Показано, що застосування такого критерію дозволяє ідентифікувати апаратуру цифрового звукозапису.  
*Ключові слова:* цифровий звукозапис, мультифрактали, шуми, криміналістична ідентифікація, цифрова фонограма.

**Rybalsky O. V.**, DrS,

**Solovyov V. I.**, PhD,

**Zhuravel V.V.**,

**Timoshenko L.N.**, PhD

## STATISTICAL TREATMENT OF THE MULTIFRACTAL STRUCTURES ABSTRACTED FROM NOISES OF PHONOGRAMS, AT DETERMINATION OF IDENTITY OF APPARATUS OF THE DIGITAL AUDIO RECORDING

*Annotation.* Application of criterion of Kolmogorov-Smirnov is considered for determination of belonging to one distribution of selections of the multifractal structures abstracted from noises of digital phonograms. It is shown that application of such criterion allows to identify the apparatus of the digital audio recording.

*Keywords:* apparatus of the digital audio recording, multifractals, noises, criminalistics authentication, digital phonogram.

### Вступление

Установление факта целостности информации, зафиксированной в цифровых фонограммах (ЦФ), невозможно без проведения экспертизы оригинальности и подлинности этих фонограмм и, следовательно, без идентификационных криминалистических исследований аппаратуры цифровой звукозаписи (АЦЗЗ), на которой они записывались [1; 2]. Такие исследования проводятся методом сравнения некоторых параметров аппаратуры записи, зафиксированных в шумах ЦФ. Сравниваются шумы, выделенные из ЦФ, записанных экспертом на представленной аппаратуре (образцовые фонограммы), с

шумами, выделенными из ЦФ, представленными на экспертизу (спорные фонограммы).

Для проведения сравнительных исследований в настоящее время используются паразитные параметры аппаратуры записи, зафиксированные в шумах ЦФ [1; 2]. Поскольку шумы ЦФ определяются многими факторами, связанными с конструктивными и технологическими особенностями изготовления АЦЗЗ, они всегда являются случайными процессами. Поэтому “в лоб” задача идентификации аппаратуры записи может решаться

как сравнение характеристик двух случайных процессов, представляющих собой шумы спорной и образцовой ЦФ, выделенные в паузах речевого сигнала. Но при таком подходе следует учесть, что потребуются сравнивать случайные процессы, выделяемые в каждой паузе, статистические характеристики которых сами являются оценочными значениями [1]. При малом количестве пауз (например, при малой длительности фонограммы), оценки характеристик сравниваемых процессов могут оказаться несостоятельными.

Цель статьи – рассмотрение особенностей проведения сравнительных исследований шумов, выделяемых из ЦФ в паузах речевых сигналов.

### Основная часть

В ряде работ показано, что шумы ЦФ содержат мультифрактальные структуры, образуемые за счет воздействия паразитных параметров АЦЗЗ на фиксируемые сигналы [3; 4]. Совокупность воздействий этих параметров носит случайный характер, что позволяет применить анализ таких структур для идентификации аппаратуры записи. А поскольку таких структур в любой паузе речевых сигналов содержится весьма много, то их анализ позволяет решить вопрос состоятельности оценок.

Выделение самоподобных (мультифрактальных) структур из ЦФ наиболее целесообразно производить методом максимумов вейвлет преобразования в паузах речевых сигналов [5]. Выделяемые фракталы предстают в виде сложных геометрических структур, как это показано на рис. 1.

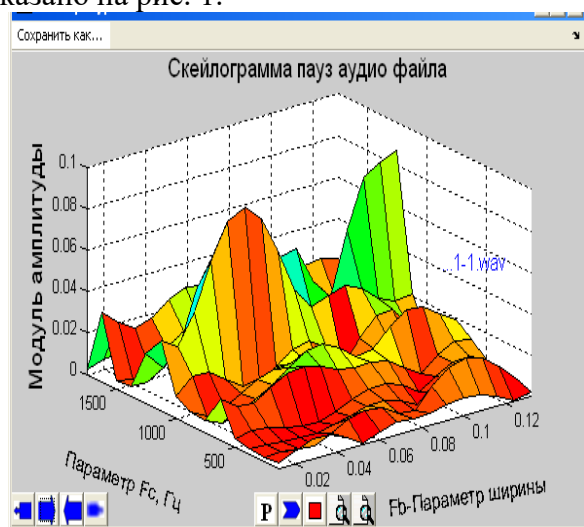


Рис. 1. Выделение самоподобных структур методом максимумов вейвлет преобразования

Теоретически и экспериментально доказано, что статистические характеристики мультифрактальных структур, выделенных из ЦФ, записанных на одной АЦЗЗ, несут строго индивидуальный характер, что связано со строгой индивидуальностью паразитных параметров аппаратуры записи [6–8]. Это позволяет применить статистический анализ выделенных во всех паузах мультифрактальных структур для идентификационных криминалистических исследований АЦЗЗ.

Известно, что полной характеристикой любого случайного процесса является его функция распределения [9]. Поэтому наиболее целесообразным с точки зрения достоверности получаемых результатов будет проверка принадлежности к одному распределению мультифрактальных структур, выделенных из шумов образцовой и спорной ЦФ. При этом именно самоподобие, ввиду большого количества подобных фрактальных структур разных уровней, гарантирует состоятельность получаемых оценок.

Для проверки принадлежности к одному распределению мультифрактальных структур, выделенных из двух различных ЦФ, необходимо выбрать подходящий критерий, соответствующий свойствам сравниваемых процессов. К ним, по нашему мнению, следует отнести:

- дискретность случайных величин, образующих сравниваемые процессы;
- большие объемы сравниваемых выборок;
- отсутствие априорных данных о законе распределений сравниваемых выборок.

Таким свойствам сравниваемых процессов более всего отвечает непараметрический критерий согласия Колмогорова-Смирнова, используемый для определения принадлежности двух эмпирических распределений к одному закону, либо определения принадлежности полученного распределения к определенной модели. Выбор этого критерия обусловлен его независимостью от законов распределения сравниваемых процессов и независимостью от порядка принятия

одного из распределений в качестве базового [9]. Соответственно, на основании полученных результатов сравнения принимается статистическая гипотеза  $H_0$ , о принадлежности полученных функций распределения к одному закону, чем и решается поставленная статистическая задача.

Действительно, если принять, что исходная функция распределения  $F(x)$ , с которой сравнивается эмпирическая функция  $F_n(x)$ , непрерывна, то статистика Колмогорова,

$$D_n = \sup_{-\infty < x < +\infty} |F_n(x) - F(x)|, \quad (1)$$

а в соответствии с теоремой Колмогорова

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \sqrt{n} \sup_{-\infty < x < +\infty} |F_n(x) - F(x)| < z \right\} = K(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2 z^2}, \quad z > 0, \quad (2)$$

где  $K(z)$  – табулированная функция критерия Колмогорова [9].

Тогда критическая область критерия при заданном уровне значимости определяется неравенством

$$\sqrt{n} D_n \geq d_\alpha, \quad (3)$$

где  $d_\alpha$  – квантиль предельного распределения Колмогорова,  $1 - K(d_\alpha) = \alpha$ .

При решении статистической задачи принадлежности двух разных выборок  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_m$  к одинаковой функции распределения  $F(x)$  используется статистика Смирнова, распределение которой не зависит от вида функции  $F(x)$ :

$$\sqrt{\frac{nm}{n+m}} D_{nm} = \sqrt{\frac{nm}{n+m}} \max_{-\infty < x < \infty} |F_n(x) - F_m(x)|, \quad (4)$$

где  $F_n(x)$  и  $F_m(x)$  – эмпирические функции распределения первой и второй выборок соответственно.

Критическая область критерия принадлежности к одинаковой функции распределения двух разных выборок (критерия однородности) определяется неравенством

$$\sqrt{\frac{nm}{n+m}} D_{nm} \geq d_\alpha, \quad (5)$$

где  $d_\alpha$  – квантиль распределения статистики Смирнова при малых значениях  $n$  и  $m$ , а при больших значениях  $n$  и  $m$   $d_\alpha$  – квантиль пре-

дельного распределения статистики Смирнова  $1 - K(d_\alpha) = \alpha$  [6].

Критерий Колмогорова-Смирнова был использован при создании программного обеспечения для идентификации АЦЗЗ “Фрактал”. Его применение обеспечило высокую степень достоверности получаемых результатов экспертизы [10].

Доказательством этого утверждения может служить тот факт, что при сравнении в программе “Фрактал” цифровой фонограммы с самой собой вероятность ошибки I рода равна нулю, что иллюстрируется рис. 2.

Такой результат обеспечен выбором критерия для проверки гипотезы принадлежности к одному распределению мультифрактальных структур, отвечающего свойствам этих структур и свойствам процессов, в которых содержатся эти структуры.

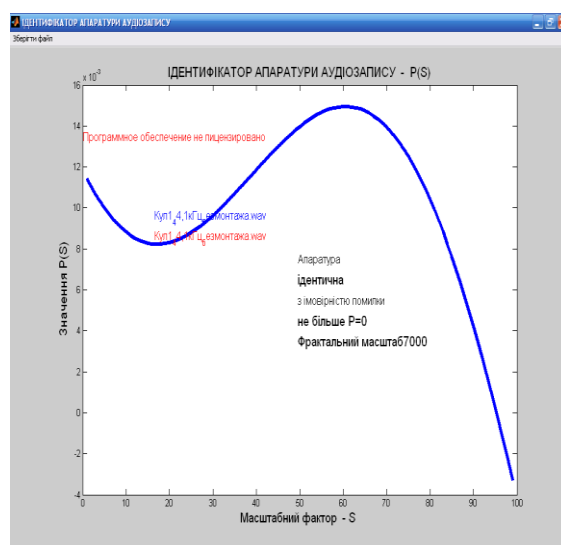


Рис. 2. Результат сравнения цифровой фонограммы с самой собой

### Выводы

Применение критерия Колмогорова-Смирнова для проверки гипотезы принадлежности к одному распределению мультифрактальных структур, выделенных методом максимумов вейвлет преобразования из шумов в паузах речевых сигналов двух цифровых фонограмм, обеспечивает высокую достоверность результатов сравнения.

### Список использованной литературы

1. Рыбальский О. В. Современные методы проверки аутентичности магнитных фонограмм в судебно-акустической экспертизе / О. В. Рыбальский, Ю. Ф. Жариков. – К. : Нац. акад. внутр. справ України, 2003. – 300 с.
2. Рибальський О. В. Застосування вейвлет-аналізу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм у судово-акустичній експертизі / О. В. Рибальський. – К. : Нац. акад. внутр. справ України, 2004. – 167 с.
3. Рыбальский О.В. Структурированность сигналограмм и универсальность фрактального подхода при создании инструментария фonoскопической экспертизы / О.В. Рыбальский, В. В. Журавель, В.И. Соловьев // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2013, Т. 3, № 3. – С. 225–232.
4. Рыбальский О.В. Следы монтажа в цифровых фонограммах, выполненного способом вырезания и перестановки фрагментов /О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев, В.В. Журавель // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2016. – Т. 21, № 1. – С. 32–41.
5. Рыбальский О. В. Обобщенная модель выделения фрактальных структур из цифровых сигналов методом максимумов вейвлет преобразования / О.В. Рыбальский, В. В. Журавель, В.И. Соловьев, В.К. Железняк // Вестник Полоцкого государственного университета. – Полцк. – Серия С. – № 1, 2016. – С.
6. Соловьев В. И. Идентификация аппаратуры аудиозаписи по статистическим характеристикам аудиофайлов / В.И. Соловьев // Реєстрація та обробка інформації. – 2013. – т. 14, № 1. – С. 59–70.
7. Рыбальский О.В. Модель проявления и выявления влияния немонотонности статической характеристики квантователя уровня в выходном сигнале системы аналого-цифроаналогового преобразования / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев // Информатика та математичні методи в моделюванні. – Одесса. – 2014, Т. 4, № 4. – С. 337 – 341.
8. Рыбальский О.В. Экспериментальная проверка проявления следов монтажа в цифровых фонограммах / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2015, Т. 5, № 1. – С. 38 – 43.
9. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Корольук, Н.

Н. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 640 с.

10. Рыбальский О. В. Разработка современного отечественного инструментария для проведения фonoскопической экспертизы / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев // Інформаційні технології та спеціальна безпека. – К. – 2015. – т. 1, № 1. – С. 61–71.

Получено редакцией 26.04.2016

### References

1. Rybalsky O.V., Zharikov J.F. Sovremennye metody proverki autentichnosti magnitnyh fonogramm v sudebno-acusticheskoy expertizhe [Modern methods of verification of authenticity of magnetic phonograms are in judicial-acoustic examination]. – (Kiev St.Unin. Publ.) *Nazionalna academia vnytrishnih sprav* (2003), 300 p. (In Russian).
2. Rybalsky O.V. Zastosuvannya wevlet-analizu dlya vyyavlenniya slidiv zufrovoy obrobki analogovyh i zyfrovyh fonogram u sudovo-acustechiy expertyzi [Application of wevlet analysis for the exposure of tracks of digital treatment of analog and digital phonograms in judicial-acoustic examination] (2004) – (Kiev St.Unin. Publ.) *Nazionalna academia vnytrishnih sprav Publ.* – 167 p. (In Ukrainian)
3. Rybalsky O.V., Zhuravel V.V., Solovyov V.I. Strukturirovanost signalogram i universalnost fractalnogo podhoda pri sozdanii instrumentaria fonoscopicheskoy expertyzi [Structured of phonograms and universality of fractal approach at creation of tool of phonograms examination] (Odessa Publ.) *Informatika ta matematychni metody v modeluvanni* (2013) Vol. 3/3, p.p. 225–232. (In Russian).
4. Rybalsky O.V., Solovyov V.I., Zhuravel V.V. Sledy montja v zyfrovyh fonogramah, vpolnennogo sposobom vyrezaniya i perestanovki fragmentov [Tracks of editing are in digital phonograms, excision and transposition of fragments executed by a method], (Kiev Publ.), *Reestrazia, zberigannia i obrobka danyh* (2016) Vol. 21/1, p.p. 32–41. (In Russian).

5. Rybalsky O.V., Zhuravel V.V., Solovyov V.I., Zheleznyak V.K. Obobschenaya model vydeleniya fractalnyh struktur iz zifrovyyh signalov metodom maximuma wevlet preobrazovaniya [Generalized model of selection of fractal structures from digital signals by the method of maximums of wevlet transformation] *Polozk Publ., Vesnik Polozkogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya C.* (2016) Vol. 1, p.p. 4–9. (In Russian).

6. Solovyov V.I. Identificaziya apparatury audiozapisi po statisticheskim kharakteristikam audiofalov [Authentication of apparatus of the audio recording on statistical descriptions of audiofiles] *Kiev Publ., Reestrazia, zberigannia i obrobka danyh* (2013) Vol. 14/1, p.p. 59–70. (In Russian).

7. Rybalsky O.V., Solovyov V.I. Model proyivleniya i vyivvleniya nemonotonnosti statisticheskoy kharakteristici kvantovatelya uronya v vykhadnom signale sistemy analogovo-zyfro-analogovogo preobrazovatelya [A model of display and exposure of influence of unmonotony of static description of quantum on a level of level is in the output signal of the system of analog-digital-analog transformation] *Odessa Publ. Informatika ta matematychni metody v modeluvanni* (2014) Vol. 4/4, p.p. 337–341. (In Russian).

8. Rybalsky O.V., Solovyov V.I. eksperementalnaya proverka proyavleniya sledov montaja v zifrovyyh fonogramah [Experimental verification of display of tracks of editing is in digital phonograms] *Odessa Publ. Informatika ta matematychni metody v modeluvanni* (2015) Vol. 5/1, p.p. 38–43. (In Russian).

9. Koroluk V.S. Spravochnik po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistice [Reference book on the theory of chances and mathematical statistics] (Moscow *Nauka Publ.*) 1985, 640 p. (In Russian).

10. Rybalsky O.V., Solovyov V.I. Razrabotka sovremennogo otchestvennogo instrumentariya dlya provedeniya fonoscopicheskoy expertizy [Development of modern home tool for realization of phonograms examination] *Kiev Publ. Informazini tehnologii ta spezialna bezpeka* (2015), Vol. 1/1 p.p. 61–71. (In Russian).

Рыбальский Олег Владимирович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий Национальной академии внутренних дел, г. Киев, пл. Соломенская, 1. м/т 050-287-87-63

e-mail: rybalky\_ol@mail.ru

Соловьев Виктор Иванович, кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедры компьютерных систем и сетей Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, г. Северодонецк, ул. Советская, 51. м/т 050-325-25-26

e-mail: mettilyd@mail.ru

Журавель Вадим Васильевич, заведующий лабораторией исследований в сфере информационных технологий Государственного научно-исследовательского экспертно-криминалистического центра МВД Украины, г. Киев, ул. Б. Окружная, 4а. м/т 099-909-25-71 e-mail: fonoscopia@ukr.net

Тимошенко Лидия Николаевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информатики математических методов защиты информации и информационных систем Одесского национального политехнического университета, г. Одесса, пр. Шевченко, 1 м/т 050-377-43-97

e-mail: Lmt0902@gmail.com