

УДК 681.3

О. В. Рыбальский¹, Е. В. Тимко², К. Ю. Усков²

¹Национальная академия внутренних дел Украины

²Киевский научно-исследовательский институт судебных экспертиз

Выявление следов цифровой обработки цифровых фонограмм, проведенной с перекодировкой форматов

Рассмотрен экспериментальный пример выявления следов цифровой обработки в цифровой фонограмме аппаратно-программным комплексом «Теорема-1». Фонограмма была обработана с помощью специальной программы, разработанной для проведения проверки возможностей средств экспертизы при выявлении следов обработки фонограмм.

Ключевые слова: цифровая обработка, формат записи, преобразование формата.

Введение

Современный уровень развития цифровых технологий и их доступность создали условия для их использования с целью изменения первоначального состояния фонограммы без явных признаков такой цифровой обработки (ЦО). Это послужило стимулом к разработке специальных средств и методов экспертного исследования фонограмм для выявления следов изменения первоначального состояния фонограмм, в том числе и следов ЦО.

В рамках решения этой проблемы учеными и специалистами Национальной академии внутренних дел Украины и факультета электроники Национального технического университета Украины «КПИ» были проведены исследования и создан экспериментальный образец аппаратно-программного комплекса «Теорема-1», позволяющий выявлять следы ЦО аналоговых и цифровых фонограмм. Теоретические и аппаратные разработки данного комплекса базируются на применении вейвлет-анализа процессов, неизбежно возникающих при любой обработке первоначальной фонограммы: перезаписи, переоцифровке и перекодировании.

После ряда предварительных экспериментов (их всего было проведено более 300), построенных на моделях обработки сигналов, предложенных в [1, 2], эксперты получили возможность отработки методики применения новых методов и оборудования в экспертизах. Эти модели предполагали, что обрабатываемые сигналы подвергались не менее чем двукратному аналого-цифровому (или цифро-аналоговому) преобразованию. Они распространялись на случаи записи обработан-

© О. В. Рыбальский, Е. В. Тимко, К. Ю. Усков

ных сигналов как в аналоговой, так и в цифровой формах.

Основная часть

Цель отработки заключалась в проверке возможностей данного комплекса, а также определения граничных условий достоверного выявления конкретных изменений фонограмм.

При отработке методики было необходимо экспериментально проверить способность комплекса к выявлению следов ЦО в сигналах, которые хотя и подвергались только однократному аналого-цифровому и цифро-аналоговому преобразованию, но в процессе обработки претерпевали изменения формата их представления в цифровой форме, которые вносили необратимые искажения в обрабатываемые сигналы.

Фонограмма записывалась в формате со сжатием информации (например, mp3). Эта фонограмма вводилась в ПЭВМ через цифровой порт, где она сперва преобразовывалась в формат wav, а затем, после обработки в этом формате, подвергалась дополнительному преобразованию из формата wav в первоначальный формат. Обработанная фонограмма в этом формате через цифровой порт ПЭВМ записывалась на ту же цифровую аппаратуру записи аналоговых сигналов (ЦАЗАС), на которой была записана первоначальная фонограмма. В самой ЦАЗАС использовался стандартный кодек (использовалась аппаратура с разными типами кодеков). При эксперименте такое преобразование информации производилось непосредственно в ПЭВМ, на которой обрабатывалась введенная фонограмма.

Программы преобразования форматов для разных типов кодеков были разработаны в Киевском НИИ судебных экспертиз специально для изучения возможности такой обработки и методов ее выявления.

При эксперименте преобразование форматов производилось программными эквивалентами различных кодеков. Функциональная схема проведения эксперимента показана на рис. 1. Сравнивались разные способы обработки фонограмм в формате wav:

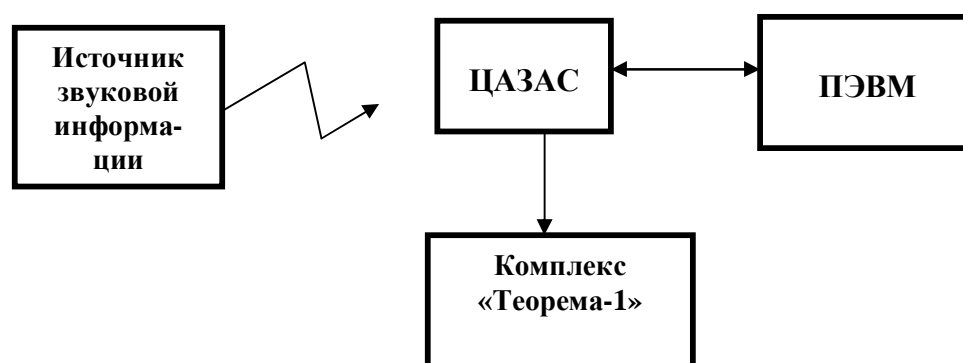


Рис. 1. Функциональная схема проведения эксперимента

- при той же частоте дискретизации, с которой она производилась в ЦАЗАС;
- с изменением частоты дискретизации при обработке в формате wav, но с по-

следующей передискретизацией на ту же частоту, при которой производилась первичная запись в процессе перекодировки из формата wav в формат записи в ЦАЗАС.

Таким образом, проведенные эксперименты позволяли проверить способность комплекса выявлять следы ЦО для случая перекодировки обрабатываемых сигналов из формата wav в формат, при условии использования кодеков, вносящих искажения в обрабатываемые сигналы.

Первоначальные и обработанные фонограммы вводились по аналоговому входу/выходу в комплекс «Теорема-1» в программе Cool Pro 98 в формате wav и исследовались с помощью программы Academy, входящей в состав программного обеспечения комплекса [3].

Программа построена на вейвлет-анализе и позволяет выявлять искажения формы, а, следовательно, и спектров, сигналов, подвергнутых ЦО.

Ее работа основана на известном свойстве вейвлетов выявлять малый сигнал (на уровне младшего разряда аналого-цифрового преобразования) на фоне маскирующего большого сигнала. В программе используется комплексный вейвлет Морле [4]. Необходимость его применения обусловлена возможностью представления вейвлет-портрета как модуля, так и аргумента (т.е. фазы) исследуемого сигнала. Поскольку искажения, вызванные ЦО, проявляются в исследуемых сигналах в виде всплесков малой амплитуды высокой частоты, то в сигнале будут образовываться дополнительные фазовые переходы, проявляющиеся на вейвлет-портрете аргумента.

Это свойство позволяет после дополнительной обработки представлять результаты анализа исследуемых фонограмм в виде эквивалентов спектрограмм, т.е. спектрограмм, получаемых при использовании вейвлетов.

Из исследуемых фонограмм отбирались отдельные реализации квазигармонических сигналов, которые подвергались последующему анализу.

Для чистоты эксперимента каждая из фонограмм записывалась одновременно на два разных экземпляра ЦАЗАС, а проверке подвергались сигналы одного и того же вида и длительности, выделенные из одной фонемы одного звука одного и того же слова одной и той же фразы, записанной на образцовых и обработанных фонограммах.

Критерием наличия следов ЦО в проверяемых таким методом фонограммах, является различие в размещении вдоль оси параметра масштабирования a (параметр, эквивалентный частоте при вейвлет-анализе) спектральных составляющих исследуемых сигналов, выделенных из первоначальных и обработанных фонограмм.

Для определения граничных условий достоверного выявления конкретных изменений фонограмм был проведен дополнительный эксперимент.

Предпосылкой для проведения подобного эксперимента являлась необходимость отработки методики проведения экспертизы и выяснения тех областей сравнения частот на спектрограммах, в которых расхождения, образовавшиеся в спектрограммах исследуемых фонограмм, явно обусловлены следами обработки, а не различием вводимых сигналов, условий их записи-воспроизведения или ввода фонограмм.

Эксперимент был проведен на аналоговых и цифровых фонограммах, записан-

санных на различной аппаратуре, используемой в предыдущих экспериментах.

На каждом из аппаратов, участвующих в эксперименте, производились записи речевых сигналов. Каждая из них минимум дважды вводилась в ПЭВМ с аналогового выхода аппаратуры звукозаписи, на которой записывались эти фонограммы. Они сохранялись в разных файлах, в каждом из которых отбирались реализации одних и тех же сигналов, являющихся фрагментами одной и той же форманты одного и того же слова, произнесенного одним и тем же диктором.

Отобранные фрагменты подвергались вейвлет-анализу в программе Academy, а по его результатам строились спектрограммы [3]. Полученные спектрограммы сравнивались между собой.

Таким образом, проведенный эксперимент позволил проверить устойчивость предлагаемого метода и отработать элементы методики проведения экспертизы фонограмм на отсутствие в них (или присутствие) следов цифровой обработки.

В результате экспериментов установлено, что в некоторых областях спектрограмм, полученных из вейвлет-портретов сигналов одной частоты одной и той же фонограммы, не подвергавшейся ЦО, имеются незначительные расхождения в расположении частотных составляющих на оси частот.

Эксперименты, проведенные на различных видах и экземплярах ЦАЗАС и аналоговой аппаратуры магнитной записи (ААМЗ), используемых в предыдущих исследованиях, показали, что данные области примерно близки для разных сигналов, воспроизводимых с разных видов аппаратуры звукозаписи, т.е. имеет место систематическая ошибка, осложненная вариативностью канала записи-воспроизведения. Ее происхождение может быть пояснено влиянием токов утечки конденсаторов аналоговых фильтров нижних частот на выходе аппаратуры звукозаписи и входе аналого-цифрового преобразователя ПЭВМ, используемой при исследованиях.

Исходя из этого, предложена методика проведения экспертизы аналоговых и цифровых фонограмм, обеспечивающая корректность исследований. Для этого экспериментальная фонограмма, записанная на аппарате, представленном на экспертизу (на котором, по версии тех, кто представил материалы на экспертизу, записана исследуемая фонограмма) дважды вводится в ПЭВМ и записывается в разные файлы. Из этих файлов отбираются по несколько пар квазигармонических сигналов разных частот, с которых снимаются вейвлет-портреты, по которым строятся эквиваленты спектрограмм. Эти спектрограммы одинаковых сигналов, полученных из разных фонограмм, попарно сравниваются между собой. Определяются области несоответствия, которые исключаются из рассмотрения, при проведении дальнейших исследований. Той же процедуре подвергаются исследуемые фонограммы. Кроме того, из исследуемой (т.е. той, что подлежит экспертной оценке) фонограммы отбираются по несколько реализаций сигналов одной частоты, расположенные на различных ее участках. С них также снимаются вейвлет-портреты и получают эквиваленты спектрограмм, при сравнении которых определяются области несоответствия, обусловленные некоторым различием амплитуды и частоты этих сигналов. Таким образом, производится уточнение корректных областей исследования спектрограмм сигналов, полученных из исследуемой и экспериментальной фонограмм. В этих областях полученные результаты сравнения расположения спектральных составляющих на оси частот, полученных из

квазигармонических сигналов одной частоты, выделенных из исследуемой и экспериментальных фонограмм, будут отвечать требованиям корректности.

Результаты проведенных экспериментов иллюстрируются эквивалентами спектрограмм, приведенными на рис. 2–12.

Все фонограммы вводились в комплекс «Теорема-1» по аналоговому входу при частоте дискретизации 48 кГц с 16-разрядной оцифровкой с аналогового выхода ЦАЗАС.

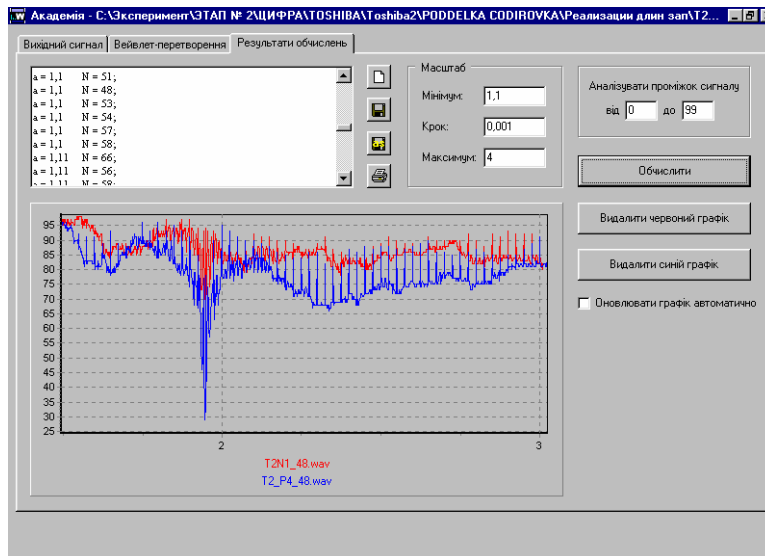


Рис. 2. Спектрограммы сигналов длительностью 40 выборок (1,2 кГц), выделенных из оригинальной (красный) и обработанной (синий) фонограмм, записанных на ЦАЗАС Toshiba, при цифровом вводе/выводе в ПЭВМ и перезаписи обработанной фонограммы в ЦАЗАС в формате dmr

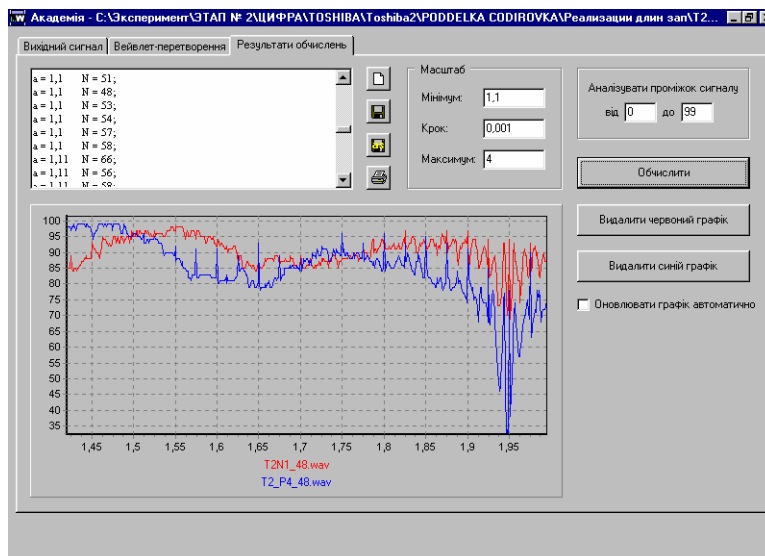


Рис. 3. Спектрограммы этих же сигналов при растянутой шкале параметра a . Видны несоответствия спектральных составляющих слева от провала

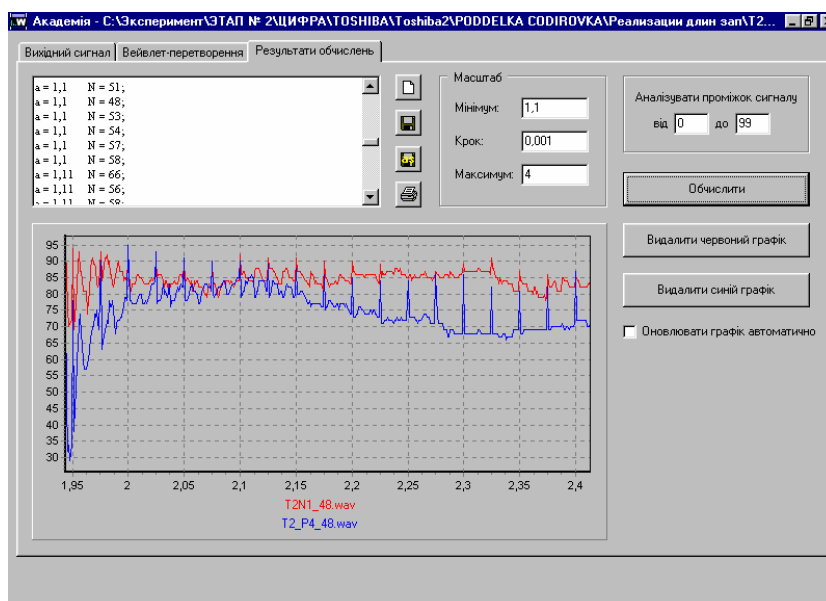


Рис. 4. Спектрограммы этих же сигналов при растянутой шкале параметра α . Видны несоответствия спектральных составляющих справа от провала

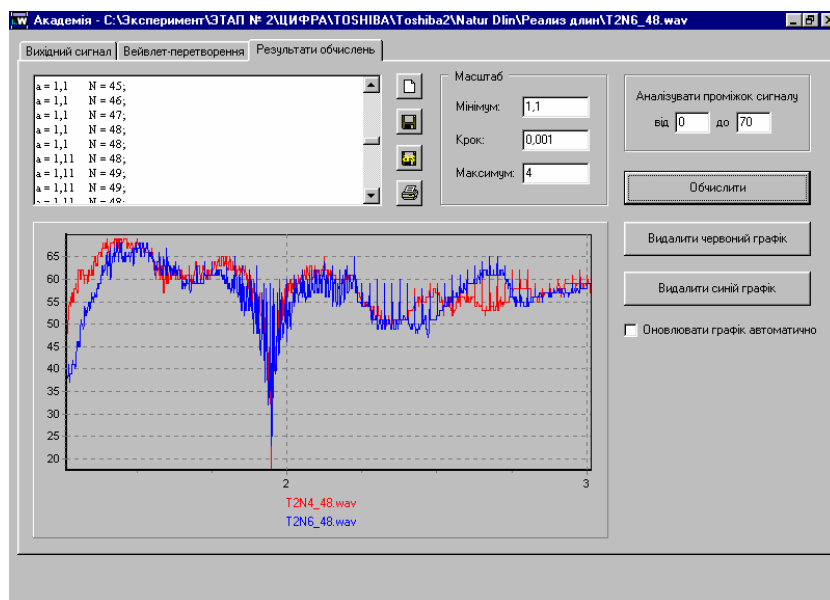


Рис. 5. Спектрограммы двух реализаций сигналов длительностью 25 выборок (1,92 кГц), выделенных из оригинальной записи, записанной на ЦАЗАС Toshiba (красный и синий графики)

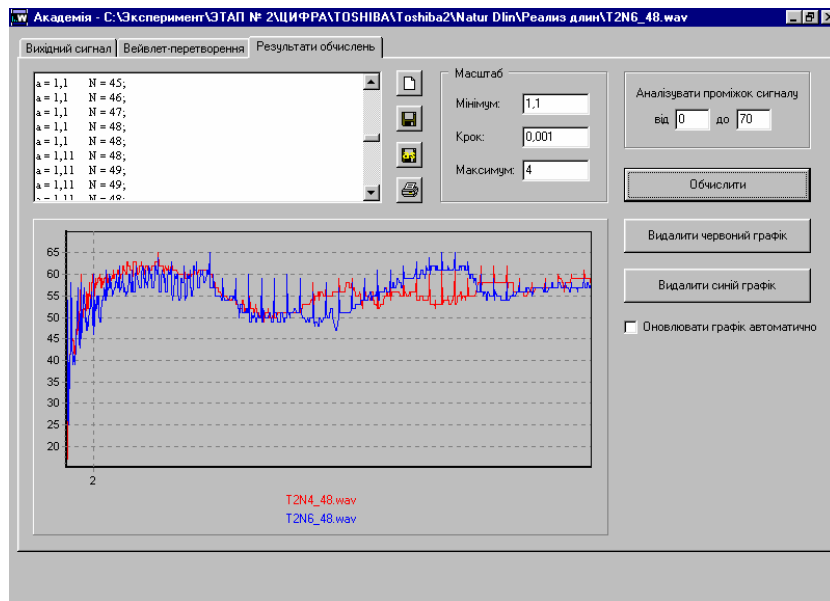


Рис. 6. Спектрограммы этих же сигналов при растянутой шкале параметра a .
Соответствие спектральных составляющих справа от провала

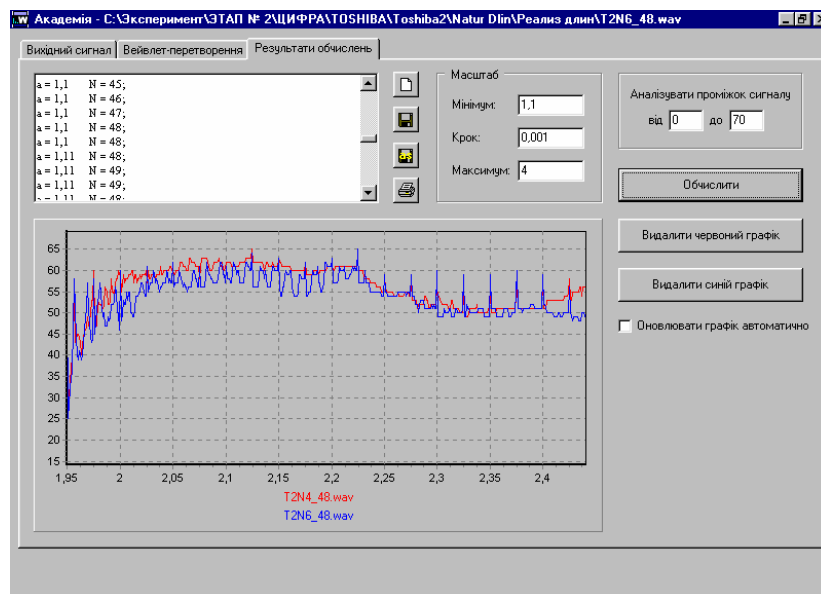


Рис. 7. Спектрограммы этих же сигналов при более растянутой шкале параметра a .
Соответствие спектральных составляющих справа от провала

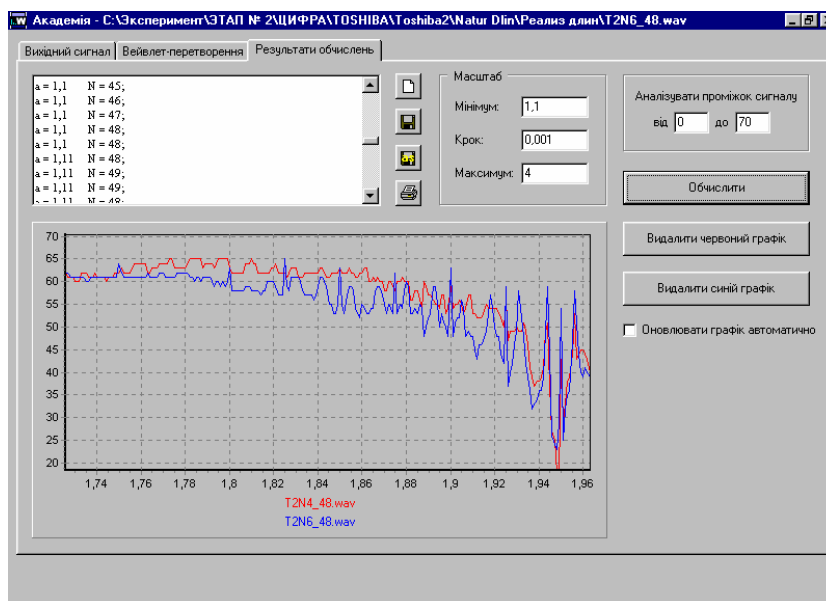


Рис. 8. Спектрограммы этих же сигналов при растянутой шкале параметра a . Соответствие спектральных составляющих слева от провала

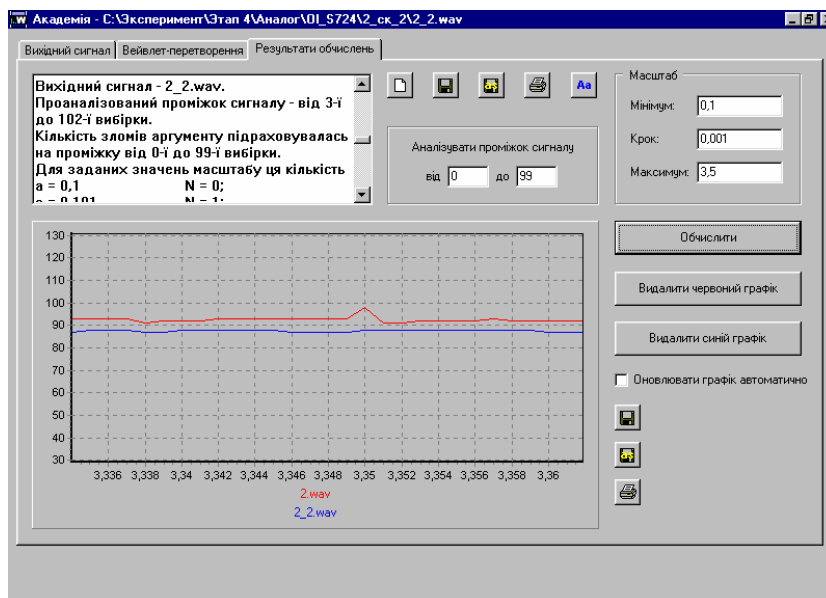


Рис. 9. Область несовпадения пиков при сравнении одинаковых сигналов одной и той же оригинальной фонограммы, записанной на ААМЗ Olympus S-724, при условии дублирования ее ввода в ПЭВМ для проверки

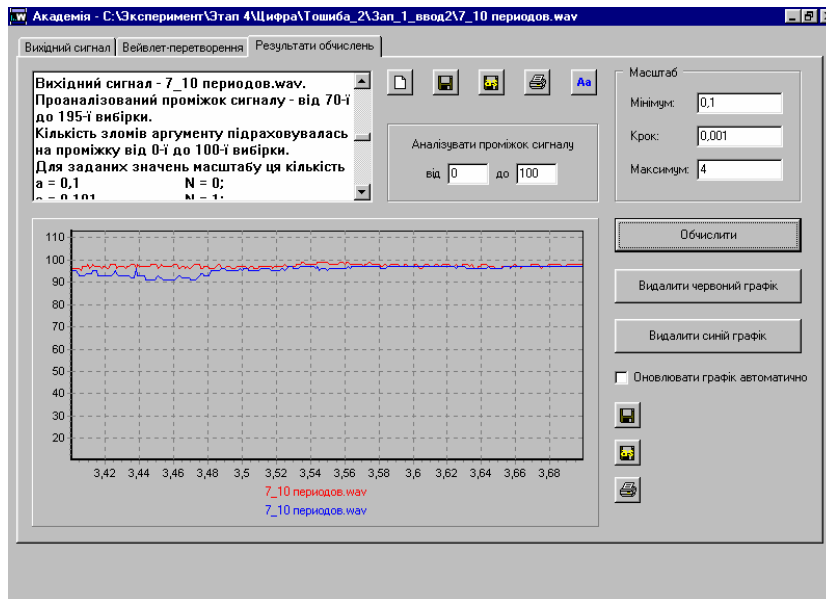


Рис. 10. Область несовпадения пиков (на уровне шумов) при сравнении одинаковых сигналов одной и той же оригинальной фонограммы, записанной на ЦАЗАС Toshiba, при условии дублирования ее ввода в ПЭВМ для проверки

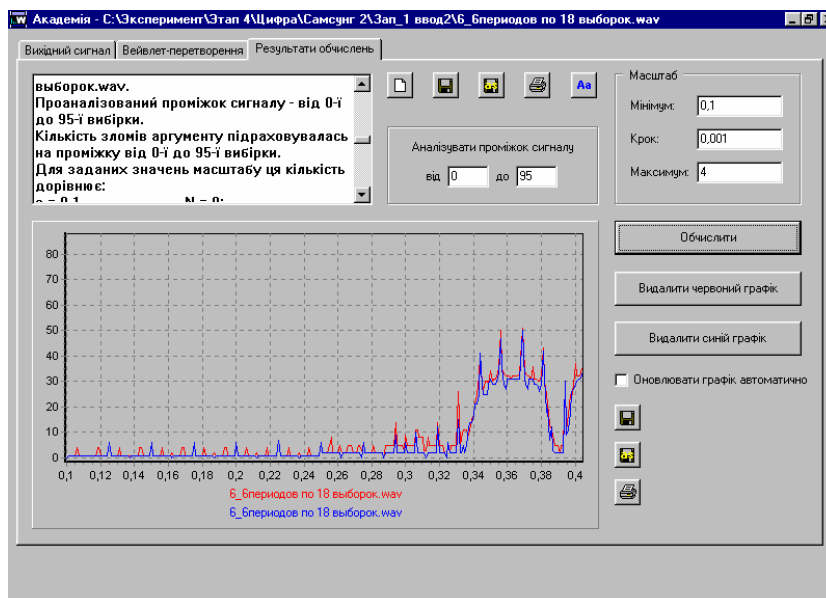


Рис. 11. Область несовпадения пиков в пределах от 0,1 до 0,31 значений параметра a при сравнении одинаковых сигналов одной и той же оригинальной фонограммы, записанной на ЦАЗАС Samsung, при условии дублирования ее ввода в ПЭВМ для проверки

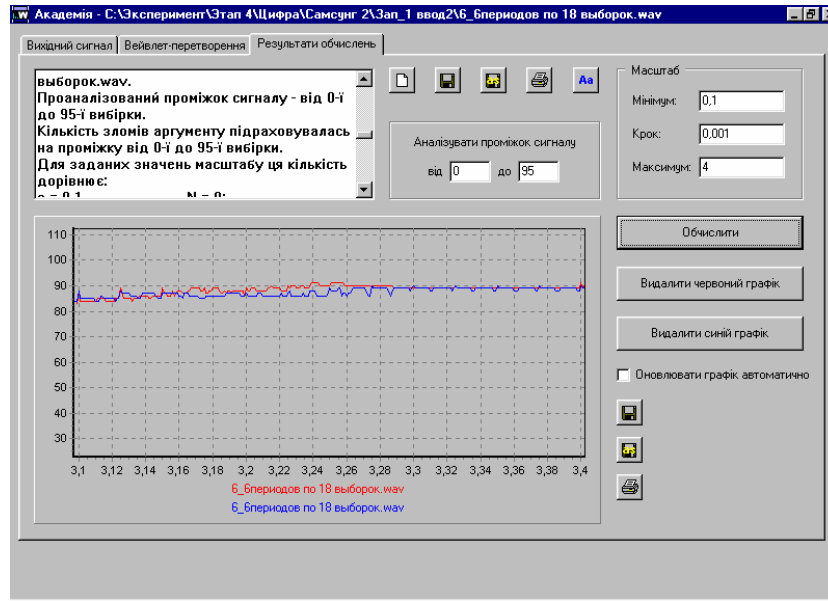


Рис. 12. Область несовпадения пиков в пределах от 3,1 до 3,4 значений параметра a при сравнении одинаковых сигналов одной и той же оригинальной фонограммы, записанной на ЦАЗАС Samsung, при условии дублирования ее ввода в ПЭВМ для проверки

Выводы

Программа Academy, входящая в комплекс «Теорема-1», способна выявлять следы ЦО в цифровых фонограммах, во всех случаях, когда происходят необратимые искажения информационных сигналов (либо за счет многократных аналого-цифровых преобразований, либо за счет математической обработки), в том числе и при условии преобразования в ПЭВМ обработанных сигналов в формат записи фонограмм на ЦАЗАС и их перезаписи в цифровой форме.

Идентификационными признаками цифровой обработки цифровой фонограммы, при условии перекодировки из формата в формат с использованием кодеков, искажающих сигналы, и цифрового ввода/вывода обрабатываемой фонограммы являются несоответствие размещения на оси частот спектральных составляющих сигналов, выделенных из исследуемой и экспериментальной фонограмм.

При проведении каждой конкретной экспертизы необходимо уточнять в сравниваемых спектрограммах корректные области сравнения расположения на оси частот спектральных составляющих сигналов, получаемых из исследуемой и экспериментальной фонограмм.

1. Рыбальский О.В. Проверка аутентичности фонограмм при проведении судебно-акустической экспертизы, как одна из составляющих информационной безопасности страны. Часть 1 // Захист інформації. – К.: КМУЦА, 2003. — № 1. — С. 17– 28.

2. Рыбальский О.В. Проверка аутентичности фонограмм при проведении судебно-акустической экспертизы, как одна из составляющих информационной безопасности страны. Часть 2 // *Захист інформації*. — К.: КМУЦА, 2003. — № 2. — С. 24–31.

3. Рыбальский О.В. Программа для выявления следов цифровой обработки аналоговых и цифровых фонограмм при проведении судебно-акустической экспертизы // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2003. — Т. 5, № 3. — С. 50–56.

4. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. — М.: СОЛОН-Р, 2002. — 448 с.

Поступила в редакцию 29.12.2003