

**Вывод.** В данной работе проведен системный анализ особенностей функционирования и проектирования систем защиты информационных инфраструктур энергосбытовых компаний на примере ОАО "Мосэнергосбыт". Надежное обеспечение безопасности информационной инфраструктуры энергосбытовых компаний повышает их конкурентоспособность.

**Д.П. Рублёв, А.В. Чумаченко, О.Б. Макаревич, В.М. Фёдоров**  
Россия, г. Таганрог, Технологический институт ЮФУ  
г. Нальчик, НИПРУ КБНЦ РАН

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ МИКРОФОНОВ ПО НЕИДЕАЛЬНОСТЯМ ТРАКТА ЗАПИСИ**

За последние годы произошло массовое вытеснение и замена аналоговой техники звуко-, видеозаписи, а также фототехники в потребительском сегменте на цифровую. Наибольшее распространение получили цифровые фотокамеры и диктофоны. Помимо очевидных проблем, связанных с потенциальной возможностью утечки информации посредством данных устройств, зачастую имеющих стандартные выходы последовательной шины USB, и возможность записи с неё цифровых данных произвольного формата на внутренний носитель информации (электронно-перепрограммируемую постоянную память), актуальной является и задача подтверждения производства имеющейся цифровой аудио-, видеозаписи, либо фиксации изображения на конкретном экземпляре устройства, определения по записи его модели и фирмы-производителя. Аналогией в данном случае является идентификация пишущей машинки по странице отпечатанной на ней на основе имеющегося слепка шрифта, отражающего уникальные особенности литер. В настоящее время известны несколько работ в области идентификации цифровых фотокамер [1,2] на основе отличительных признаков аппаратной и программной части. Цифровой образ, полученный при помощи устройства записи, несёт в себе набор особенностей, сформированных различными узлами тракта записи, что позволяет однозначно идентифицировать принадлежность одному из классов устройств. Помимо успешной идентификации устройства по имеющемуся цифровому образу, данные признаки могут быть использованы для обнаружения факта монтажа. На основе рассмотренных в работах по идентификации признаков можно выделить следующие классы признаков.

1. Признаки аппаратной части — это устойчивые во времени отклонения характеристик сенсора и последующих блоков обработки, включая АЦП, как отдельного устройства. В общем случае признаки сенсора позволяют идентифицировать конкретный экземпляр устройства. В частности для цифровых камер таковыми являются дефекты и отклонения в пределах допусков отдельных светочувствительных элементов, дефекты элементов "обвязки" светочувствительной матрицы в целом и т.д. [1,2].

2. Признаки алгоритмов постобработки. В цифровых камерах алгоритмом постобработки, оказывающим наибольшее алгоритмами постобработки, оказывающими наибольшее влияние на полученное, являются алгоритмы подавления пиксельных дефектов, алгоритмы восстановления изображения из мозаичной структуры сенсора, повышения контурной резкости и шумоподавления.

Не менее актуальной в настоящее время является задача автоматизированной и автоматической идентификации устройств аудиозаписи по сформированному ими цифровому образу. В открытой печати публикации по данной тематике ограничены. Для цифровых микрофонов первой группой признаков являются отклонения от сред-

ней АЧХ микрофона данного типа, внутренние наводки на аналоговую часть, отклонения характеристик АЦП, нестабильность генераторов тактовой частоты и т.д.

Признаки алгоритмов постобработки являются вторым классом признаков. В цифровых микрофонах они могут возникать вследствие применения цифровой обработки в задачах выравнивания АЧХ, подавления эхо-эффекта, адаптивного шумоподавления. В данной работе рассматривалась возможность идентификации цифровых микрофонов, подключаемых при помощи USB-интерфейса. Схема обработки сигнала в цифровом микрофоне приведена на рис. 1.

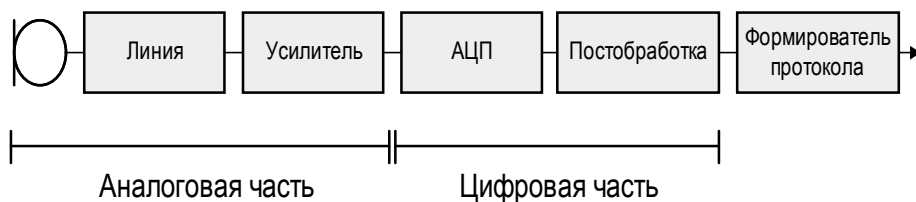


Рис.1. Обработка сигнала в цифровом микрофоне

В первую очередь производился поиск и идентификация стационарных составляющих и их гармоник, возникающих на цифровом участке. Для оценки стационарности применялось преобразование Габора, являющееся видом кратковременного преобразования Фурье (STFT) [3]. Анализируемый участок  $s_a$  речевого сигнала  $S$  разбивался на окна с перекрытием в  $3/4$  длины окна:

$$s_a = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}.$$

$$win_i = \{s_{winlen \cdot (i-1) + 1 + winshift \cdot (i-1)}, s_{winlen \cdot (i-1) + 2 + winshift \cdot (i-1)}, \dots, s_{winlen \cdot (i-1) + winlen + winshift \cdot (i-1)}\}$$

$$winshift = \frac{winlen}{4}, \quad i = 1..N,$$

где  $s_i$  — отсчёты сигнала,  $N$  — количество окон на интервале,  $winshift$  — сдвиг окна на шаге, зависящий от требований к локализации по времени. Перед выполнением ДПФ на выделенное окно накладывается окно Гаусса:

$$w[k+1] = e^{-\frac{1}{2} \left( \alpha \frac{k-N}{N/2} \right)^2},$$

где  $0 \leq k \leq N$ ,  $\alpha \geq 2$ :

$$win^* = win * G$$

$$G = [g \quad g \quad \dots \quad g]'$$

где (\*) — операция поэлементного умножения,

$$g = e^{-\frac{1}{2} \left( \alpha \frac{k-winlen}{winlen/2} \right)^2}, \quad \alpha = 2.5.$$

Результат БПФ  $win * win\_fft$ . Осциллограмма и результирующий двумерный спектр показаны на рис. 2.

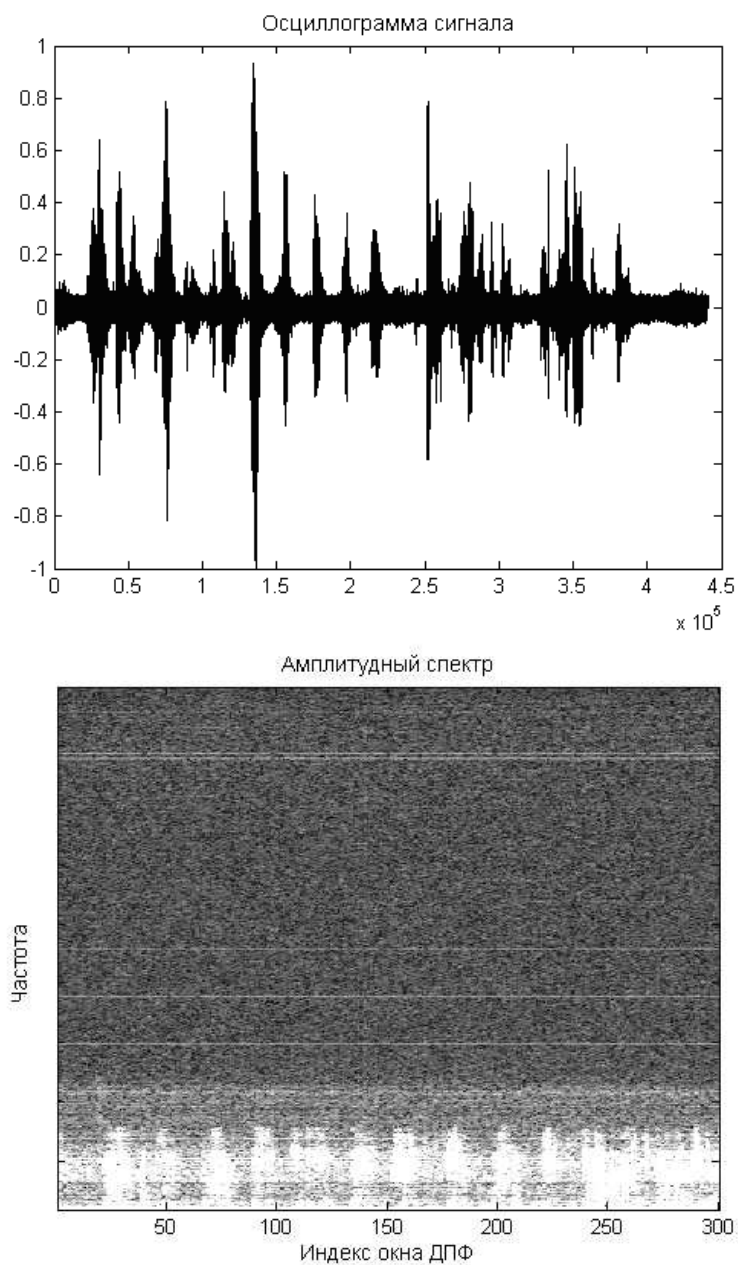


Рис. 2. Осциллограмма и амплитудный спектр  
Сигнала, записанного с USB микрофона

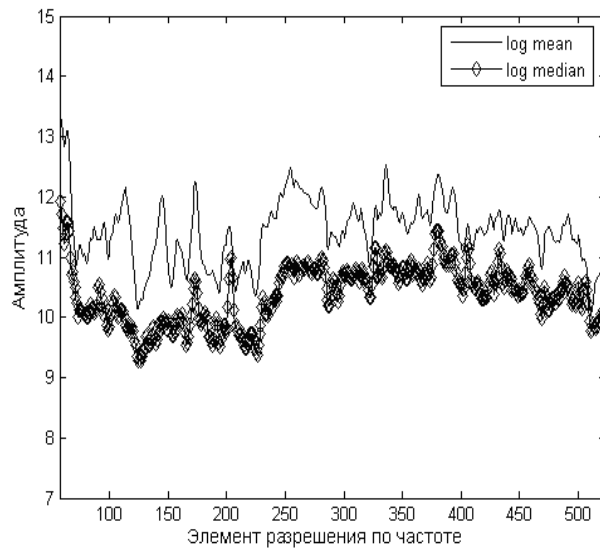
Горизонтальные линии на сонограмме являются гармониками стационарного сигнала. Ввиду стационарности сигналов для их однозначного описания достаточно 2-х величин – амплитуды и фазы.

Для выделения амплитуды сигналов были протестированы поиск экстремумов, среднего значения и медианы по временной оси окон преобразования Габора:

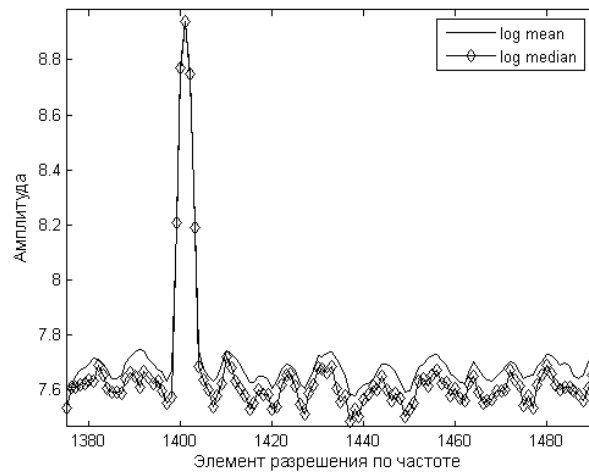
$$\mu(win^*, j) = \frac{\sum_{i=1..N} win^*[i, j]}{N},$$

$$median(win, j) = sort_i(win[i, j])[N/2, j].$$

Наилучшие результаты были получены при использовании оценок среднего и медианного значений, при этом последнее показало большую стойкость при анализе окон сигналов с помехами (речь). Примеры сравнения оценок по среднему и медианному значениям приведены на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Оценки амплитуд гармоник преобразования Габора по среднему и медиане для фрагментов низкочастотной (а) и высокочастотной (б) областей

Для исследования гармоник выделенных пиков в амплитудной области производился анализ также и фазовых компонент. Для этого был сформирован массив фазовых составляющих  $\phi_i^*$ . Для анализа непрерывности фазы целесообразно использовать первую производную развернутой фазы  $\phi_i$ :

$$\phi_i^* = \arctan\left(\frac{\text{Im.}(win\_fft_i)}{\text{Re.}(win\_fft_i)}\right).$$

$$\phi_{U_i}^* = \begin{cases} \phi_i^* & : |\Delta\phi| = |\phi_i^* - \phi_{i-1}^*| \leq \pi \\ \phi_i^* + 2\pi k, & k : |\Delta\phi| = |\phi_i^* + 2\pi k - \phi_{i-1}^*| \leq \pi \end{cases},$$

$$\phi_{\Delta i} = \phi_{U_i}^* - \phi_{U_{i-1}}^*, i = 1..N - 1$$

где  $(.)$  — поэлементная операция.

Пример первой производной фазового спектра и медианные значения первой производной фазы по гармоникам приведены на рис. 4.

Базы звуковых файлов в экспериментах представлены 220 записями в формате WAV PCM, произведённых при помощи 2-х USB-микрофонов.

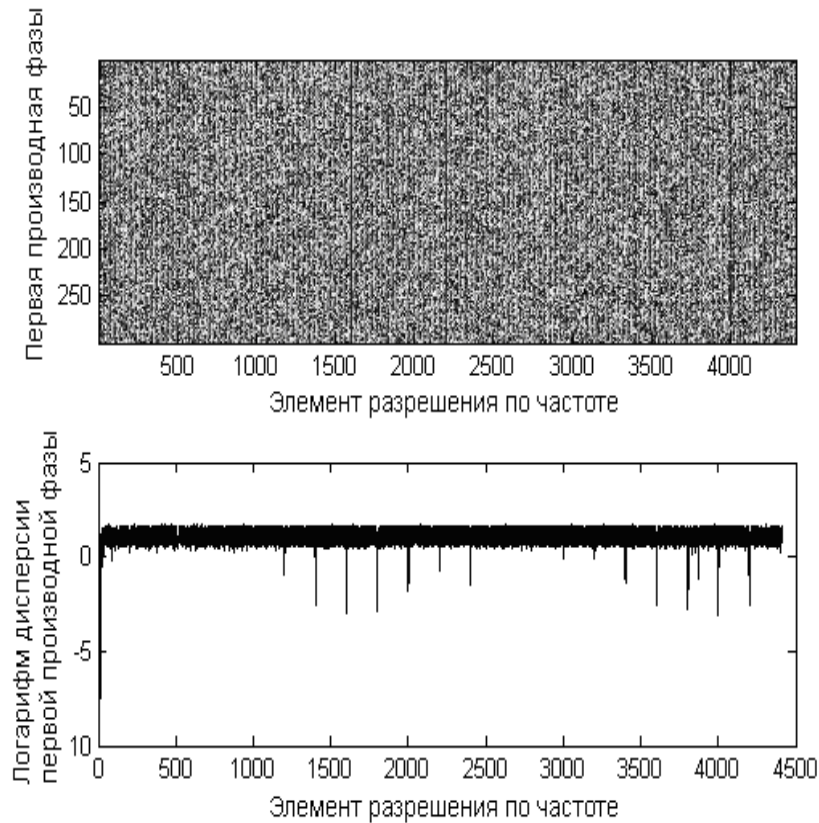


Рис. 4. Первая производная развёрнутой фазы и логарифм среднего значения дисперсии производной развёрнутой фазы

Соответствующие усреднённые значения медиан амплитуд каждой записи и их средние значения после нормирования приведены на рис. 5.

Для оконного преобразования были использованы следующие параметры: длина окна  $winlen = 4410$ , сдвиг окна  $winshift = \frac{winlen}{4}$ , весовое окно — окно Гаусса.

При визуальном анализе можно отметить, что количество и расположение пиков на графике, соответствующем микрофону №2, отлично от графика микрофона № 1.

На графиках присутствуют как общие для обоих микрофонов гармоника, так и отличающиеся.

Общие гармоника №1000 (10000 Гц) с шагом в 200 частотных элементов (2000 Гц).

Количество и расположение пиков отличающихся гармоник для микрофона №1: от 2600 до 3000, от 3800 до 4000, диапазон 1200-1400, 2000, 2200-2400, 2600-3000, 3000, 3600-3800, 4000, 4200-4400.

При проведении экспериментов не было отмечено изменения расположения и количества новых гармоник (для каждого микрофона было протестировано более 300 записей).

В отдельных случаях наблюдался синхронный сдвиг по частоте всех гармоник, вследствие чего при разработке автоматизированного алгоритма построения профиля, а также при идентификации микрофона было применено выравнивание по максимуму по общим максимумам частотных элементов профиля микрофона и восстановленного из анализируемой записи.

Так как в записях, произведённых на исследуемых микрофонах присутствуют стабильные и одинаковые пики по частоте, выравнивание возможно произвести при помощи сдвига на величину смещения пика корреляционной функции профиля микрофона и полученного “отпечатка” из анализируемой записи.

Для компенсации отличающегося уровня шумов профиля микрофона (медианное значение частотных элементов по 100 записям) и полученного с анализируемой записи единичного амплитудного профиля производилось построение двумерной матрицы, в которой строки формировали элементы разрешения по частоте одного порогового уровня, столбцы — элементы, выделенные при различных значениях пороговой величины, а значения ячеек соответствует наличию либо отсутствию пиков при заданном пороговом уровне:

$$lev = med(win) + \alpha \cdot med(\sigma(win)),$$

где  $win$  — выделенное окно сигнала,

$\alpha$  — коэффициент отсчётов окна сигнала,

$\sigma$  — дисперсия отсчётов окна сигнала,

$med$  — медиана отсчётов окна сигнала.

Пример двумерной матрицы пиков микрофона №1 приведён на рис. 6.

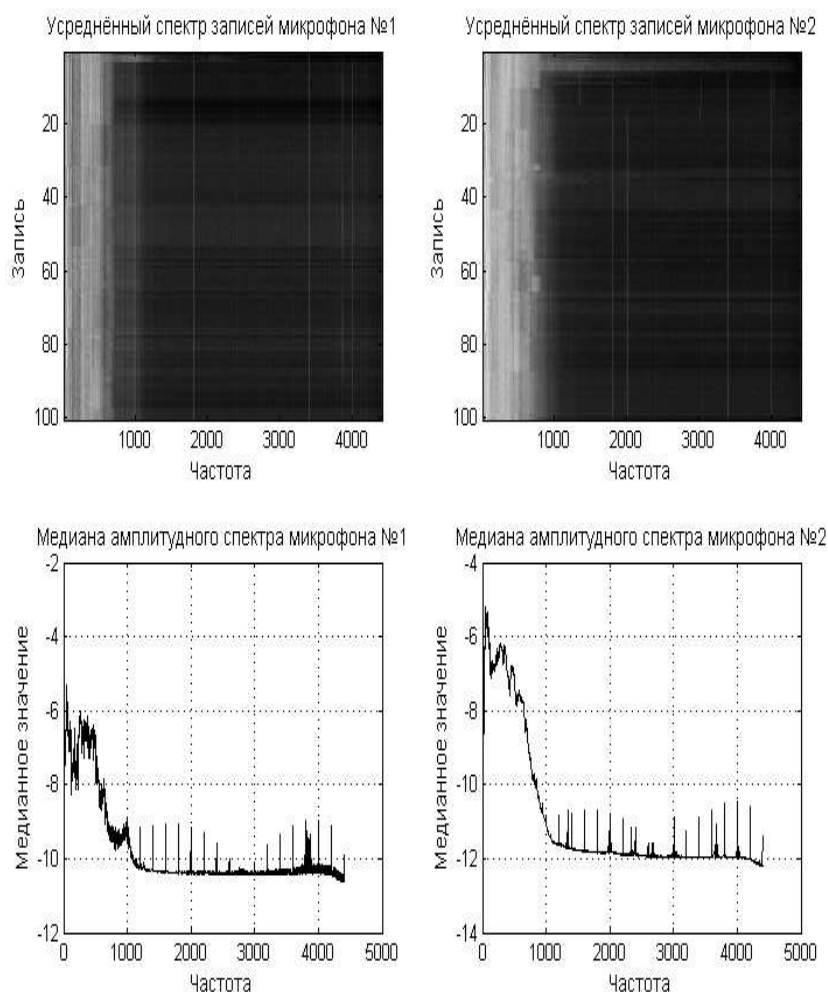


Рис. 5. Усреднённые амплитуды 100 записей (верхние графики) с микрофонов №1 (левый столбец) и микрофона №2 (правый столбец) и медианное значение амплитуд (нижние графики)

При проведении экспериментов использовались значения  $\alpha = 1.5$ ,  $winlen = 30$  при количестве экспериментов 110. Оценка принадлежности рассматриваемого профиля к одному из микрофонов производилась путём вычисления коэффициента двумерной корреляции матрицы профиля микрофона и анализируемого сигнала:

$$res = \frac{\sum_m \sum_n (P_{mic} - \overline{P_{mic}})(P_{rec} - \overline{P_{rec}})}{\sqrt{\left( \sum_m \sum_n (P_{mic} - \overline{P_{mic}})^2 \right) \left( \sum_m \sum_n (P_{rec} - \overline{P_{rec}})^2 \right)}}$$

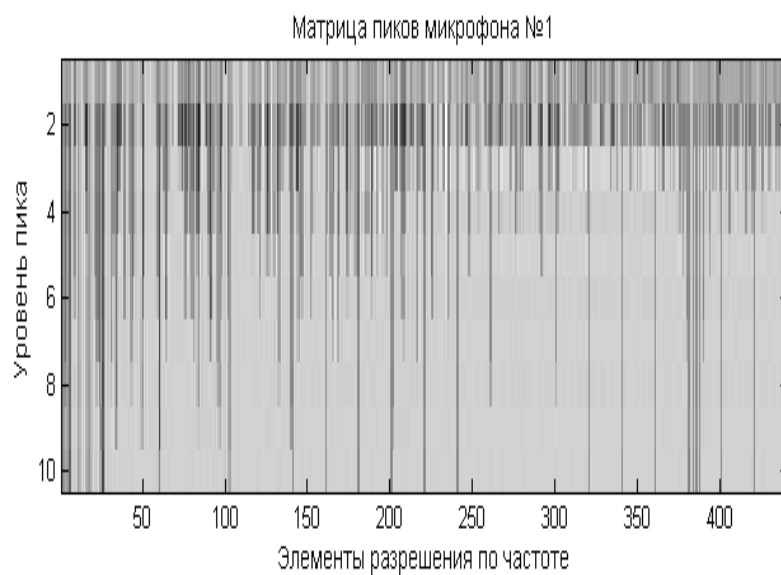


Рис. 6. Матрица пиков микрофона

График полученных значений корреляции для всех возможных сочетаний “профиль микрофона – профиль записи” приведён на рис. 7.

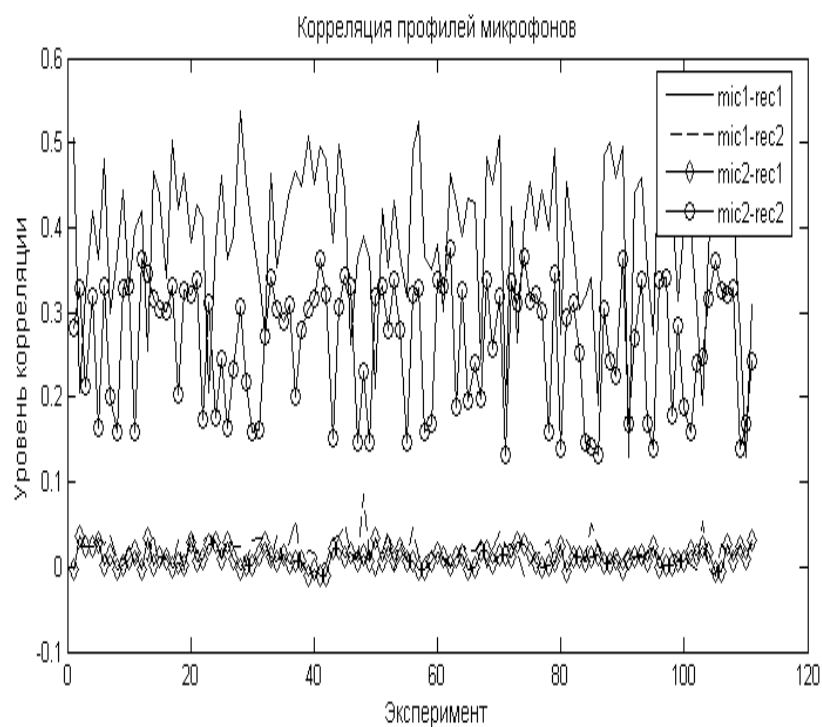


Рис. 7. Коэффициенты корреляции матриц пиков



Значения математического ожидания и дисперсии коэффициентов корреляции приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения математического ожидания и дисперсия коэффициентов корреляции

	№1-№1	№1-№2	№2-№1	№2-№2
$\mu$	0.3893	0.0191	0.0107	0.2637
$D$	0.0080	0.0002	0.0001	0.0056

Полученные значения коэффициента корреляции позволили определить принадлежность каждой из анализируемых записей одному из микрофонов. Несмотря на показанную возможность идентификации микрофонов актуальной остаётся проблема устойчивости применённых методов к цифровой обработке сигнала, в частности к узкополосной фильтрации.

В дальнейшем будут исследованы идентификация на большем количестве микрофонов, включение фазовой составляющей в профиль микрофона и возможность выявления искажений вносимых цифровой обработкой с целью маскировки отличительных признаков.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 05-07-90372  
07-07-00138-а

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kharrazi, M., Sencar, H. T., and Memon, N.: "Blind Source Camera Identification", Proc. ICIP' 04, Singapore, October 24–27, 2004.
2. Lukáš J., Fridrich J., and Goljan M.: "Determining Digital Image Origin Using Sensor Imperfections", Proc. SPIE Electronic Imaging, Image and Video Communication and Processing, San Jose, California, pp. 249–260, January 16–20, 2005.
3. Дворянкин С.В. О технологии речевой подписи в системах охраны и безопасности. // Тезисы докладов VI Международной конференции "Информатизация правоохранительных систем". – М., Академия управления МВД России. Ч.2. 1997.