
5

СУДОВА КОМП'ЮТЕРНО- ТЕХНІЧНА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА ЕКСПЕРТИЗА

УДК 621.317+681.849

О. В. Рибальський
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри

Національна академія внутрішніх справ

В. І. Соловійов
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри

*Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля,
Міністерства освіти та науки України*

В. В. Журавель
кандидат технічних наук,
завідувач лабораторії

*Київський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр
Міністерства внутрішніх справ України*

О. М. Шабля
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
головний судовий експерт

*Одеський науково-дослідний інститут судових експертиз
Міністерства юстиції України*

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ВІТЧИЗНЯНОЇ СИСТЕМИ ІНСТРУМЕНТАРІЯ ЕКСПЕРТИЗИ МАТЕРІАЛІВ ТА ЗАСОБІВ ЦИФРОВОГО ЗВУКОЗАПИСУ

У статті показано нові вітчизняні системи інструментарію проведення експертизи матеріалів і засобів цифрового звукозапису, розроблені авторами. Системи побудовані з використанням фрактального підходу до сигналів, записаних на фонограмах, і мають високі технічні характеристики. Частина систем вже впроваджена у практичну діяльність експертних підрозділів МВС України.

Ключові слова: цифровий звукозапис, експертиза, матеріали та засоби, система інструментарію.

Відомо, що при проведенні експертизи матеріалів та засобів звукозапису потрібно вирішити ряд ідентифікаційних та діагностичних завдань. До них відносяться ідентифікація диктора за фізичними параметрами сигналів усного мовлення, дослідження апаратури запису звукових сигналів та встановлення оригінальності та справжності фонограм, на яких записані ці сигнали, ідентифікація апаратури звукозапису та дослідження звукового середовища, в якому проводився запис фонограм.

Значною мірою успіх проведення таких експертиз залежить від інструментальних систем (методик та програмних продуктів та апаратно-програмних комплексів), які використовуються експертами (інструментарію).

З широким застосуванням у побуті та оперативно-розшуковій і слідчій діяльності цифрових методів звукозапису, з'явилася нагальна потреба розробки та впровадження в експертну практику нового експертного інструментарію, адекватного рівню розвитку та технічним особливостям цифрової техніки звукозапису, та додатного для вирішення ідентифікаційних і діагностичних завдань, пов'язаних зі встановленням автентичності цифрового звукозапису.

До необхідності створення такого інструментарію додається необхідність створення вітчизняного інструментарію проведення ідентифікаційних досліджень диктора за параметрами сигналів усного мовлення, оскільки на теперішній час експертні підрозділи України змушені користуватися іноземними програмами та якимось пристосованими методиками. Такий інструментарій не лише дуже коштовний, але й часто не відповідає рівню розвитку сучасної науки, наприклад, нейрофізіології, та вимогам експертизи.

Крім того, у зв'язку з дедалі частішими випадками неправдивих повідомлень щодо можливих терактів та необхідністю швидкого реагування та розслідування таких випадків, експертним підрозділам МВС України край потрібен інструментарій швидкого пошуку та

ранжування дикторів за фізичними параметрами сигналів усного мовлення, зафіксованими у голосовій базі великого обсягу в повідомленнях малої тривалості.

Метою цієї роботи є ознайомлення широкого кола експертів з тими набутками, що отримані колективом співавторів, та розглядом подальших можливостей розвитку створеного напрому розробки та впровадження нового вітчизняного експертного інструментарію експертизи матеріалів та засобів цифрового звукозапису.

Вирішення поставлених завдань вимагало розв'язання ряду теоретичних та практичних задач, пов'язаних, по-перше, з особливостями апаратури цифрового звукозапису (АЦЗЗ) і, по-друге, з сучасними дослідженнями в галузі нейрофізіології стосовно сприйняття людиною звукових образів, зокрема звуків мовлення. Значна частина цих задач нами була вирішена на протязі 15 останніх років. Розробка теоретичної бази почалася з розгляду конструктивних і технологічних особливостей АЦЗЗ, прояви впливу яких на сигнали, що записуються у фонограмах, відповідають теорії криміналістичної ідентифікації та можуть правити за ідентифікаційні ознаки. Було показано, що деякі паразитні параметри АЦЗЗ можуть бути використані для побудови потрібного інструментарію, та створено основи теорії виявлення слідів цифрової обробки фонограм, де було запропоновано використовувати вейвлет перетворення при розробці відповідного інструментарію [1–3]. Проведені первинні теоретичні дослідження надали змогу розпочати розробку практичних програм і методик ідентифікації АЦЗЗ та перевірки автентичності цифрових фонограм (ЦФ). У процесі їх розробки було розвинуто існуючі теоретичні положення та запропоновано фрактальний підхід до сигналів мовлення та власних шумів фонограм, зафіксованих на цифрових носіях [4–6]. На цій теоретичній основі було розроблено та впроваджено в експертну практику ДНДЕКЦ методику та програму «Фрактал», призначену для ідентифікаційних досліджень АЦЗЗ та діагностичних досліджень ЦФ [7].

Програма побудована на порівнянні самоподібних структур, що виділяються зі власних шумів ЦФ, та використанні виявленої у процесі досліджень закономірності відмінності у густині ймовірності міри близькості самоподібних структур, записаних на різній апаратурі запису. Приклади такої відмінності показано на рис. 1 та рис. 2.

Як видно з порівняння рис. 1 і рис. 2 при запису фонограм на різній апаратурі у густині ймовірності міри близькості відсутня характерна ділянка, присутня при запису порівнюваних фонограм на одній апаратурі.

Численні експериментальні дослідження статистичних характеристик пауз різних ЦФ при записі в різних умовах звукового середовища показали стійку особливість густини ймовірності $P(Z)$ величини міри близькості Z [8].

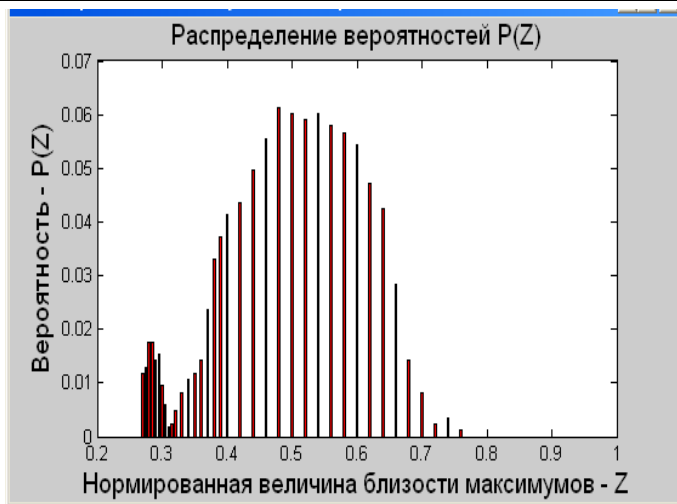


Рис. 1. Густина ймовірності міри близькості Z для двох фонограм, записаних на одній АЦЗЗ

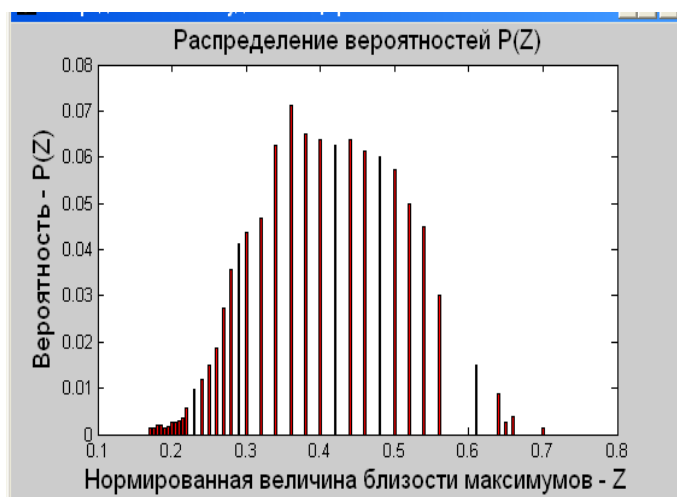


Рис. 2. Густина ймовірності міри близькості Z для двох фонограм, записаних на різній АЦЗЗ

Отримані закономірності забезпечили побудову програми «Фрактал». При цьому були використані нові рішення як при побудові апаратно-програмного комплексу, так і при створенні методики

проведення експертизи. Зокрема, при розробці комплексу були створені і застосовані нові методи сегментації фонограм і виділення пауз та оригінальні методи виділення й статистичної обробки самоподібних структур [9; 10]. Був запропонований метод автоматичного розрахунку величини фрактальних масштабів [11]. При відпрацюванні методики та програми була встановлена, поперше, залежність результату експертних досліджень від величини фрактального масштабу самоподібних структур, що обумовлено наявністю окремої області цих масштабів у густині ймовірності міри близькості таких структур двох ЦФ, при яких проявляються індивідуальні особливості АЦЗЗ (див. рис. 1 і рис. 2). По-друге, виявлена необхідність встановлення області фрактальних масштабів, відповідній аномальній зоні у густині ймовірності міри близькості для кожної конкретної АЦЗЗ, на якій були записані досліджувані ЦФ. І, по-третє, встановлення такого значення фрактального масштабу у встановленій області, при якому помилка І роду має найменше значення.

Рішення цих завдань було досягнуто за рахунок вказаних вище технічних рішень і розробки та застосування оригінальної методики експертизи. Зокрема, було встановлено, що при порівнянні двох ЦФ завжди існують дві області фрактальних масштабів: область близькості (збігу) характеристик двох ЦФ і область неспівпадіння (відмінності) характеристик двох ЦФ. Між ними існує чітка межа. Це пояснюється тим, що як у разі близькості характеристик ЦФ, так і у разі їх неспівпадіння обов'язково існує область фрактальних масштабів, де проявляються індивідуальність характеристик апаратури, на якій вони записані [9; 10; 12; 13]. І саме в цій області лежить правильне рішення. Таким чином, експертові при прийнятті рішення слід вибрати правильну область: або близькості, або неспівпадіння фрактальних характеристик. Правильність цього вибору забезпечує розроблена методика, що визначає ряд критеріальних точок на зразкових (експериментальних) фонограмах і довірчий інтервал, яким накривається, або не накривається критеріальна точка досліджуваної (спірною) фонограми.

При цьому довірчий інтервал, що розраховується по формулі

$$[(a_{\min} - 0,2a_{\min}) \leq I_{\beta} \leq (a_{\max} + 0,2a_{\max})] \quad (1)$$

де

I_{β} – довірчий інтервал,

β – ймовірність того, що накриття довірчим інтервалом критеріальної точки, отриманої при порівнянні зразкової та спірної ЦФ, відповідає гіпотезі близькості їх фрактальних характеристик,

a_{\min} – мінімальна величина значення критеріальної точки,

a_{\max} – максимальна величина значення критеріальної точки.

Цим повністю виключається суб'єктивність прийняття рішення експертом [14].

Результати експертних досліджень представляються у вигляді ілюстрацій окремих етапів їх проведення, як це показано на рис. 3 і рис. 4.

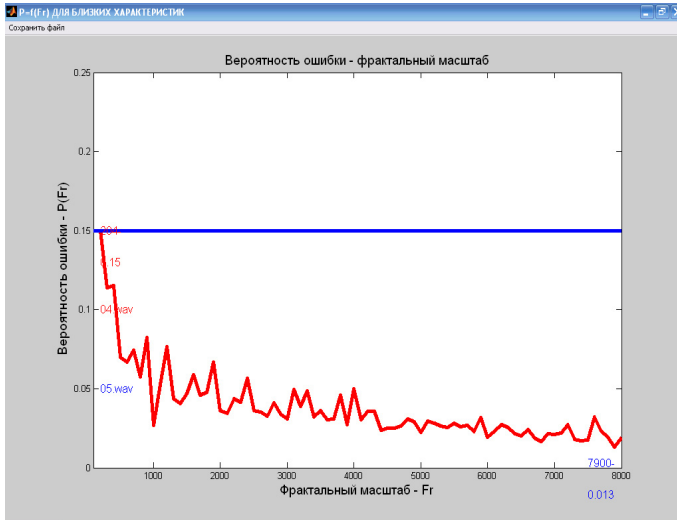


Рис. 3. Результат розрахунку характеристик фрактальних масштабів для області близьких характеристик фонограм 04 і 05, записаних на одній АЦЗ3

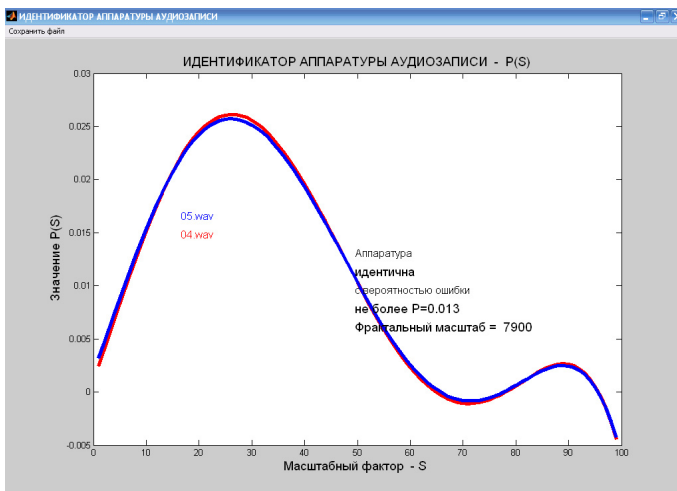


Рис. 4. Густина ймовірності міри близькості самоподібних структур для фонограм № 2 і № 6, записаних на одній АЦЗ3

На жаль, обмеженість обсягу матеріалу, що можна надати у статі, не дозволяє нам детальніше розписати усі особливості розробленої системи. Експериментально при порівнянні 363 пар фонограм було визначено, що ймовірність β прийняття адекватного рішення при прийнятій величині довірчого інтервалу в 20 % складає 0,994 [14]. При цьому математичне сподівання величини помилки I роду для двох порівнюваних фонограм дорівнює 0,0249 при СКВ, що становить 0,0225 [14].

На основі інструментарію «Фрактал» були проведені дослідження потенційної придатності фрактального підходу до виявлення слідів монтажу у ЦФ, виконаного шляхом вирізування та перестановки фрагментів у фонограмі, які показали відмінність фрактального складу обробленої таким чином та необробленої фонограм [15]. Це спонукало нас розпочати дослідження, спрямовані на створення програми для виявлення точок цифрового монтажу у ЦФ. Зараз ведуться дослідження у цьому напрямі, але реалізація робочого інструментарію вимагає часу.

Зацікавленість питаннями створення системи ідентифікації диктора за параметрами сигналів усного мовлення у нашому колективі з'явилася у зв'язку з необхідності розробки системи прискореного пошуку дикторів у голосовій базі даних великого обсягу. При цьому головною вимогою була можливість ранжування дикторів за повідомленнями малої тривалості. Вивчення вітчизняних та зарубіжних джерел наочно показало, що на основі існуючих напрямів побудови таких систем вирішення поставленого завдання неможливо [16]. Це змусило нас шукати нові теоретичні та методологічні підходи до його вирішення, починаючи з розгляду сучасних нейрофізіологічних уявлень процесів утворення та сприйняття людиною мовленнєвих сигналів. Це привело нас до побудови системи ранжування дикторів та системи їх ідентифікації на основі застосування фрактального підходу до мовленнєвих сигналів.

В результаті проведених теоретичних досліджень і практичних розробок нині створена система «АВАТАР», призначена для прискореного пошуку фігурантів у голосовій базі даних великого обсягу. Вона дозволяє ранжувати дикторів по голосових повідомленнях, зафіксованих в такій базі, що, у свою чергу, прискорює розшук осіб, які роблять неправдиві повідомлення, наприклад, про мінування важливих громадських установ [17; 18]. Система побудована з використанням ряду нових фізичних і математичних підходів, наприклад, застосування елементів фонемичної машини. Це дозволило скоротити час повідомлення, придатного для ефективного ранжирування дикторів. Її випробування показали високі якісні характеристики системи: мінімальна достатня тривалість запису голосу диктора, необхідна для ранжирування, складає 5 секунд при точці перетину кривих помилок I і II роду близько 8,5 % (див. рис. 5).

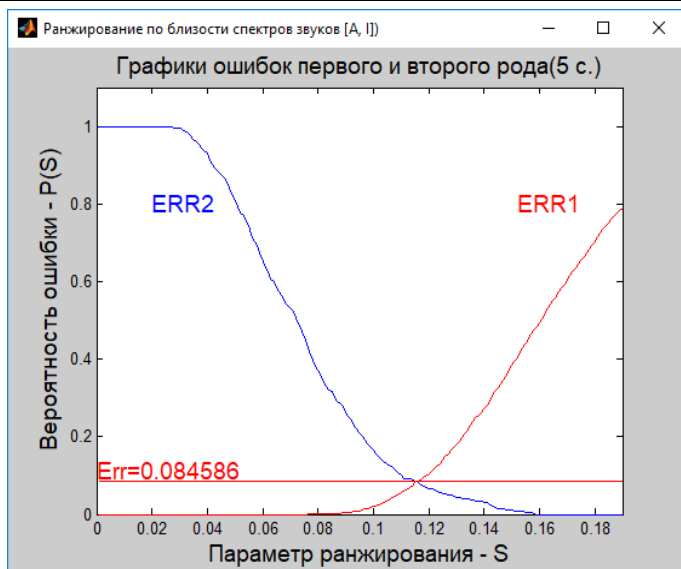


Рис. 5. Криві помилок I і II роду при ранжируванні дикторів з тривалістю мовного повідомлення від 2 до 5 сек

Слід додати, що, так би мовити, «побічним продуктом» цієї розробки стала підсистема автоматичного розділення дикторів за голосами, що здатна значно полегшити роботу експертів при прослуховуванні та розшифруванні фонограм.

Крім того, ці методи покладені в основу створеною і зараз випробовуваної системи криміналістичної ідентифікації диктора за фізичними параметрами сигналів усного мовлення. Відмітимо, що аналогічні системи, розроблені в інших країнах, забезпечують ідентифікацію диктора за голосом при тривалості фонограми, як правило, більше 1 хвилини з точкою перетину кривих помилок I і II роду на рівні 6 % [16]. У розробленій нами системі збільшення тривалості запису голосу диктора, що ідентифікується, з 5 сек до діапазону 13 – 30 сек знижує положення точки перетину кривих помилок I і II роду до рівня 6 %. Дані щодо кривих помилок I і II роду отримані при випробуваннях на голосових базах даних для двох мов (російська й українська) обсягом у 500 фонограм. Але подальше впровадження системи, на нашу думку, потребує об'єднаних зусиль всіх зацікавлених установ та відомств, що забезпечить якісну перевірку можливостей системи, що розробляється.

У процесі розробки цієї тематики колективом авторів опубліковано більше 200 наукових робіт (в тому числі 3 монографії),

отримані патенти на винаходи та авторські свідоцтва України, захищена 1 докторська та 2 кандидатські дисертації.

Таким чином, за 15 років неформальним колективом авторів, що утворився та працює за власною ініціативою, були отримані наступні результати:

1. Розроблено теоретичні засади, які визначили напрями побудови нових вітчизняних інструментальних систем проведення експертизи матеріалів та засобів цифрового звукозапису;

2. Розроблена та впроваджена в експертну практику інструментальна система «Фрактал», призначена для ідентифікаційних досліджень АЦЗЗ та діагностичних досліджень ЦФ;

3. Розроблена та впроваджена у практичну діяльність МВС України інструментальна система прискореного пошуку та ранжування дикторів за голосовими повідомленнями малої тривалості у голосовій базі великого обсягу;

4. Розроблена та проходить випробування інструментальна система ідентифікації диктора за параметрами сигналів усного мовлення;

5. Визначено напрями розробки інструментальної системи виявлення точок монтажу у ЦФ, здатної виявляти монтаж, виконаний способом вирізання та перестановки фрагментів;

6. У процесі розробки інструментальних систем розроблено ряд допоміжних підсистем, які значно полегшують роботу експертів, зокрема:

- підсистему автоматичної сегментації фонограм;
- підсистему автоматичного розділення фрагментів фонограми за голосами дикторів.

Перелік посилань

1. *Рыбальский О. В., Жариков Ю. Ф.* Современные методы проверки аутентичности магнитных фонограмм в судебно-акустической экспертизе. Київ, 2003. 300 с.

2. *Рибальський О. В.* Застосування вейвлет-аналізу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм у судово-акустичній експертизі Київ, 2004. 167 с.

3. *Рыбальский О. В.* Основные положения теории выявления следов цифровой обработки фонограмм и особенности ее программной и методической реализации в экспертизе материалов и средств видеозвукозаписи // *Захист інформації*. Київ, 2006. Ч. 1, № 1. С. 71–76.

4. *Рыбальский О. В.* К вопросу о фрактальности аналоговых сигналов, подвергнутых цифровой обработке // *Вісник Східноукраїнського національного університету ім В. Даля*. 2006. № 9, ч. 1. С. 21–25.

5. *Рыбальский О. В., Соловьев В. И.* Система идентификации аппаратуры аудиозаписи на основе мультифрактального подхода //

Вісник Східноукраїнського нац. унів. ім. В.Далія. 2010. № 9 (151), ч.1. С. 58–63.

6. Соловьев В. И. Идентификация аппаратуры аудиозаписи по статистическим характеристикам аудиофайлов // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2013. т. 14, № 1. С. 59–70.

7. А. с. на твір № 75496. Рибальський О. В., Соловійов 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». заявка № 76247 від 25.10. 2017.

8. Соловьев В. И. Идентификация аппаратуры аудиозаписи по статистическим характеристикам аудиофайлов // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2013. Т. 14, № 1. С. 59–70.

9. Рыбальский О. В., Журавель В. В., Соловьев В. И., Железняк В. К. Обобщенная модель выделения фрактальных структур из цифровых сигналов методом максимумов вейвлет преобразования // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. 2016. № 4. С. 13–16.

10. Журавель В. В. Принципы, использованные при проектировании программного обеспечения проверки целостности информации в цифровых фонограммах // Сучасна спеціальна техніка. 2016. № 2 (45). С. 39–43.

11. Rybalsky O. V. , Silivov V. I., Zhuraval V. V., Shablia A. N., Tatarnikiva O. A. Automatic calculation of the coefficients of fractal scale in the program «Fractal» // Сучасна спеціальна техніка. 2014. № 4 (39). С. 5–11.

12. Рибальський О. В., Соловійов В. І., Журавель В. В. Методология построения системы экспертной проверки цифровых фонограмм и идентификации аппаратуры цифровой звукозаписи с применением программы «Фрактал» // Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2016. Т. 6. № 2. С. 105–115.

13. Рибальський О. В., Соловійов В. І., Журавель В. В., Тимошенко Л. Н. Статистическая обработка самоподобных структур, выделенных из шумов фонограмм, при определении идентичности аппаратуры цифровой звукозаписи // Электротехнические и компьютерные системы. 2016. № 22 (98). С. 413–417.

14. Рибальський О. В., Журавель В. В., Соловійов В. І. Визначення ефективності інструментарію експертизи матеріалів і засобів цифрового звукозапису «Фрактал» // Актуальні питання експертно-криміналістичного забезпечення правоохоронної діяльності: зб. матер. наук.-практ. конф. Київ. С. 251–253.

15. Рибальський О. В., Соловійов В. І., Журавель В. В. Эффект изменения фрактального состава сигналов при монтаже цифровой фонограммы // Информационные системы и технологии «ИСТ-2016»: сб. научн. тр. 5-я Междунар. науч.-техн. конф., 12 – 17 сентября 2016. Харьков-Коблево. С. 144–145.

16. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.nist.gov/itl/iad/mig/speaker-recognition-evaluation-2016>.

17. Соловьев В. И., Рыбальский О. В., Шабля А. Н., Журавель В. В. Система автоматизированного поиска голосов // Информатика та математичні методи в моделюванні. 2015. т. 5, № 4. С. 302–307.

18. Рибальський О. В., Журавель В. В., Соловйов В. І. Методика верифікації особи за фізичними параметрами мовленнєвих сигналів повідомлень, що містяться у голосовій базі даних, з використанням системи автоматичного пошуку «АВАТАР». Київ, 2018. 44 с.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ МАТЕРИАЛОВ И СРЕДСТВ ЦИФРОВОЙ ЗВУКОЗАПИСИ

**О. В. Рыбальский
В. И. Соловьев
В. В. Журавель
А. Н. Шабля**

В статье показаны результаты совместной работы неформального коллектива авторов за последние 15 лет по созданию новых систем инструментария для экспертизы материалов и средств цифровой звукозаписи.

Показано, что применение фрактального подхода к представлению сигналов речи и собственных шумов фонограмм обеспечило получение высоких технических и эксплуатационных характеристик разработанных систем.

В процессе проведенных исследований и разработок, выполненных авторами, были получены следующие результаты:

1. Разработаны теоретические принципы, определившие направления построения новых отечественных инструментальных систем проведения экспертизы материалов и средств цифровой звукозаписи;

2. Разработана и внедренная в экспертную практику инструментальная система «Фрактал», предназначенная для идентификационных исследований аппаратуры цифровой звукозаписи и диагностических исследований цифровых фонограмм;

3. Разработана и внедрена в практическую деятельность МВД Украины инструментальная система ускоренного поиска и ранжирования дикторов по голосовым сообщениям малой длительности в голосовой базе большого объема;

4. Разработана и проходит испытание инструментальная система идентификации дикторов за параметрами сигналов устной речи;

5. Определено направление разработки инструментальной для системы выявления точек монтажа в цифровых фонограммах, способной выявлять монтаж, выполненный способом вырезания и перестановки фрагментов;

6. В процессе разработки инструментальных систем разработан ряд вспомогательных подсистем, которые значительно облегчают работу экспертов, в частности:

- подсистему автоматической сегментации фонограмм;
- подсистему автоматического разделения фрагментов фонограммы по голосам дикторов.

SOME ASPECTS OF THE CONSTRUCTION OF A DOMESTIC SYSTEM OF INSTRUMENTATION EXPERTISE OF MATERIALS AND DIGITAL SOUND RECORDING

**O. Rybalskyi
V. Soloviov
V. Zhuravel
A. Shablia**

The article shows the results of the joint work of the informal team of authors over the past 15 years regarding the creation of new instrumentation systems for examination of materials and means of digital sound recording.

It is shown that the use of the fractal approach to the representation of speech signals and the phonogram noises provided the high technical and operational characteristics of the developed systems.

In the course of the research and development carried out by the authors, the following results were obtained:

1. Theoretical principles have been developed that determined the directions of construction of new domestic instrumental systems for the examination of materials and means of digital sound recording;

2. The instrumental system «Fractal», designed for identification studies of digital sound recording equipment and diagnostic studies of digital phonograms, was also developed in the expert practice;

3. The instrumental system of accelerated search and ranking of speakers for voice messages of small duration in a large voice database was developed and introduced into the practical activity of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine;

4. A tool system for the identification of speakers for the parameters of the signals of oral speech was developed and is being tested;

5. The direction of development of instrumental for the system of identification of mounting points in digital phonograms is determined, capable of detecting installation performed by the method of cutting and rearranging fragments;

6. In the development of tool systems, a number of auxiliary subsystems have been developed that greatly facilitate the work of experts, in particular:

- subsystem of automatic segmentation of phonograms;
- subsystem of automatic division of fragments of phonogram on voices of announcers.