

УДК 681.3

О. В. Рыбальский

Национальная академия внутренних дел Украины

К экспериментальной проверке достоверности положений теории выявления следов цифровой обработки фонограмм

Рассмотрены методики и схемы проведения экспериментальной проверки положений теории выявления следов цифровой обработки фонограмм.

Ключевые слова: цифровая обработка, аналоговая фонограмма, цифровая фонограмма

Введение

В связи с угрозой предоставления в правоохранительные органы в качестве доказательств фонограмм, обработанных с использованием цифровых технологий, в Национальной академии внутренних дел Украины (НАВДУ) при содействии сотрудников факультета электроники Национального технического университета Украины «КПИ» были разработаны положения теории выявления следов такой обработки [1–9], а на этой основе созданы методы и средства проведения экспертизы [10–13] и проведена их экспериментальная проверка [14, 15].

В процессе теоретических исследований были установлены способы проведения такой обработки. Выявлено, что фонограммы могут быть обработаны либо способом компиляции фрагментов в ПЭВМ с помощью звуковых редакторов, либо способом синтеза необходимого текста по заданным образцам голосов фигурантов создаваемой фонограммы. При этом дополнительно могут использоваться специфические приемы обработки сигналов [6, 7]. Однако, при использовании любой из этих технологий, предварительно необходимо ввести в ПЭВМ фонограммы с образцами речи фигурантов. Такие первичные фонограммы могут быть записаны на цифровой аппаратуре записи аналоговых сигналов (ЦАЗАС) и введены в машину в цифровой или аналоговой форме (в зависимости от типа используемой аппаратуры записи) [1]. Таким же образом они могут быть выведены из компьютера при перезаписи обработанной фонограммы на ЦАЗАС. Возможен еще вариант перезаписи обработанной фонограммы по акустическому каналу [9]. Кроме того, в процессе создания обработанной фонограммы всегда используется операция стробирования и вырезания фрагментов, поскольку, даже при использовании способа синтеза, обработанная фонограмма должна содержать диалог

© О. В. Рыбальский

как минимум двух лиц [6–8]. Применение всех этих операций при обработке фонограмм приводит к неизбежному образованию ее следов в виде искажений формы обрабатываемых сигналов и, как следствие, искажениям их спектрального состава [1–9].

При теоретической проработке проблемы был использован метод декомпозиции процесса обработки фонограмм и на аналитических моделях подтверждены выдвинутые факты, тезисы, гипотезы и концепция обработки фонограмм, а также установлена закономерность, свойственная проявлению следов цифровой обработки в фонограммах [3, 5]. Также была установлена принципиальная пригодность вейвлет-анализа (и непригодность классического время-частотного анализа, построенного на кратковременном преобразовании Фурье) для проведения такой экспертизы и показано, что наиболее пригодными для выявления следов цифровой обработки являются комплексные вейвлеты, в частности, вейвлет Морле, сконструированный из гауссиана [2, 5, 15]. На этой базе были разработаны методы и средства выявления следов цифровой обработки аналоговых и цифровых фонограмм (АФ и ЦФ соответственно) [10–13]. Этим средством стала специализированная программа Academy, входящая в аппаратно-программный комплекс «Теорема-1», и предназначенная для выявления следов цифровой обработки в АФ и ЦФ.

Затем следовало экспериментально проверить достоверность теоретических положений и способность созданных методов и средств выявлять следы цифровой обработки АФ и ЦФ. При этом требовалось охватить все способы обработки фонограмм и экспериментально подтвердить действенность разработанной теории, методов и аппаратуры контроля их аутентичности.

Предметом статьи является рассмотрение целей, задач, методик и схем проведения экспериментов, подтвердивших правильность разработанной теории и работоспособность созданных экспертных методов и средств выявления следов цифровой обработки фонограмм. Основные результаты экспериментов опубликованы в работах [14, 15].

Основная часть

Целями проведенных экспериментов являлись:

- 1) проверка достоверности теоретических положений, выведенных в теоретических работах;
- 2) проверка достаточности разрешающей способности специализированного программного обеспечения выявления следов цифровой обработки фонограмм [10, 11], созданного в соответствии с разработанной теорией;
- 3) экспериментальная отработка режимов и методики выявления информативных признаков цифровой обработки АФ и ЦФ при проведении экспертных исследований аутентичности АФ и ЦФ [15].

Поставленные цели были реализованы путем решения ряда задач в процессе проведения экспериментов.

1. Разработка методик и схем проведения экспериментов, охватывающих все модели обработки фонограмм, рассмотренные в [1–9].

2. Проведение экспериментов в соответствии с разработанными методиками и схемами на разных типах и видах аппаратуры звукозаписи (с отработкой оптимальных режимов и методики анализа фонограмм).

Экспериментальные исследования на речевых сигналах проводились в два этапа. На первом этапе проверялась эффективность предложенного метода для выявления по вейвлет-портретам информативных признаков цифровой обработки АФ и ЦФ при разных моделях ввода/вывода информации в аппаратуру звукозаписи и ПЭВМ при различных видах обработки фонограмм.

На втором этапе проверялась возможность выявления следов цифровой обработки, при условии перезаписи обработанной фонограммы по акустическому каналу.

Исследования проводились на различных типах и экземплярах ПЭВМ, ЦАЗАС и аналоговой аппаратуры магнитной записи (ААМЗ). В частности, использовались цифровые диктофоны типа Finctronic зав. № 021, Samsung SVR-S820 № 820S2301978, Samsung SVR-S820 № 820S2900147, Toshiba, Memory Recorder DMR-SX1, зав. № 111283, Toshiba memory recorder DMR-SX-2 зав. № 375340, цифровая аппаратура магнитной записи (ЦАМЗ) ARCHOS Jukerbox Recorder 10 MP 3 Player/Recorder, JBR HD 10 s/n 022302507 BF. Для аналоговой звукозаписи использовались диктофоны OLYMPUS Pearlorder S724, зав. № 242977UGP, OLYMPUS Pearlorder L400, зав. № 317203 URA и магнитофон Marantz mod PMD221, зав. № АКЕ9Т2-RC-N. Для проведения экспериментов использовались экспериментальные образцы аппаратно-программного комплекса «Теорема-1», в который входит специализированное программное обеспечение Academy [10]. Комплекс разработан в НАВДУ в соответствии с предложенными теоретическими положениями. Предпосылкой его создания являлись предварительные экспериментальные исследования, проведенные в программе MatLab [15].

В процессе проведения экспериментов было снято более 300 вейвлет-портретов, преобразованных в программе Academy в графические спектрограммы [11]. Они были получены при записи, обработке и перезаписи речевых сигналов на разных аппаратах.

Первый этап исследований был разбит на два отдельных подэтапа. Первый подэтап исследований состоял из двух экспериментов, в первом из которых проверялась правильность теории и достаточность разрешающей способности комплекса для выявления следов цифровой обработки АФ при условии ввода фонограммы для обработки в ПЭВМ по аналоговому входу/выходу. Во втором — правильность теории и достаточность разрешающей способности комплекса для выявления следов цифровой обработки АФ при условии ввода фонограммы для обработки в ПЭВМ по цифровому входу/выходу. В процессе его проведения были отработаны режимы проведения анализа и методика выполнения экспертных исследований АФ.

Эксперименты проводились по следующей методике.

1. На ЦАЗАС и ААМЗ одновременно записывался речевой сигнал в виде свободного разговора нескольких лиц. Запись проводилась через встроенные микрофоны аппаратуры, используемой в эксперименте.

2. Записанный на ЦАЗАС сигнал через аналоговый (для первого эксперимента) и цифровой (для второго эксперимента) выход подавался на вход звуковой карты ПЭВМ и записывался в накопитель на жестком магнитном диске (НЖМД) компьютера в программе Cool Pro 98. Разрядность преобразования при записи сигналов в программе Cool Pro 98 выбиралась равной разрядности в ЦАЗАС. Частота дискретизации (ЧД) при записи сигналов в программе Cool Pro 98 выбиралась из стандартного ряда частот, имеющихся в программе, в том числе и равной номинальной ЧД в ЦАЗАС (исключение составляла только максимальная для данной звуковой карты ЧД, т.к. на ней вводится информация для снятия вейвлет-портретов).

Записанные фонограммы подвергались обработке в программе Cool Pro 98 и записывались на НЖМД ПЭВМ под своим именем.

3. Из программы Cool Pro 98 обработанная фонограмма через ФНЧ ПЭВМ и линейный вход аналогового магнитофона переписывалась на ААМЗ. Переписанный на ААМЗ сигнал воспроизводился и вводился в ПЭВМ через линейный вход звуковой карты с ЧД, максимально возможной для ее типа при разрядности оцифровки, равной разрядности ЦАЗАС.

4. Из введенного в ПЭВМ речевого сигнала каждого из дикторов, речь которых записана на фонограмме, отбирались участки, содержащие стационарный процесс (как правило, это фрагменты сигналов гласных, йотированных и твердых согласных звуков). Они выделялись и записывались на НЖМД в виде отдельных файлов, предназначенных для последующего анализа.

5. Полученные таким образом отдельные файлы загружались в окно вейвлет-анализа в программе Academy, где снимались их вейвлет-портреты, по которым в этой же программе рассчитывались эквиваленты спектрограмм.

6. Речевой сигнал, записанный первоначально на ААМЗ, также вводился в ПЭВМ в программе Cool Pro 98. Этот сигнал вводился с той же ЧД и разрядностью, что и сигнал с выхода ААМЗ по п. 2 настоящей методики. Из него также выделялись в отдельные файлы те же фрагменты сигналов тех же звуков, произнесенных тем же диктором. Они так же загружались в окно вейвлет-анализа в программе Academy, где снимались их вейвлет-портреты, по которым в этой же программе рассчитывались эквиваленты спектрограмм, при тех же параметрах анализа, что и для п. 4 данной методики.

7. Сравнивались спектрограммы сигналов, воспроизведенных с фонограммы, содержащей следы цифровой обработки, и фонограммы, не содержащей таких следов. В процессе получения спектрограмм уточнялись оптимальные режимы анализа с целью выбора тех из них, что обеспечивают наибольшую разрешающую способность при приемлемом времени обработки. **Критерием пригодности** спектрограмм, полученных из вейвлет-портретов, для выявления следов цифровой обработки АФ служило наличие устойчивого различия между спектрограммами сигналов, воспроизведенными с обработанных и не обработанных фонограмм, которое отвечает выявленным в [1–9] информативным признакам цифровой обработки АФ.

Эксперименты проводились на различных экземплярах нескольких типов ЦАЗАС и ААМЗ.

Схема проведения первого эксперимента первого подэтапа первого этапа приведена на рис. 1, а второго — на рис. 2.

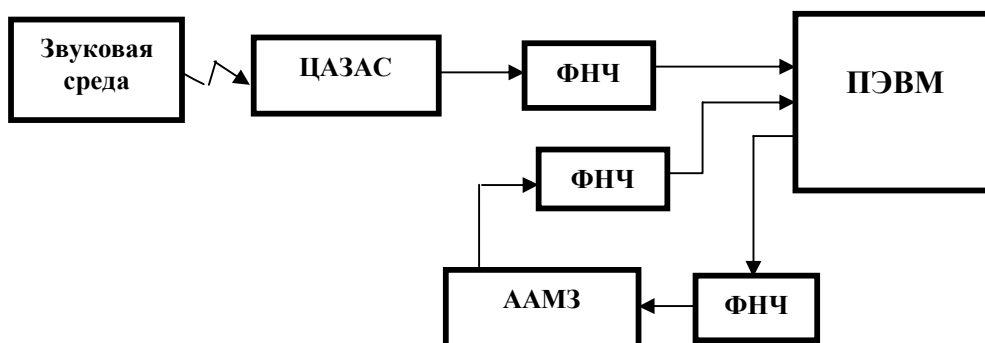


Рис. 1. Схема проведения эксперимента для аналогового ввода фонограммы в ПЭВМ и перезаписи обработанной фонограммы на ААМЗ

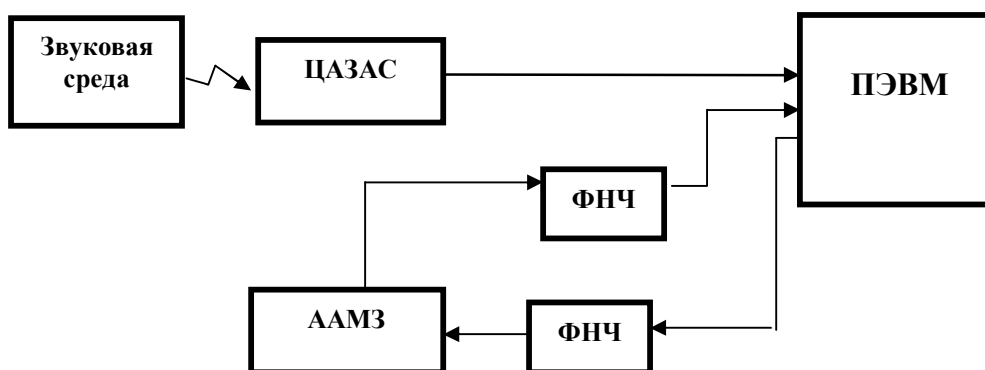


Рис. 2. Схема проведения эксперимента для цифрового ввода фонограммы в ПЭВМ и перезаписи обработанной фонограммы на ААМЗ

На втором подэтапе первого этапа исследований проверялась достаточность разрешающей способности комплекса для выявления следов цифровой обработки ЦФ. В процессе его проведения были отработаны режимы проведения анализа и методика выполнения экспертных исследований ЦФ при разных моделях их ввода/вывода в ЦАЗАС и ПЭВМ и разных видах обработки.

Этот эксперимент проводился по следующей методике.

1. На ЦАЗАС записывался речевой сигнал в виде свободного разговора нескольких лиц. Запись проводилась через встроенные микрофоны ЦАЗАС, используемой в эксперименте.

2. Записанные на ЦАЗАС сигналы через аналоговые и цифровые входы/выходы подавались на вход звуковой карты ПЭВМ и записывались на НЖМД компьютера в программе Cool Pro 98 (в случае аналогового ввода фонограмм). Разрядность преобразования при записи сигналов в программе Cool Pro 98 выбиралась равной разрядности в ЦАЗАС. ЧД при записи сигналов в программе Cool Pro 98 выбиралась из стандартного ряда частот, имеющих в программе, в том числе и равной номинальной ЧД в ЦАЗАС (исключение составляла только максималь-

ная для данной звуковой карты ЧД, т.к. на ней вводилась информация для снятия вейвлет-портрета). Записанные фонограммы подвергались обработке в программе Cool Pro 98 и записывались на НЖМД ПЭВМ под своим именем.

3. Из программы Cool Pro 98 обработанная фонограмма через ФНЧ ПЭВМ, линейный (для случая аналогового вывода) и цифровой входы/выходы переписывалась на ЦАЗАС. Переписанные на ЦАЗАС сигналы воспроизводились и вводились в ПЭВМ через линейный вход звуковой карты с ЧД, максимально возможной для ее типа при разрядности оцифровки, равной разрядности ЦАЗАС.

4. Из введенных в ПЭВМ речевых сигналов каждого из дикторов, речь которых записана на фонограммах, отбирались участки, содержащие стационарный процесс. Они выделялись и записывались на НЖМД в виде отдельных файлов, предназначенных для последующего анализа.

5. Полученные таким образом отдельные файлы загружались в окно вейвлет-анализа в программе Academy, где снимались их вейвлет-портреты, по которым в этой же программе рассчитывались эквиваленты спектрограмм.

6. Фонограммы, записанные первоначально на ЦАЗАС, также вводились в ПЭВМ в программе Cool Pro 98. Эти фонограммы вводились с той же ЧД и разрядностью, что и фонограммы с выхода ЦАЗАС по п. 3 настоящей методики. Из них также выделялись в отдельные файлы те же фрагменты сигналов тех же звуков, произнесенных тем же диктором. Они так же загружались в окно вейвлет-анализа в программе Academy, где снимались их вейвлет-портреты, по которым в этой же программе рассчитывались эквиваленты спектрограмм при тех же параметрах анализа, что и для п. 5 данной методики.

7. Сравнивались спектрограммы сигналов, воспроизведенных с фонограммы, содержащей следы цифровой обработки, и фонограммы, не содержащей таких следов. В процессе получения спектрограмм уточнялись оптимальные режимы анализа с целью выбора тех из них, что обеспечивают наибольшую разрешающую способность при приемлемом времени обработки. **Критерием пригодности** вейвлет-портретов для выявления следов цифровой обработки служило наличие устойчивого различия между спектрограммами сигналов, записанных и воспроизведенных на различных типах аппаратов с обработанных и не обработанных фонограмм, отвечающее выявленным информативным признакам цифровой обработки ЦФ [1–9]. Эксперименты проводились на различных экземплярах нескольких типов ЦАЗАС.

Схемы проведения первого и второго экспериментов второго подэтапа первого этапа исследований показаны на рис. 3 и 4 соответственно.

Второй этап исследований также проводился двумя подэтапами, состоящими из отдельных экспериментов. Их проведение дало ответы на ряд вопросов, которые не могли быть решены теоретически, ввиду вариативности акустического канала передачи звуковой информации [9].

1. Возможность выявления следов цифровой обработки цифровых и аналоговых фонограмм при условии перезаписи обработанной цифровой фонограммы по акустическому каналу на ААМЗ или ЦАЗАС для разных вариантов ввода цифровой фонограммы в ПЭВМ с целью ее обработки.

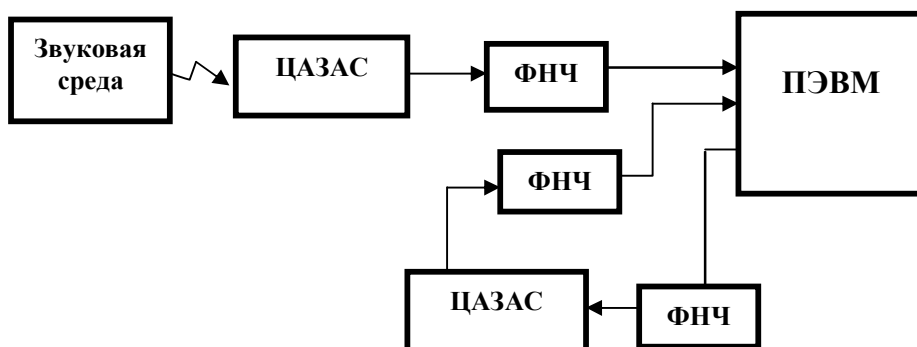


Рис. 3. Схема проведения эксперимента для ввода фонограммы в ПЭВМ и перезаписи обработанной фонограммы на ЦАЗАС в аналоговой форме

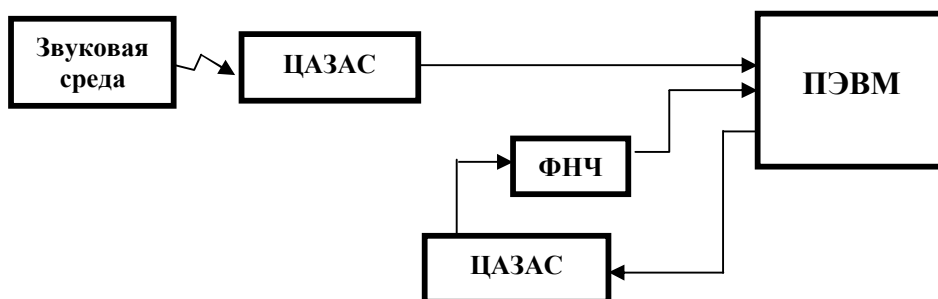


Рис. 4. Схема проведения эксперимента для ввода фонограммы в ПЭВМ и перезаписи фонограммы на ЦАЗАС в цифровой форме

2. Сохранность тех же информативных признаков в обработанных фонограммах в случае их перезаписи на ААМЗ и ЦАЗАС по акустическому каналу для разных вариантов ввода цифровой фонограммы в ПЭВМ с целью ее обработки. Сохранность критериев пригодности вейвлет-портретов для выявления следов цифровой обработки фонограмм, переписанных по акустическому каналу.

3. Появление или отсутствие дополнительных признаков следов цифровой обработки в фонограммах, переписанных по акустическому каналу.

В экспериментах первого подэтапа второго этапа были получены ответы на поставленные вопросы и проверена достаточность разрешающей способности комплекса для выявления следов цифровой обработки АФ при условии ввода первичной ЦФ для обработки в ПЭВМ в аналоговой и цифровой форме и перезаписи обработанной в ПЭВМ фонограммы на ААМЗ по акустическому каналу. В процессе проведения эксперимента определялись режимы анализа и методики проведения экспертизы АФ.

Эксперименты проводились на различных экземплярах нескольких типов ААМЗ и ЦАЗАС. Для обработки и перезаписи обработанных фонограмм применялись три ПЭВМ с различными звуковыми картами и звуковыми колонками разных типов. Перезапись проводилась в разных помещениях.

Методика проведения этих экспериментов ничем не отличается от двух предыдущих, за исключением перезаписи из ПЭВМ обработанной фонограммы через

звуковые колонки и встроенные микрофоны ААМЗ и ЦАЗАС, использованные в эксперименте.

Схемы проведения экспериментов первого подэтапа второго этапа исследований показаны соответственно на рис. 5 и 6.

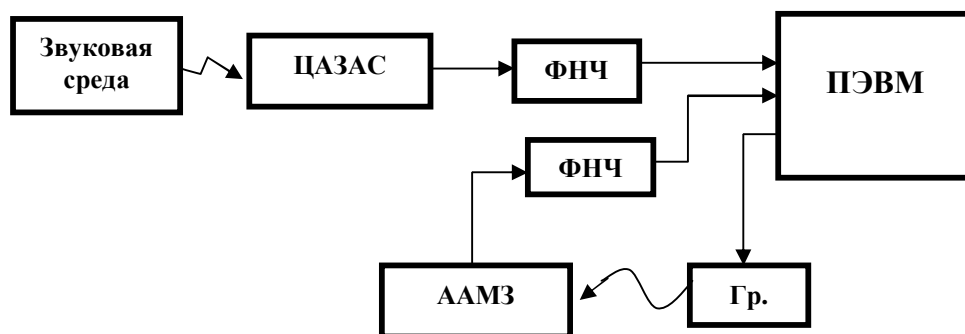


Рис. 5. Схема проведения эксперимента для аналогового ввода цифровой фонограммы в ПЭВМ и перезаписи обработанной фонограммы на ААМЗ по акустическому каналу

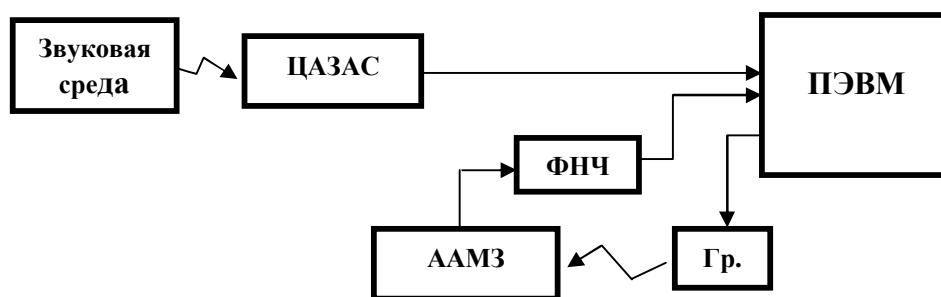


Рис. 6. Схема проведения эксперимента для цифрового ввода цифровой фонограммы в ПЭВМ и перезаписи обработанной фонограммы на ААМЗ по акустическому каналу

В экспериментах второго подэтапа второго этапа были получены ответы на поставленные вопросы и проверена достаточность разрешающей способности комплекса для выявления следов цифровой обработки ЦФ при условии ввода цифровой фонограммы в ПЭВМ в аналоговой и цифровой формах и перезаписи обработанной в ПЭВМ фонограммы на ЦАЗАС по акустическому каналу. В процессе проведения экспериментов определялись режимы анализа и методики проведения экспертизы ЦФ.

Эксперименты проводились в тех же условиях, что и первый подэтап второго этапа.

Схемы проведения первого и второго экспериментов второго подэтапа второго этапа показаны на рис. 7 и 8 соответственно.

Проведенные эксперименты, проиллюстрированные рис. 9–13, подтвердили достоверность разработанных положений теории [5] выявления следов цифровой обработки фонограмм, рассмотренных в [1–9].

Факт невозможности гарантированного выявления следов цифровой обработки в фальсифицированных фонограммах, известными методами, используемыми в широкой экспертной практике.

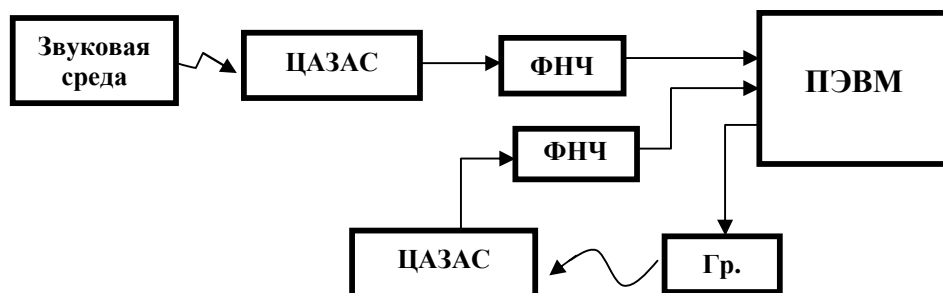


Рис. 7. Схема проведения эксперимента для аналогового ввода цифровой фонограммы в ПЭВМ и перезаписи обработанной фонограммы на ЦАЗАС по акустическому каналу

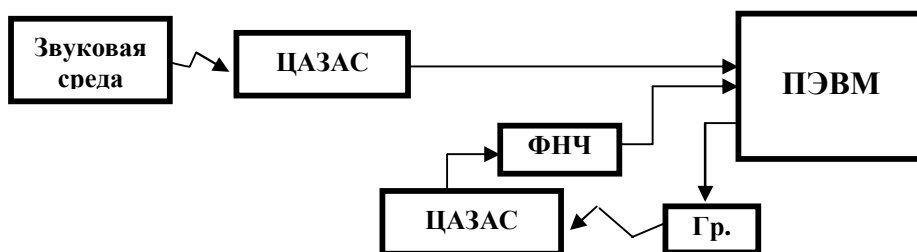


Рис. 8. Схема проведения эксперимента для цифрового ввода цифровой фонограммы в ПЭВМ и перезаписи обработанной фонограммы на ЦАЗАС по акустическому каналу

Тезис 1. Вероятность совпадения частот дискретизации устройств, участвующих в процессе цифровой обработки при фальсификации или копировании фонограмм, ничтожно мала ($2,3 \cdot 10^{-10}$) [5].

Тезис 2. Вероятность совпадения уровней квантования с технологическими дефектами квантователей устройств, участвующих в процессе цифровой обработки при фальсификации или копировании фонограмм, ничтожно мала ($4 \cdot 10^{-11}$) [5].

Концепция. Фальсификация или копирование цифровой фонограммы возможны только при условии использования не менее двух различных цифровых устройств.

Гипотеза 1. При проверке аутентичности цифровых фонограмм следует использовать сигналы, воспроизводимые на аналоговом выходе цифровой аппаратуры записи аналоговых сигналов.

Гипотеза 2. Следы цифровой обработки фонограммы проявляются в виде искажений формы и, следовательно, спектра аналоговых сигналов, получаемых при воспроизведении на аналоговом выходе аппаратуры звукозаписи фонограммы, обработанной в цифровой форме.

Гипотеза 3. В спектре обработанного в цифровой форме аналогового сигнала, при использовании для монтажа фонограммы операции стробирования фрагментов с целью их последующей компиляции, появляются искажения, обусловленные влиянием стробирующего сигнала.

Гипотеза 4. Реализация средств гарантированного выявления искажений формы и спектра обработанных сигналов, содержащихся в фонограмме, при использовании время-частотного анализа, построенного на классическом кратковременном преобразовании Фурье, технически невозможна.

Гипотеза 5. Реализация средства гарантированного выявления искажений формы и спектра обработанных сигналов, содержащихся в фонограмме, обеспечивается применением микроволнового время-частотного анализа. Для построения такого анализатора целесообразно использовать комплексную функцию Морле.

Гипотеза 6. Проверка аутентичности фонограмм должна производиться путем сравнения искажений формы и спектра стационарных сигналов, выделяемых из речевой информации, содержащейся в спорной и образцовой фонограммах

Закономерность неизбежного увеличения числа искажений формы и спектральных компонент, выделенных из сигналов, воспроизведенных с обработанной в цифровой форме фонограммы, относительно числа этих искажений и компонент, выделенных из аналогичных сигналов, воспроизведенных с фонограммы, не подвергавшейся такой обработке.

Эта закономерность принята в качестве *информативного признака* следов цифровой обработки фонограмм.

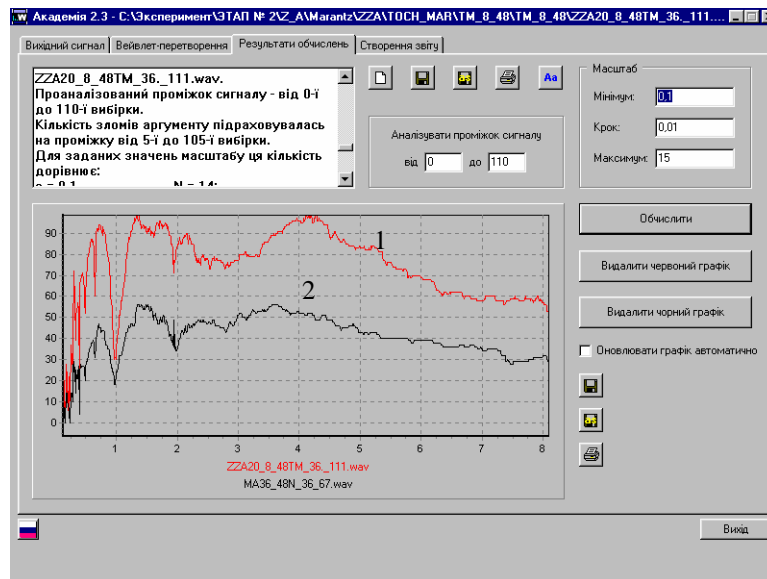


Рис. 9. Спектрограммы сигналов длительностью 36 выборок на период, выделенных из образцовой (1) и обработанной (2) фонограмм. Образцовая фонограмма записана на ААМЗ «Marantz-221» на скорости транспортирования носителя 4,76 см/с и введена в ПЭВМ по аналоговому входу при частоте дискретизации 48 кГц, оцифровке 16 разрядов. Обработанная фонограмма записана на ЦАЗАС «Toshiba» (8 кГц, 16 разрядов), введена по аналоговому входу в ПЭВМ (8 кГц, 16 разрядов) и перезаписана на ААМЗ «Marantz-221» через ПЭВМ на скорости транспортирования носителя 4,76 см/с. Ввод в ПЭВМ для анализа — 48 кГц, при оцифровке 16 разрядов

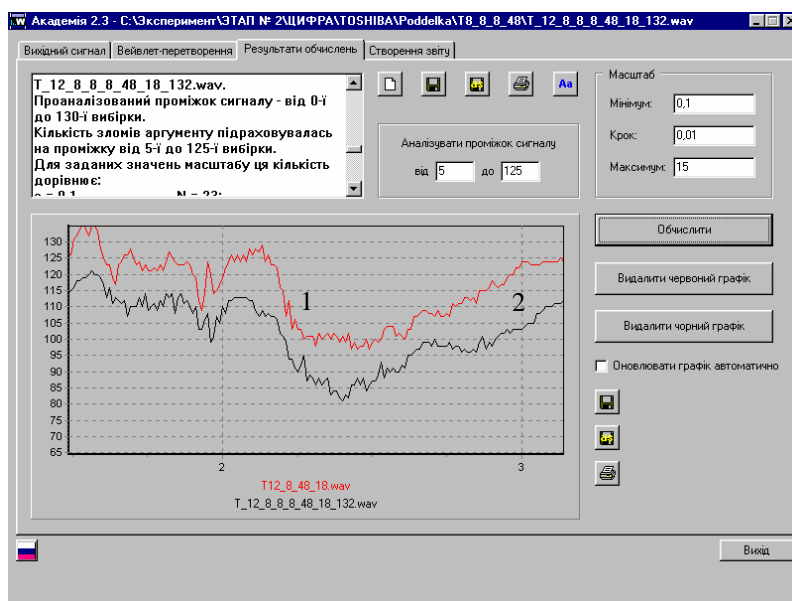


Рис. 10. Спектрограммы сигналов длительностью 18 выборок на период, выделенных из оригинальной записи (1), записанной на ЦАЗАС «Toshiba», и перезаписи (2) на эту же ЦАЗАС через ПЭВМ (частота ввода в ПЭВМ при перезаписи — 44,1 кГц, оцифровка — 16 разрядов). Перезапись по аналоговому входу/выходу

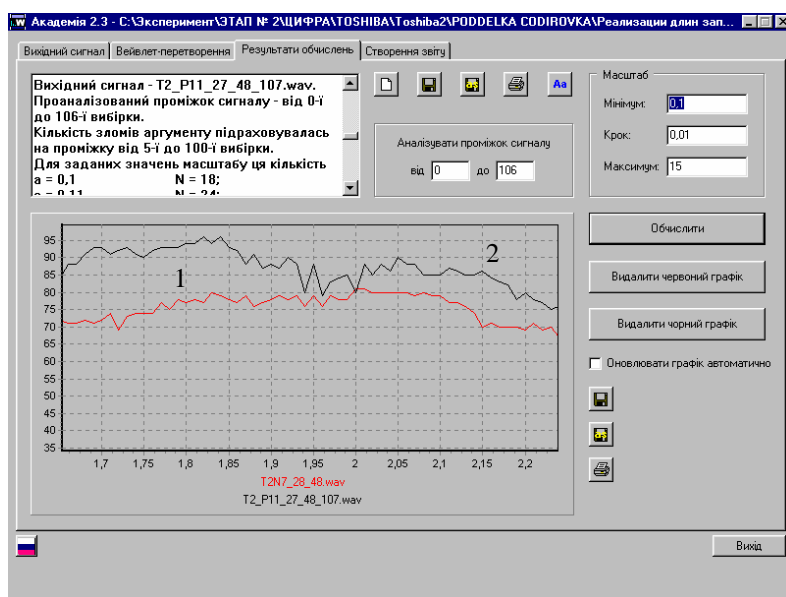


Рис. 11. Спектрограммы сигналов длительностью 28 выборок, выделенных из оригинальной (1), записанной на ЦАЗАС «Toshiba», и обработанной (2) фонограмм при цифровом вводе/выводе в ПЭВМ и ЦАЗАС при перезаписи фальсификата. В области параметра $a = (1,5-3,5)$ видны явные различия в количестве спектральных составляющих. Ввод в ПЭВМ и вывод фонограммы при перезаписи производился в формате dmr, обработка — в формате wav. В ЦАЗАС фонограммы записаны в формате dmr. Ввод в ПЭВМ для анализа на частоте 48 кГц при 16-разрядной оцифровке

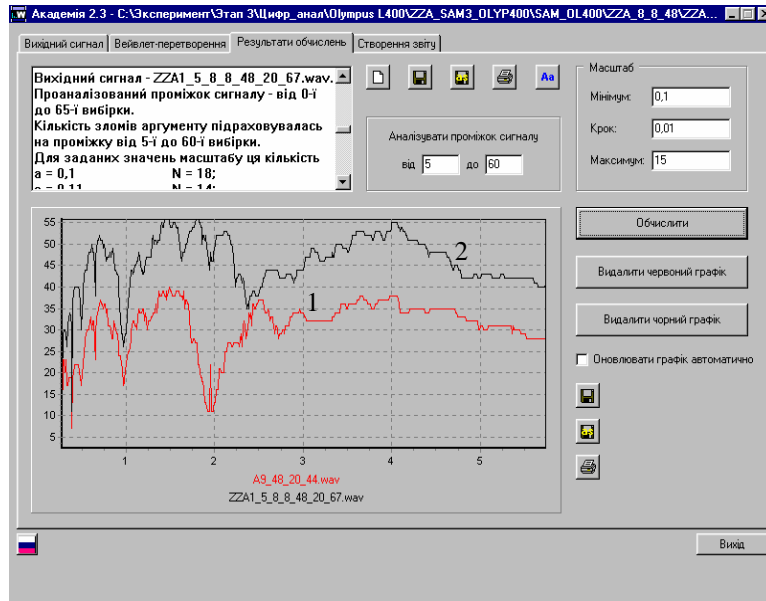


Рис. 12. Спектрограммы сигналов длительностью 20 выборок, выделенных из образцовой (1), записанной на ААМЗ «Olympus-L400» (ввод для анализа на ЧД 48 кГц, оцифровка 16 разрядов), и обработанной (2) фонограмм. Обработанная фонограмма записана на этой же ЦАЗАС «Samsung», введена в ПЭВМ для обработки (ЧД — 8 кГц, оцифровка — 16 разрядов) и переписана по акустическому каналу на ААМЗ. Частота дискретизации при анализе 48 кГц, 16 разрядов

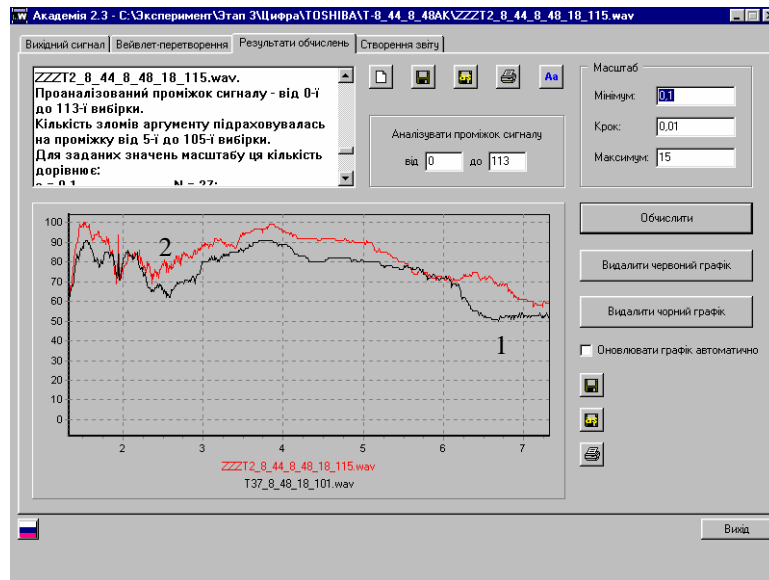


Рис. 13. Спектрограммы сигналов длительностью 18 выборок на период образцовой (1) и обработанной (2) фонограмм. Образцовая фонограмма записана на ЦАЗАС «Toshiba» (8 кГц, 16 разрядов). Обработанная фонограмма записана на этой же ЦАЗАС при той же частоте и оцифровке, введена в ПЭВМ для обработки с этими же параметрами. Перепись из ПЭВМ по акустическому каналу. Ввод в ПЭВМ для анализа на 48 кГц при 16-разрядной оцифровке

В результате проведенных экспериментов, описанных в [14, 15], было установлено следующее.

1. Достоверность положений теории выявления следов цифровой обработки фонограмм подтверждается экспериментально.

2. Разрешающая способность комплекса «Теорема-1», разработанного на базе данной теории, достаточна для выявления следов цифровой обработки фонограмм, независимо от способов их ввода/вывода в ПЭВМ и аппаратуру звукозаписи, последующей перезаписи и способов обработки. Обеспечивается 100 % выявляемость следов цифровой обработки фонограмм.

4. Наиболее оптимальным режимом проведения исследований следует признать: диапазон сканирования параметра a — от 0,1 до 15; дискретность шага сканирования параметра a — 0,01. При этом время анализа (при использовании для анализа вейвлета Морле в программе Academy) стационарного сигнала длиной до 200 выборок не превышает 3 мин для ПЭВМ среднего быстродействия (850 МГц).

5. Информативные признаки цифровой обработки фонограмм, найденные в процессе теоретической разработки, проявляются в вейвлет-портретах и полученных из них эквивалентов спектрограмм, а их проявление носит устойчивый характер.

6. Проявлением информативных признаков цифровой обработки аналоговых и цифровых фонограмм в спектрограммах, полученных из вейвлет-портретов исследуемых сигналов, являются изменение числа спектральных компонент на спектрограмме обработанной фонограммы относительно спектрограммы сигналов, не подвергавшихся цифровой обработке.

7. Предложенный метод анализа аутентичности фонограмм пригоден для выявления следов цифровой обработки аналоговых и цифровых фонограмм при проведении экспертизы.

Вывод

Предложенные методики и схемы проведения экспериментальной проверки достоверности положений теории выявления следов цифровой обработки фонограмм и созданных на этой базе методов и средств экспертизы обеспечили проведение проверки всех рассмотренных в [1–9] способов цифровой обработки аналоговых и цифровых фонограмм.

1. Рыбальский О.В., Жариков Ю.Ф. Современные методы проверки аутентичности магнитных фонограмм в судебно-акустической экспертизе. — К.: НАВСУ, 2003. — 300 с.

2. Рыбальский О.В., Мовчан Т.В. Особенности применения вейвлет-анализа при проведении экспертиз подлинности цифровых фонограмм // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2003. — Т. 5, № 1. — С. 22–31.

3. Рыбальский О.В. К основам теории выявления следов цифровой обработки фонограмм // Защита информации: Сб. труд. НАУ. — К.: КМУЦА, 2004. — Вып. 11. — С. 50–56.

4. Рыбальский О.В., Мовчан Т.В. Неизбежные следы монтажа цифровых сигналограмм // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2002. — Т. 4, № 2. — С. 51–61.

5. *Рыбальский О.В.* До основ теорії виявлення слідів цифрової обробки фонограмм: Зб. наук. пр. Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ». — К., 2004. — № 4. — С. 126–135.
6. *Рыбальский О.В.* Модели нестандартных способов обработки цифровых фонограмм // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2003. — Т. 5, № 4. — С. 25–32.
7. *Рыбальский О.В., Тимко Е.В., Усков К.Ю.* Выявление следов цифровой обработки цифровых фонограмм, проведенной с перекодировкой форматов // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2004. — Т. 6, № 1. — С. 99–109.
8. *Богданов О.М., Геранін В.О., Рыбальский О.В.* Методологія розробки основ теорії виявлення слідів цифрової обробки фонограм та її деякі аспекти // Правове, нормативне, метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. — 2004. — Вип. 8. — С. 27–28.
9. *Рыбальский О.В.* Щодо необхідності дослідження можливості виявлення цифрової підробки магнітної сигналограми з використанням акустичного тракту при її перезапису // Науковий вісник Національної академії внутрішніх справ України. Ч. 2. — К.: НАВСУ. — 2002. — № 3. — С. 70–77.
10. *Рыбальский О.В.* Програма для виявлення слідів цифрової обробки аналогових и цифровых фонограмм при проведенні судово-акустической експертизи // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2003. — Т. 5, № 3. — С. 50–56.
11. *Рыбальский О.В.* Метод получения графиков текущих спектров сигналов из их вейвлет-портретов // Захист інформації. — К.: КМУЦА. — 2004. — № 1. — С. 51–56.
12. Пат. України. МПКВ G 11 b 27/00, 27/36. Спосіб ідентифікації цифрової апаратури запису аналогових сигналів та перевірки автентичності цифрових сигналограм / Рыбальский О.В., Жаріков Ю.Ф., Орлов Ю.Ю., Геранін В.О., Писаренко Л.Д., Мовчан Т.В., Кирюша Б.А. (Україна). — № 54627.
13. *Рыбальский О.В.* Умови реалізації комплексу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм // Зб. наук. пр. Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ». — К., 2004. — № 1. — С. 124–127.
14. *Рыбальский О.В.* Застосування вейвлет-аналізу для виявлення слідів цифрової обробки аналогових і цифрових фонограм у судово-акустичній експертизі. — К.: НАВСУ, 2004. — 165 с.
15. *Рыбальский О.В., Мовчан Т.В., Писаренко Л.Д., Путилов Ю.В.* Выявление признаков обработки цифровых фонограмм с помощью вейвлет-анализа сигналов // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2002. — Т. 4, № 3. — С. 89–103.

Поступила в редакцию 13.04.2004