

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО СРЕДСТВА ЭКСПЕРТИЗЫ ЦИФРОВЫХ ФОНОГРАММ И АППАРАТУРЫ ЦИФРОВОЙ ЗВУКОЗАПИСИ «ФРАКТАЛ» ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗ АНАЛОГОВЫХ ФОНОГРАММ И АНАЛОГОВОЙ АППАРАТУРЫ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

О.В. Рыбальский¹, В.И. Соловьев², В.В. Журавель³

¹ Национальная академия внутренних дел,

пл. Соломянская, 1, Киев, 03056, Украина; e-mail: gov_1946@ukr.net

² Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля,
ул. Советская, 51, г. Северодонецк, 93400, Украина

³ Государственный научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр,
ул. Б. Окружная, 4а, м. Киев, 01601, Украина

Проведена проверка возможности использования программного комплекса «Фрактал» и методики ее применения, предназначенных для проведения диагностических экспертных исследований цифровых фонограмм и аппаратуры цифровой звукозаписи, для аналогичных исследований аналоговых фонограмм и аналоговой аппаратуры магнитной записи. Экспериментально показано, что эта программное средство и методика его применения могут использоваться для проведения таких экспертиз, при этом корректировка программы и методики не требуется.

Ключевые слова: аппаратура магнитной записи, аппаратура цифровой звукозаписи, аналоговая звукозапись, аналоговая фонограмма, цифровая звукозапись, цифровая фонограмма, экспертиза

Введение

В процессе разработки инструментального средства экспертизы (ИСЭ) «Фрактал», предназначенного для проведения экспертиз аутентичности цифровых фонограмм (ЦФ) и идентификации аппаратуры цифровой звукозаписи (АЦЗЗ) в первую очередь исследовался механизм слеодообразования, возникающий при цифровой обработке таких фонограмм. Естественно, что эти исследования проводились путем постепенного усложнения задач и моделей, связанных с монтажом ЦФ. По мере построения новых моделей появлялось более полное понимание процессов слеодообразования, происходящих при записи и монтаже ЦФ. Исследования этих процессов для ЦФ и АЦЗЗ в своей динамике отражены в ряде наших предыдущих работ, например, [1-2]. Затем был предложен фрактальный подход к построению ИСЭ (программных средств и методик), предназначенных для проведения экспертизы ЦФ и АЦЗЗ. Попутно возник вопрос пригодности фрактального подхода для построения ИСЭ для аналоговых фонограмм (АФ) и аналоговой аппаратуры магнитной записи (ААМЗ), поскольку старые ИСЭ, предназначенные для этих целей, уже морально и физически устарели. Поэтому в первую очередь была исследована теоретическая возможность

применения такого подхода к проявлению механизма образования следов цифровой обработки в АФ в виде различия самоподобных структур для обработанной и аутентичной АФ [3-4]. Однако вернуться к этим исследованиям пришлось уже после завершения разработки ИСЭ «Фрактал». При этом были определены цели и поставлены задачи экспериментальных исследований пригодности ИСЭ «Фрактал» [5] и проведены первые исследования. Осмысление их результатов является предметом данной статьи.

Основная часть

В работах [4-5] нами на предложенной модели было показано различие между сигналами, записанными на ААМЗ и сигналами, сначала записанными на АЦЗЗ, затем обработанными в цифровой форме и переписанными на ААМЗ. Это различие обусловлено влиянием различия истинных (а не номинальных) значений периодов дискретизации в аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователях (АЦП и ЦАП соответственно) АЦЗЗ и экспертного компьютера, т.к. сигнал на ААМЗ из АЦЗЗ может быть переписан (как и введен в компьютер) только в аналоговой форме через аналоговые вход и выход [1; 2]. В частности, во временной области обработанный сигнал представляется как

$$s_{14}(t) = \frac{\sum_{n_2=-\infty}^{\infty} \sum_{n_3=-\infty}^{\infty} \operatorname{rect}\left(\frac{t-n_2T_2}{T_2}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{n_2T_2-n_3T_3}{T_3}\right) A_{m13} \cos \omega_{11}(n_3T_3)}{2\pi d\Delta} \times \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d)\Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right], \quad (1)$$

где A_{m13} – максимальное значение шкалы преобразования АЦП экспертного компьютера,

T_2 – период дискретизации в ЦАП на аналоговом выходе АЦЗЗ,

T_3 – период дискретизации в экспертном компьютере, в который вводится АФ,

n_2 – номер отсчета (выборки) в ЦАП на аналоговом выходе АЦЗЗ,

n_3 – номер отсчета (выборки) в АЦП экспертного компьютера,

a_B – величина неконтакта между магнитной головкой и носителем при воспроизведении сигнала на ААМЗ,

d – толщина рабочего слоя магнитного носителя ААМЗ,

Δ – половина ширины рабочего зазора головки воспроизведения ААМЗ,

$x = Vt$, где V – скорость транспортирования носителя в ААМЗ, t – текущее время [4-5].

При этом в соотношении (1) учитывается влияние всех основных факторов, действующих на воспроизводимый сигнал в ААМЗ, в частности, влияние неконтакта и щелевой функции.

Сигнал, введенный в экспертный компьютер с аутентичной АФ, запишется как

$$s_3(t) = \frac{\sum_{n_3=-\infty}^{\infty} \operatorname{rect}\left(\frac{t-T_3n_3}{T_3}\right) A_{m3} \cos \omega(n_3T_3)}{2\pi d\Delta} \left[\operatorname{arctg} \frac{2a_B d}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} - \operatorname{arctg} \frac{2(a_B + d)\Delta}{a_B^2 + x^2 - \Delta^2} \right]. \quad (2)$$

Наличие повторяющихся в разных масштабах функций в соотношениях (1) и (2) говорит о том, что обе фонограммы содержат самоподобные структуры, возникающие как за счет влияния тракта воспроизведения ААМЗ, так и за счет оцифровки воспроизводимого сигнала.

Возможна еще одна схема обработки аутентичной АФ, при которой первичная запись производится на ААМЗ, запись вводится в компьютер с аналогового входа/выхода, обрабатывается и переписывается в аналоговой форме на ААМЗ. Однако при этом в обработанной фонограмме все равно остаются следы обработки, но уровень собственных шумов АФ значительно (не менее чем на 4 дБ) возрастает за счет повторной перезаписи на ААМЗ.

При проведении дальнейших исследований требовалось, во-первых, установить, действует ли закономерность наличия аномальной зоны в плотностях вероятностей меры близости фрактальных характеристик двух АФ, записанных на одной АЦЗЗ и введенных в одинаковых условиях в один и тот же экспертный компьютер [6]. Как, впрочем, и закономерность отсутствия такой зоны для двух разных (записанных на разной ААМЗ или обработанной и аутентичной) АФ.

Конечно, наличие такой зоны для двух аутентичных АФ, введенных в экспертный компьютер, сомнений не вызывает, поскольку сама операция их аналогового ввода есть не что иное, как процесс цифровой записи аналогового сигнала, и ничем не отличается от записи такого сигнала на АЦЗЗ. Правда, уровень собственных шумов АФ значительно выше, что может вызвать некоторые затруднения. Возможно, потребуется как уточнение доверительного интервала для принятия решения о выборе области близости или несоответствия фрактальных характеристик сравниваемых АФ при проверке аутентичности АФ и идентификации ААМЗ, так и уточнение максимального порогового значения величины ошибки I рода, задаваемого при выборе этих областей.

Исследования также требуют наличие закономерности отсутствия такой зоны для разных записей, поскольку эта зависимость, хотя и будет существовать, может быть замаскирована в собственных шумах АФ так, что ИСЭ «Фрактал» не сможет обеспечить выделения различия в самоподобных структурах.

Разумеется, что обеспечить эти исследования можно было только экспериментальным путем. Однако организация этих экспериментов столкнулась с рядом сложностей, связанных с «раритетностью» ААМЗ. Хорошо, что осталась большая экспертная база аналоговых записей, полученных при проведении экспертиз в предыдущие годы и сохранившаяся в экспертных компьютерах, что и позволило провести эксперименты с аналоговыми записями, сделанными на различных типах ААМЗ.

Ниже проиллюстрированы проведенные эксперименты. Рассмотрим записи, сделанные при экспертизе 2003 г., выполненные на ААМЗ марки Panasonic типа RQ-L319 зав. № BE7G858937. По экспертизе проходили фонограммы, записанные на 23 кассетах. Экспертиза проводилась с применением ИСЭ «Теорема-1», разработанного для проведения экспертиз ААМЗ одним из соавторов. При проведении экспертизы было установлено, что часть фонограмм, представленных на экспертизу (кассеты 6 и 15) содержат следы цифровой обработки и являются перезаписями, произведенными на ААМЗ, представленной на экспертизу. На ИСЭ «Фрактал» была проведена проверка результатов предыдущих экспертных исследований. Результаты этой проверки представлены на рис. 1-3, иллюстрирующих проведенные исследования.

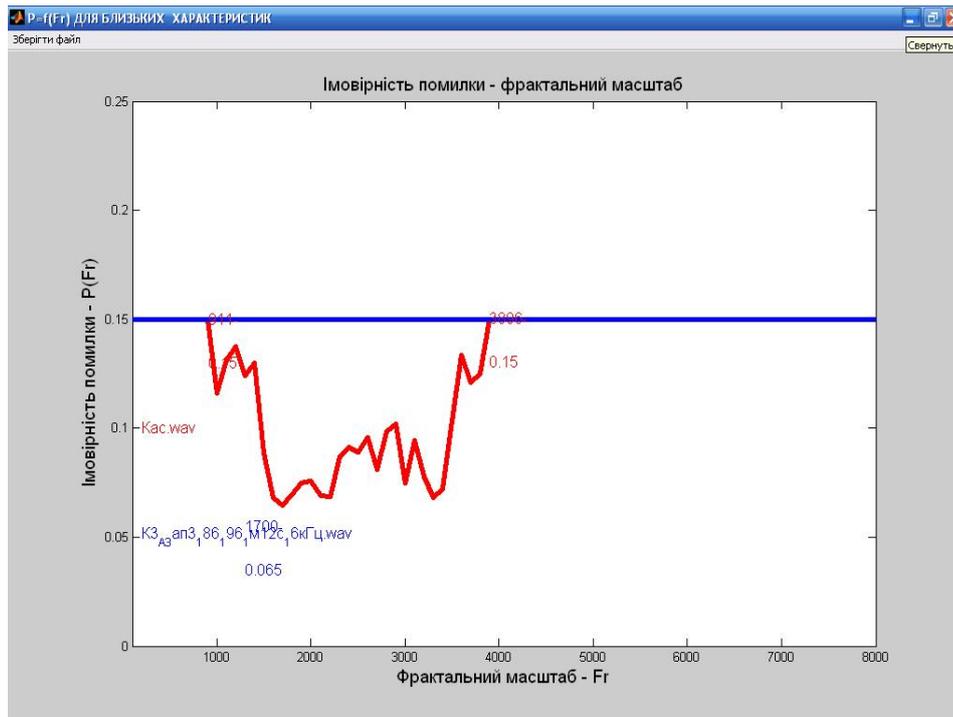


Рис. 3. Результати расчета величины фрактальных масштабов для области совпадения характеристик двух фонограмм, записанных на стороне А кассет № 2 и № 3 на ААМЗ Panasonic типа RQ-L319 при значении критериальной точки границы перехода – 911

Из рассмотрения положений крайней левой (критериальной) точки границ перехода, представленных на рис. 1-3 видно, что они укладываются в доверительный интервал для критериальных точек, определяемый как

$$l_{\beta} = [(a_{\min} - 0.2a_{\min}), (a_{\max} + 0.2a_{\max})],$$

где a_{\min} и a_{\max} – минимальное и максимальное значения критериальной точки [6].

Разумеется, что аналогичные результаты были получены и на АФ, записанных на других типах одной и той же ААМЗ. Всего были проверены записи, выполненные 6 экземплярах ААМЗ разных типов и марок.

Таким образом, из исследований, проведенных на этом этапе, мы сделали вывод, что ИСЭ «Фрактал» пригодно для идентификации ААМЗ и проверки оригинальности АФ в случае, если исследуемые фонограммы записаны на одной ААМЗ. При этом коррекция как доверительного интервала для принятия решения о выборе области близости или несоответствия фрактальных характеристик сравниваемых АФ при проверке аутентичности АФ и идентификации ААМЗ, так и уточнение максимального порогового значения величины ошибки I рода, задаваемого при выборе этих областей, не требуется.

Для принятия решения о пригодности ИСЭ «Фрактал» для идентификации ААМЗ и установления оригинальности АФ необходимо было проверить его способность к определению фонограмм, записанных на различной ААМЗ. Результаты этих экспериментов, проведенных путем сравнения записей, сделанных на одной и разной ААМЗ, иллюстрируются рис. 4. Показаны результаты вычисления фрактальных масштабов для области совпадения фрактальных характеристик для фонограммы № 3, записанной на стороне А кассеты № 3 на ААМЗ Panasonic типа RQ-L319 зав. № BE7G858937 и образцовой фонограммы, записанной на ААМЗ Marantz Model NO PMD 222 сер. № MZ03994810369 PCC REG NO. AKE9T2-14893-RC-N.

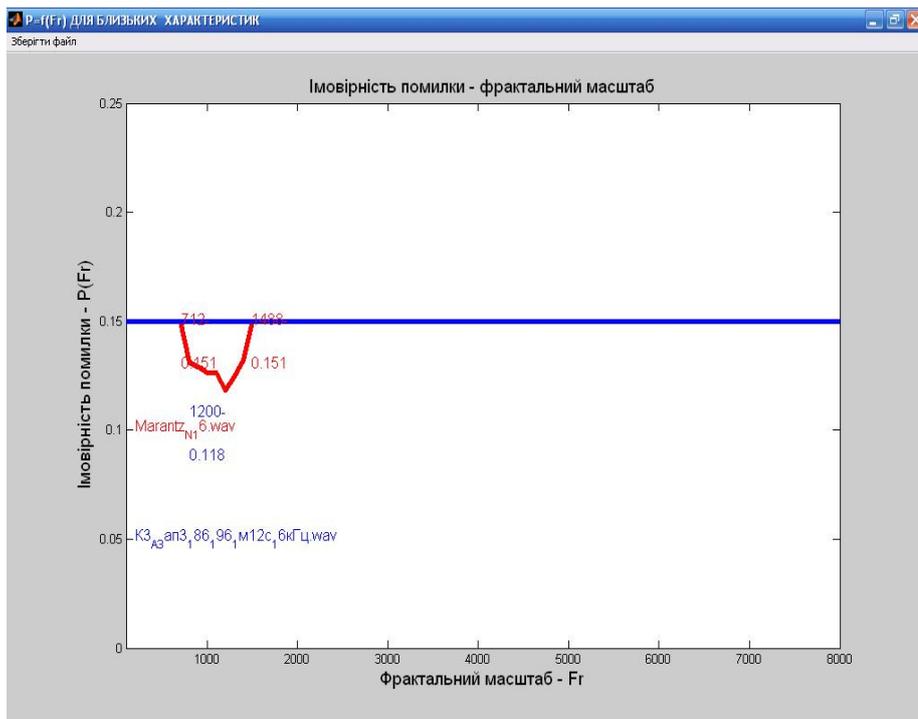


Рис. 4. Результаты расчета величины фрактальных масштабов для области совпадения характеристик фонограммы № 3, записанной на стороне А кассеты № 3 на ААМЗ Panasonic типа RQ-L319 и образцовой фонограммы, записанной на ААМЗ Marantz Model NO PMD 222 при значении критериальной точки границы перехода – 712

На рис. 4 видно, что значение критериальной точки составляет 712. Эта величина не укладывается в доверительный интервал, рассчитанный для фонограмм, записанных на ААМЗ Panasonic типа RQ-L319, т.к. минимальное значение критериальной точки для АФ, записанных на этом аппарате, составляет 729. Как и на предыдущем этапе, исследования были проведены на 6 экземплярах ААМЗ разных типов и марок.

На основании проведенных исследований нами был сделан вывод о том, что ИСЭ «Фрактал» пригодно для выявления факта записи фонограмм на разной ААМЗ. Как и на предыдущем этапе экспериментов, коррекция как доверительного интервала для принятия решения о выборе области близости или несоответствия фрактальных характеристик сравниваемых АФ при проверке аутентичности АФ и идентификации ААМЗ, так и уточнение максимального порогового значения величины ошибки I рода, задаваемого при выборе этих областей, не потребовалась.

Таким образом, на основании исследований, проведенных на представленных двух этапах экспериментов, можно сделать общий вывод о том, что ИСЭ «Фрактал» пригодно для идентификационных исследований ААМЗ и определения оригинальности АФ.

На следующем этапе экспериментов следовало определить возможность выявления с применением ИСЭ «Фрактал» следов цифровой обработки в АФ. Для этого были использованы записи, изготовленные на той же ААМЗ, что использовалась в предыдущих экспериментах, и записи, сделанные на АЦЗЗ трех типов, переписанные затем на используемой ранее ААМЗ. При этом были проведены два вида экспериментов:

- эксперимент по выявлению заранее известных по результатам экспертизы следов цифровой обработки в АФ;
- эксперимент по выявлению следов цифровой обработки в АФ, переписанных с ЦФ.

Результаты проведенных исследований проиллюстрированы на рис. 5-9. Отметим, что согласно актам проведенной в 2003 г. экспертизы, АФ, записанные на кассетах № 6 и № 15, подвергались цифровой обработке.

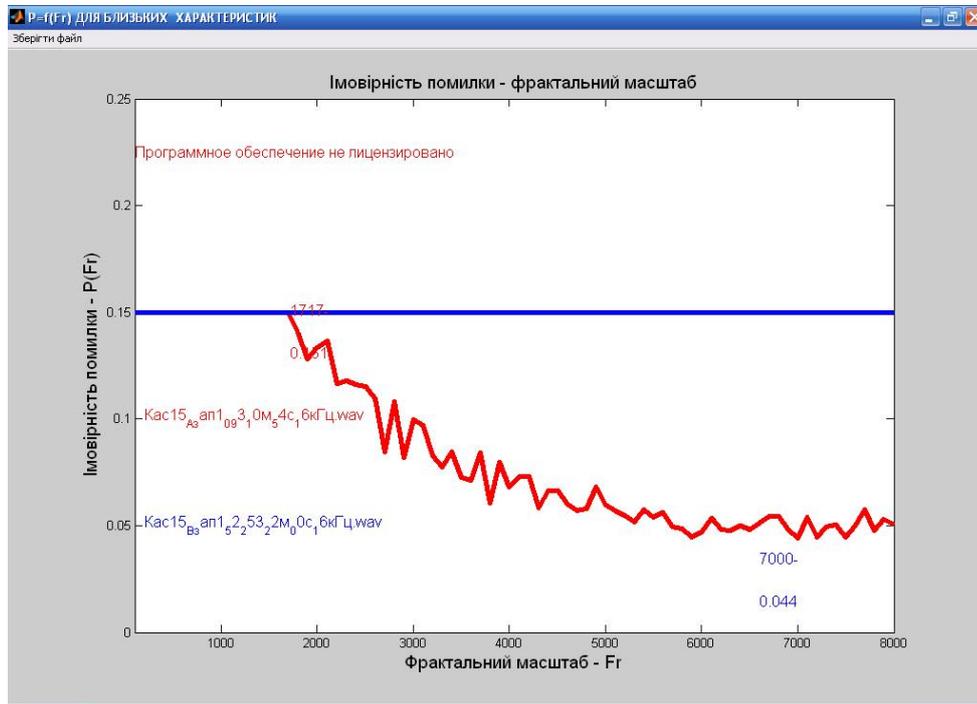


Рис. 5. Результаты расчета величины фрактальных масштабов для области совпадения характеристик двух фонограмм, записанных на сторонах А и В кассеты № 15 на ААМЗ Panasonic типа RQ-L319 при значении критериальной точки границы перехода – 1717

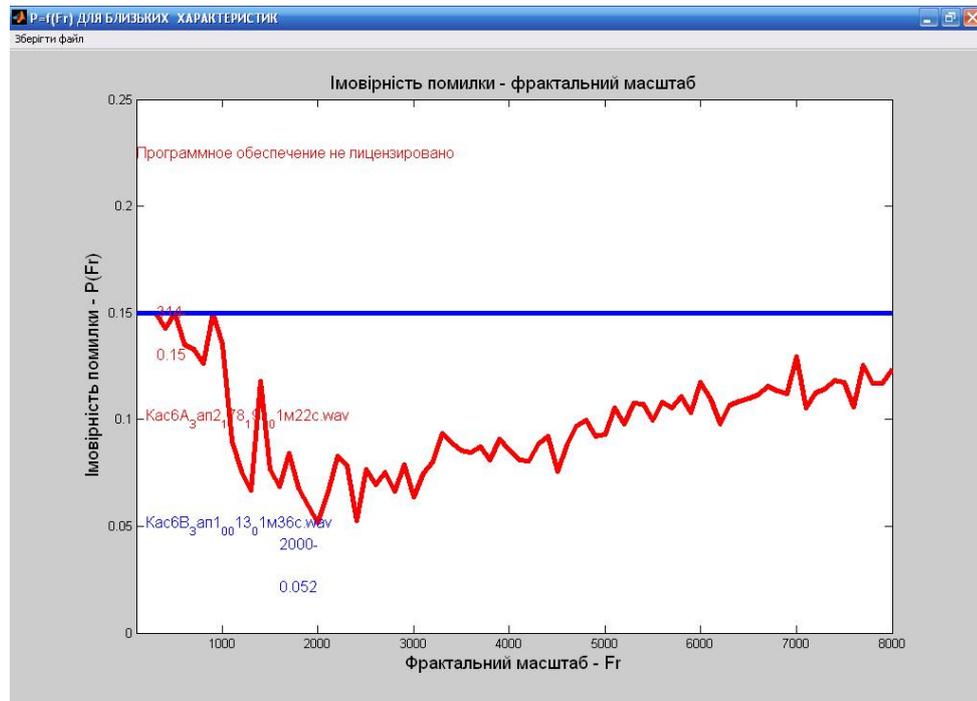


Рис. 6. Результаты расчета величины фрактальных масштабов для области совпадения характеристик двух фонограмм, записанных на сторонах А и В кассеты № 6 на ААМЗ Panasonic типа RQ-L319 при значении критериальной точки границы перехода – 314

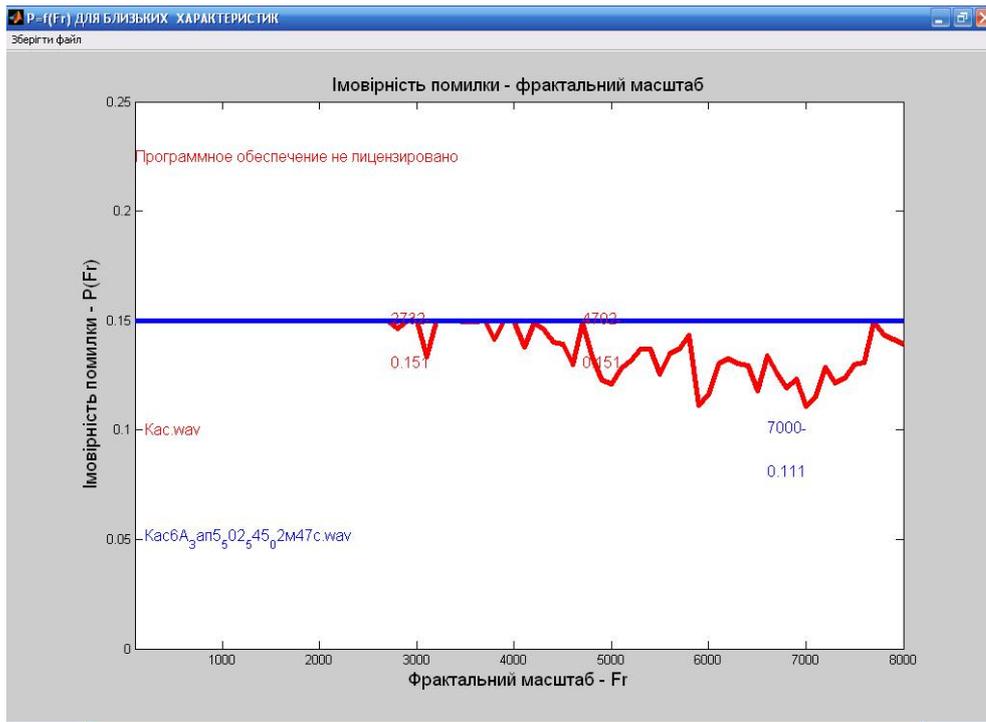


Рис. 7. Результаты расчета величины фрактальных масштабов для области совпадения характеристик двух фонограмм, записанных на стороне А кассеты № 2 и стороне А кассеты № 6 на ААМЗ Panasonic типа RQ-L319 при значении критериальной точки границы перехода – 2732

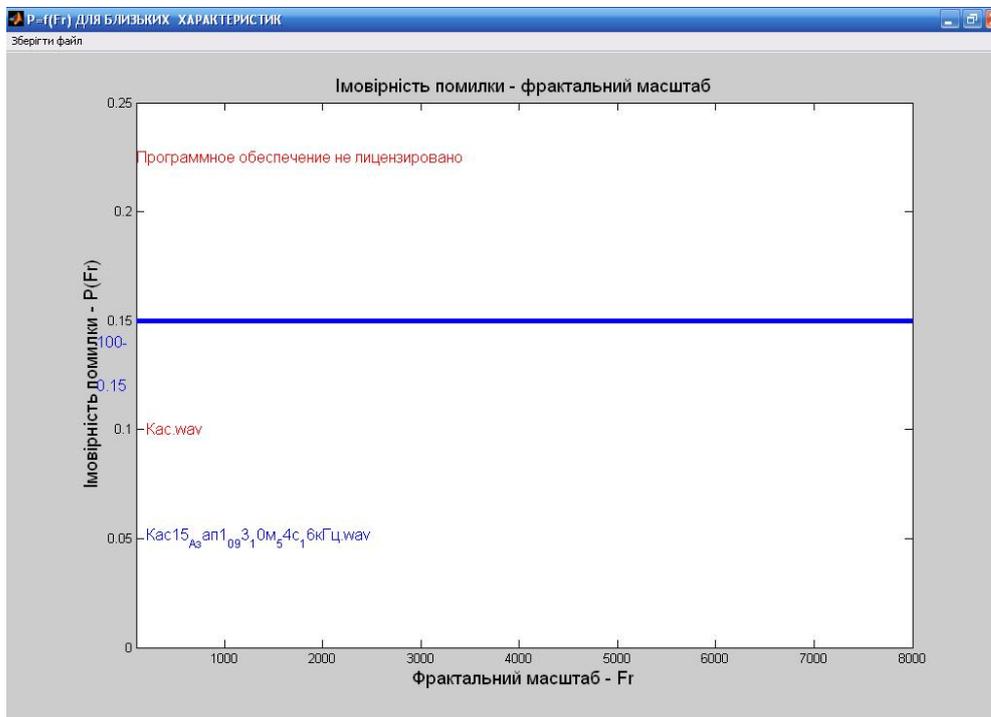


Рис. 8. Результаты расчета величины фрактальных масштабов для области совпадения характеристик двух фонограмм, записанных на стороне А кассеты № 2 и стороне А кассеты № 15 на ААМЗ Panasonic типа RQ-L319

Из графиков на рис. 5 и рис. 6 видно, что критериальные точки для записей, подвергнутых цифровой обработке, значительно отклоняются от допустимого предельного значения в доверительном интервале, определенном для АФ, записанных без такой обработки (см. рис. 1 и рис. 2).

Соответственно, и результаты сравнения фонограмм, записанных без цифровой обработки на, например, кассете № 2, и фонограмм со следами такой обработки, записанными на кассетах № 6 и № 15, показали явное отклонение критериальных точек (см. рис. 7 и рис. 8).

При этом на рис. 8 видно, что различие в записях, зафиксированных на АФ № 2 и № 15 вообще превышает предельную величину ошибки I рода, принятую на уровне 0.15.

Проведение этого этапа экспериментов показало, что коррекция как доверительного интервала для принятия решения о выборе области близкости или несоответствия фрактальных характеристик сравниваемых АФ при проверке аутентичности АФ и идентификации ААМЗ, так и уточнение максимального порогового значения величины ошибки I рода, задаваемого при выборе этих областей, не требуется.

Аналогичные результаты были получены и для перезаписей ЦФ, записанных на АЦЗЗ и переписанных на ААМЗ. Иллюстрация результатов этих экспериментов на примере перезаписи ЦФ, записанной на АЦЗЗ Fictonic зав. № 005, на ААМЗ Marantz Model NO PMD 222, приведена на рис. 9.

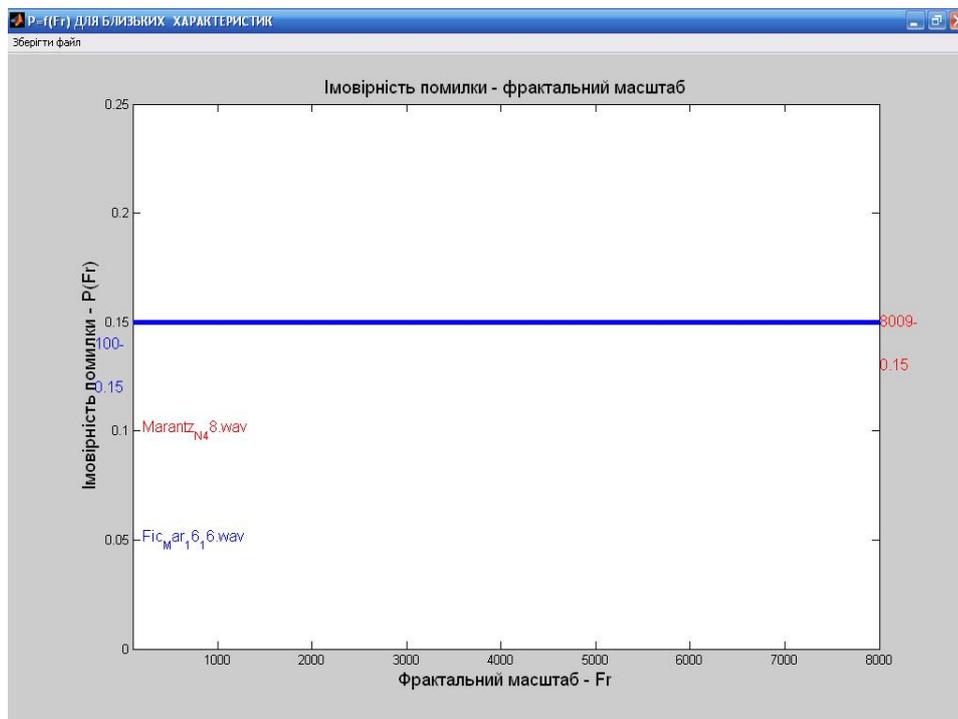


Рис. 9. Результаты расчета величины фрактальных масштабов для области совпадения характеристик фонограммы, записанной на ААМЗ Marantz Model NO PMD 222 и фонограммы, переписанной с аналогового выхода АЦЗЗ Fictonic на ААМЗ Marantz Model NO PMD 222

Эксперименты показали, что ИСЭ «Фрактал» пригодно для выявления следов перезаписи ЦФ на ААМЗ. При этом коррекция как доверительного интервала для принятия решения о выборе области близкости или несоответствия фрактальных характеристик сравниваемых АФ при проверке аутентичности АФ и идентификации

ААМЗ, так и уточнение максимального порогового значения величины ошибки I рода, задаваемого при выборе этих областей, не требуется.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлено, что специализированное программное средство «Фрактал» и методика его применения при проведении экспертизы, отвечают условиям выявления следов цифровой обработки в АФ.

Выводы

1. Экспериментально установлено, что ИСЭ «Фрактал», разработанное для проведения идентификационных экспертных исследований АЦЗЗ и диагностических экспертных исследований ЦФ, пригодно для проведения аналогичных экспертиз ААМЗ и ЦФ.

2. Экспериментально установлено, что коррекция методики применения программного средства «Фрактал» при проведении экспертизы ААМЗ и АФ по отношению к этой методике для АЦЗЗ и ЦФ, не требуется.

3. Специализированное программное средство «Фрактал» и методика его применения могут быть использованы для проведения экспертиз материалов и средств аналоговой звукозаписи.

Список 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. Проявление следов цифровой обработки в аналоговых сигналах / О.В. Рыбальский // Інформаційна безпека. – 2010. – № 1 (3). – С. 79-83.
4. Рыбальский, О.В. Модель выявления следов цифровой обработки аналоговых сигналов с применением мультимасштабного анализа / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев // Інформаційна безпека. – 2011. – № 1 (5). – С. 27-32.
5. Рыбальский, О.В. Фрактальный подход к выявлению следов цифровой обработки в аналоговых фонограммах / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев, В.В. Журавель // Сучасна спеціальна техніка. – 2017. – № 1. – С. 3-8.
6. Рыбальский, О.В. Методология построения системы экспертной проверки цифровых фонограмм и идентификации аппаратуры цифровой звукозаписи с применением программы «Фрактал» / О.В. Рыбальский, В.И. Соловьев, В.В. Журавель // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2016. – Т. 6, № 2. – С. 105-115.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАСОБУ ЕКСПЕРТИЗИ ЦИФРОВИХ ФОНОГРАМ І АПАРАТУРИ ЦИФРОВОГО ЗВУКОЗАПИСУ «ФРАКТАЛ» ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРТИЗ АНАЛОГОВИХ ФОНОГРАМ ТА АНАЛОГОВОЇ АПАРАТУРИ МАГНІТНОГО ЗАПИСУ

О.В. Рибальський¹, В.І. Соловйов², В.В. Журавель³

¹ Національна академія внутрішніх справ,
пл. Солом'янська, 1, Київ, 03056, Україна; e-mail: ro_v_1946@ukr.net

² Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
вул. Радянська, 51, 93400 м. Сєверодонецьк Україна

³ Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр,
вул. В. Окружна, 4 а, м. Київ, 01601, Україна

Проведена перевірка можливості використання програми «Фрактал» і методики її застосування, призначених для проведення діагностичних експертних досліджень цифрових фонограм і апаратури цифрового звукозапису, для аналогічних досліджень аналогових фонограм та аналогової апаратури магнітного запису. Експериментально показано, що ця програма і методика її застосування можуть використовуватися для проведення таких експертиз. При цьому коригування програми та методики не потрібно.

Ключові слова: апаратура магнітного запису, апаратура цифрового звукозапису, аналоговий звукозапис, аналогова фонограма, цифровий звукозапис, цифрова фонограма, експертиза

APPLICATION OF TOOL OF EXAMINATION OF DIGITAL PHONOGRAMS AND APPARATUS OF DIGITAL AUDIO RECORDING «FRACTAL» FOR REALIZATION OF EXAMINATIONS OF ANALOG PHONOGRAMS AND ANALOG APPARATUS OF MAGNETIC RECORD

O.V. Rybalskiy¹, V.I. Solovyov², V.V. Zhuravel³

¹ National Academy of Internal Affairs,
1, Solomenskaya Sq., Kiev, 03056, Ukraine; e-mail: ro_v_1946@ukr.net

² Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,
51, Radyanska str., 93400, Severodonetsk, Ukraine,

³ The State Research Expertly-Criminalistics Center of Ministries of Internal Affairs of Ukraine,
4a, Velyka Okruzhna str., Kyiv, 01601, Ukraine

Verification of possibility of the use of the program «Fractal» and methodology of her application is conducted, diagnostic expert researches of digital phonograms and apparatus of the digital audio recording intended for realization, for analogical researches of analog phonograms and analog apparatus of magnetic record. It is experimentally shown that this program and methodology of her application can be used for realization of such examinations. Adjustment of the program and methodology is not required thus.

Keywords: apparatus of magnetic record, apparatus of the digital audio recording, analog audio recording, analog phonogram, digital audio recording, digital phonogram, examination