

ВЕЙВЛЕТ-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ШУМООЧИСТКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

А.В. Бабурин, Л.А. Глущенко, А.М. Корзун

Шумоочистка играет важную роль при оценке эффективности защиты объектов от несанкционированного доступа к речевой информации по оптико-электронным каналам. В работе оценивается эффективность использования шумоочистки речевых сигналов на основе применения вейвлет-анализа. Качество речевой информации, полученной по оптико-электронным каналам несанкционированного доступа, как правило, очень низкое, поэтому вопросы шумоочистки для этих каналов весьма актуальны. Приведено описание таких каналов. Экспериментальная проверка возможности применения вейвлет-анализа для шумоочистки речевых сигналов проведена с помощью лабораторной установки, которая предназначена для физического моделирования аппаратуры регистрации лазерного излучения, отраженного от поверхности, вибрирующей под воздействием речевого акустического сигнала. Показано, что применение вейвлет-анализа для шумоочистки сигналов позволяет существенно повысить эффективность оптико-электронных каналов несанкционированного доступа к речевой информации.

Ключевые слова: оптико-электронный канал, несанкционированный доступ, речевая информация, вейвлет-анализ, словесная разборчивость речи.

Оптико-электронные каналы несанкционированного доступа к речевой информации

При выполнении оценки эффективности защиты объектов от несанкционированного доступа к речевой информации важно получить максимально высокое качество зарегистрированного сигнала. В этой связи большую роль играет применение шумоочистки сигналов.

Следует отметить, что бурное развитие оптико-электронной техники создало предпосылки для реализации трех вариантов получения доступа к речевой информации с помощью оптико-электронных устройств.

Во-первых, это хорошо известный принцип формирования канала доступа к речевой информации с помощью так называемого «лазерного микрофона». Суть его заключается в следующем. Некоторые поверхности (окно, зеркало, элемент интерьера и пр.) могут вибрировать под воздействием акустического сигнала. Если такая поверхность облучается лазерным лучом, отраженный от этой поверхности сигнал может регистрироваться оптико-электронным прибором. В этом случае отраженный сигнал оказывается промодулированным информативным

речевым сигналом. Модуляция может быть как амплитудной, так и фазовой или частотной. Любой из этих видов модуляции может быть использована для извлечения речевой информации.

Второй вариант основан на использовании обработки спекл-структур, формирующихся при отражении лазерного излучения от вибрирующих поверхностей [1].

Для решения задач оценки эффективности несанкционированного доступа к речевой информации целесообразно рассматривать случай нормально-развитой спекл-картины, которая формируется при освещении когерентным пучком значительной области оптически очень шероховатой поверхности. Статистические свойства нормально-развитой спекл-картины не зависят от детальных характеристик микрорельефа поверхности. Отметим, что влияние степени когерентности освещающего излучения на контраст спекл-картины рассматривалось в [2]. Можно показать, что движение спеклов воспроизводит в некотором масштабе движение тела и происходит вдоль некоторой траектории. На этой особенности и строится возможность вибродиагностики и

восстановления речевой информации по регистрации движения спеклов.

Сообщение о третьей возможности появилось не так давно. Она основана на пассивном дистанционном восстановлении информации звукового диапазона частот в виде записанной речи с использованием высокоскоростных фотоприемных устройств формирования изображения (видеокамер) [3]. В этом случае используется прием восстановления звука из видеопотока. Результат не зависит от специально организованной подсветки. Звук попадает на объект и вызывает очень малые вибрации этого объекта. Современные технические и программные средства позволяют выделить эти малые вибрации из высокоскоростного видеопотока и восстановить звук, который их вызвал. Известен ряд работ по увеличению и визуализации таких малых движений.

Шумоочистка речевых сигналов

Следует отметить, что качество речевой информации, полученной непосредственно по оптико-электронным каналам, как правило, очень низкое, что характерно для всех трех описанных выше вариантов. Это связано с нелинейным искажением полезной информации, которая поступает в эти каналы. Проблема шумоочистки и увеличения отношения сигнал/шум в этих случаях является весьма важной задачей. Качество речевой информации характеризуется таким

параметром, как словесная разборчивость речи. Для улучшения качества речевой информации используют фильтрацию сигнала, чаще всего основанную на применении Фурье-анализа, разложении сигнала в спектр и подавлении (фильтрации) отдельных спектральных составляющих. Для повышения качества и разборчивости речи до уровня, приемлемого для комфортного прослушивания и понимания целесообразно применять процедуру шумоочистки.

В отличие от Фурье-анализа вейвлет-анализ позволяет разработать более гибкие процедуры шумоочистки, поскольку выбор вейвлетов более широк и разнообразен. Это позволяет выбрать форму вейвлета наиболее приближенную к форме сигнала.

На рис. 1, 2 приведены варианты двух широко распространенных вейвлет-функций: вариант 1 – вейвлет-функция Морле; вариант 2 – вейвлет-функция «Мексиканская шляпа».

Процедура вейвлет-анализ проводится в следующем порядке: выбирается материнский вейвлет и начальный масштаб, затем производится сдвиг выбранного вейвлета вдоль всего сигнала и выполняется сравнение с сигналом. Так в частотно-временной области получается строка коэффициентов. Далее процедура повторяется после растяжения или сжатия выбранного вейвлета.

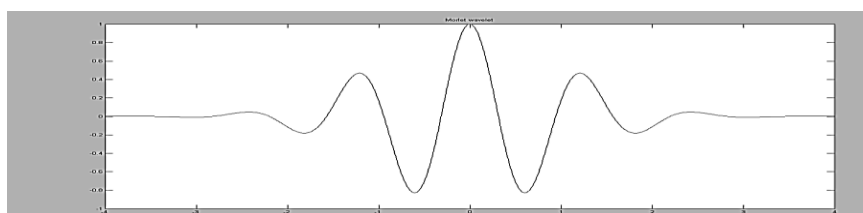


Рис. 1. Вариант 1

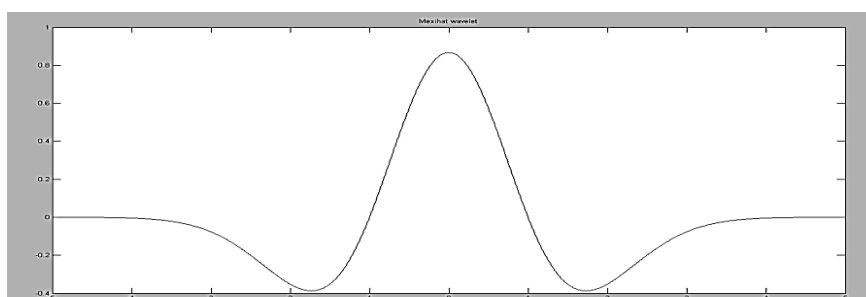


Рис. 2. Вариант 2

В настоящей работе использована процедура шумоочистки, основанная на применении вейвлет-анализа, показано, что это позволяет значительно повысить словесную разборчивость речи. Проверка этого подхода проводилась на зашумленных речевых сигналах.

Процедура обработки зашумленного речевого сигнала разработана в среде Matlab, она включает следующие манипуляции. Проводится выбор вида вейвлета и разложение сигнала до некоторого уровня N . Для каждого уровня выполняется пороговая обработка коэффициентов. После этого проводится восстановление сигнала.

Здесь приведем примеры использования этого подхода. Наглядно результат шумоочистки легко показать на примере обработки зашумленного тонального сигнала, полученного с помощью математического моделирования.

Был использован программный пакет

Power Graph (сигнальный редактор), предназначенный для обработки сигналов. С помощью этого инструмента генерировался тональный сигнал, белый шум и строилась смесь сигнала с шумом.

На рис. 3 показаны сгенерированные сигналы: 1 канал – тональный сигнал на частоте 900 Гц (нижний график); 2 канал – белый шум (верхний график).

Затем эти два сигнала (полученные в виде 2-х числовых файлов) накладывались друг на друга (смешивались) чтобы получить смесь сигнала с шумом. Смесь сигнала с шумом показана на рис. 4.

Записанный файл смеси сигнала с шумом обрабатывался с помощью программного модуля шумоочистки, написанного в среде Matlab. На рис. 5 приведены результаты обработки тонального сигнала после шумоочистки.

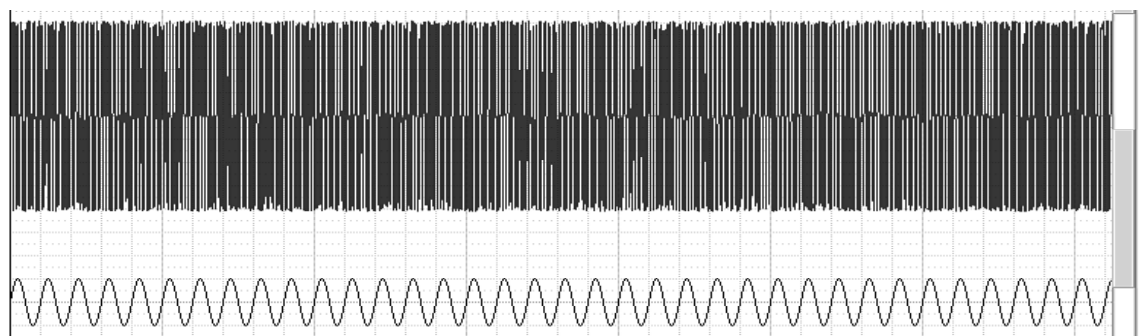


Рис. 3. Запись белого шума (верхняя зависимость) и тонального сигнала на частоте 900Гц (нижняя зависимость)

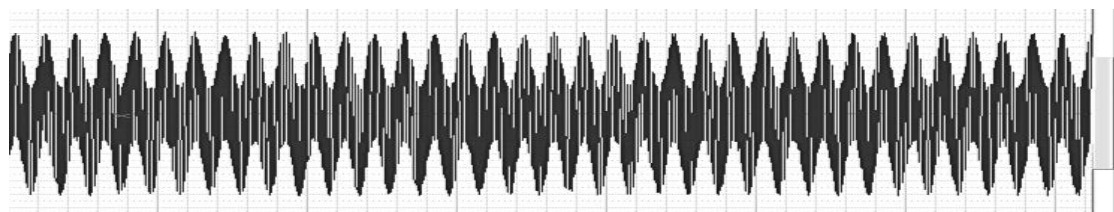


Рис.4. Смесь тонального сигнала и белого шума.

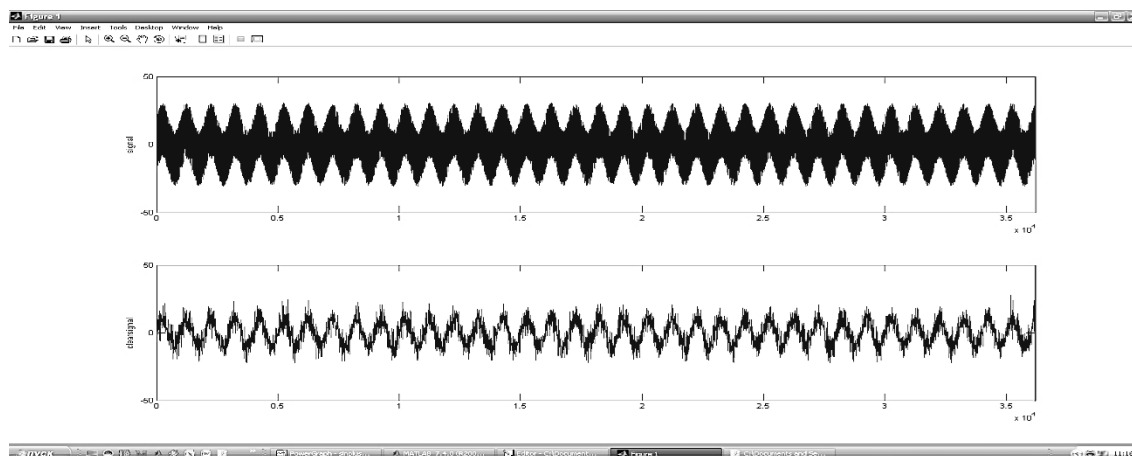


Рис. 5. Результаты обработки. Верхняя зависимость – смесь сигнала с шумом; нижняя – результат шумоочистки

Этот результат наглядно показывает возможности вейвлет-анализа для выполнения шумоочистки.

Экспериментальная проверка эффективности выполнения шумоочистки речевого сигнала на основе вейвлет-анализа

Для экспериментальной проверки эффективности метода, основанного на вейвлет-анализе, применительно к шумоочистке речевого сигнала, зарегистрированного с помощью оптоэлектронного канала доступа к информации была использована лабораторная установка. Установка предназначена для физического моделирования аппаратуры регистрации лазерного излучения, отраженного от поверхности, вибрирующей под воздействием речевого акустического сигнала.

Схема установки показана на рис. 6. Аппаратур позволяет регистрировать амплитудную модуляцию отраженного излучения.

Установка включает в себя:

- твердотельный лазерный модуль с диодной накачкой, модель LCM – Т – 112 (длина волны излучения $\lambda = 1,06$ мкм, ближний ИК-диапазон) (рис. 7);
- фотоприемное устройство с модулем АЦП/ЦАП (рис. 8, а);

– Объектив «Индустар-61Л/3-М3» (рис. 8, б);

- Персональный компьютер;
- Дополнительный лазерный излучатель для визуализации, настройки и юстировки (длина волны излучения $\lambda = 0,63$ мкм, видимый диапазон).

На рис. 9 показан тестовый акустический речевой сигнал, на рис. 10 – зарегистрированный на установке сигнал до и после шумоочистки.

Критерием эффективности метода шумоочистки является повышение словесной разборчивости речи.

Для определения качества речевого сигнала была применена модель разборчивости речи, предложенная в [4]. В этой модели разборчивость реализации речевого сообщения является монотонно невозрастающей функцией среднеквадратического отклонения реализации выходного речевого сигнала от входного. В соответствии с этой моделью вычисляется коэффициент корреляции переданного $S_{вх}(t)$ и зарегистрированного $S_{вых}(t)$ сообщения $R_{вх,вых}(\tau)$, позволяющий определить коэффициент разборчивости речи $K_p = G_n R_{вх,вых}^2(0)$ и словесную разборчивость речи W как функцию K_p . Здесь G_n – множитель, учитывающий медленно меняющиеся условия восприятия речи.

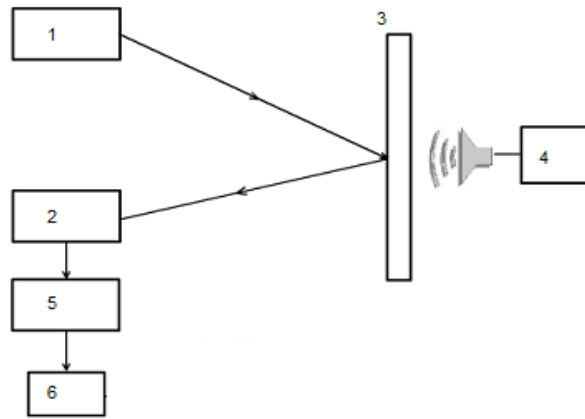


Рис. 6. Структурная схема установки, работающей в режиме прямого фотодетектирования.
 1 – лазерный излучатель; 2 – фотоприемное устройство; 3 – оконное стекло; 4 – источник речевых сигналов;
 5 – электронный блок регистрации и обработки речевой информации на базе ПК; 6 – программное обеспечение.



Рис. 7. Лазерный излучатель



а)



б)

Рис. 8. Фотоприемное устройство с аналого-цифровым преобразователем
 а) фотоприемное устройство на основе фотодиода ФД117, сопряженное с модулем АЦП/ЦАП Е14-440 (фирмы L-CARD); б) Объектив «Индустар-61Л/3-МЗ»

Переданный (тестовый) сигнал (см. рис. 9) и зарегистрированный сигнал (рис. 10) были записаны на ПК в цифровом виде с помощью аналогово-цифрового преобразователя (Модуль АЦП/ЦАП Е14-440). После обработки сигналов с помощью

программного обеспечения Power Graph вычисляется коэффициент корреляции переданного $S_{вх}(t)$ и зарегистрированного $S_{вых}(t)$ сообщения $R_{вх,вых}(0)$.

Процедура определения словесной разборчивости речи следующая.

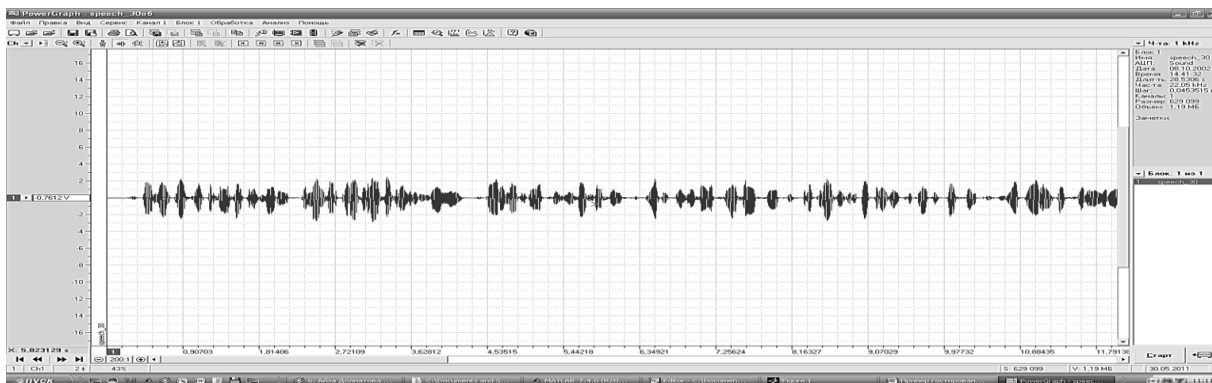


Рис. 9. Осциллограмма тестового речевого акустического сигнала $S_{сх}(t)$.

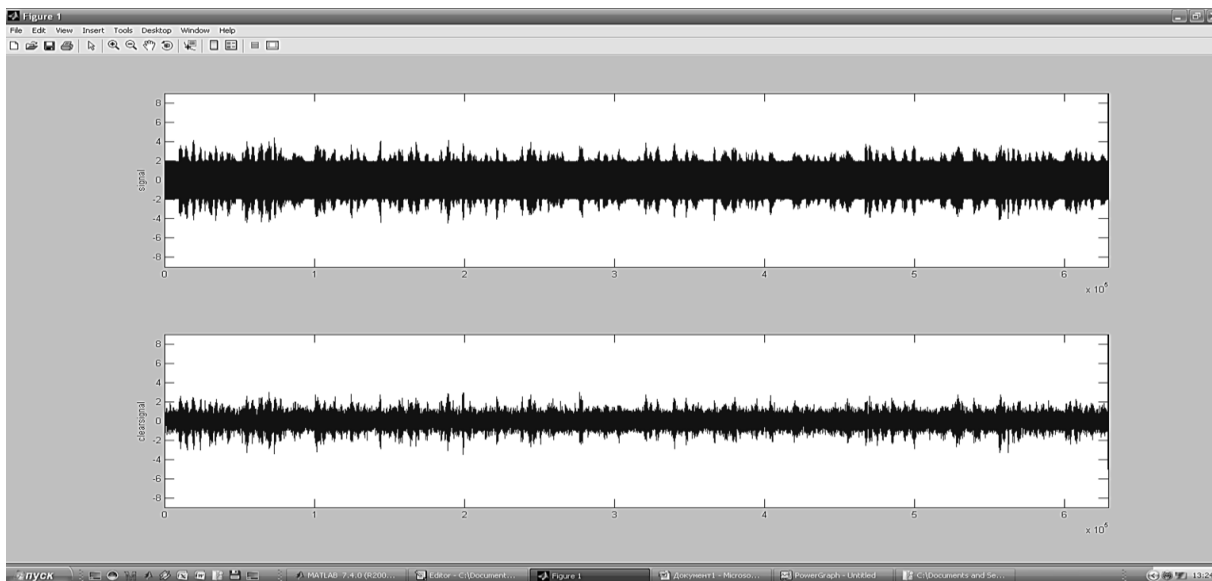


Рис. 10. Результаты шумоочистки. Верхняя зависимость – осциллограмма зарегистрированного сигнала до шумоочистки $S_{сх}(t)$; нижняя зависимость – осциллограмма сигнала после шумоочистки.

Вычисляется $K_p = G_n R_{сх,вых}^2(0)$. Здесь – $G_n = 1 - \exp(-225/B)$ множитель, учитывающий медленно изменяющиеся условия восприятия речи. B , дБ – уровень речевого сигнала в

полосе частот 100 – 10000 Гц. Речь со средним уровнем характеризуется значением $B = 70$ дБ. Словесная разборчивость речи вычисляется по формуле:

$$W = \begin{cases} 1,54 K_p^{0,25} [1 - \exp(-11 K_p)], & \text{если } K_p < 0,15 \\ 1 - \exp\left(-\frac{11 K_p}{1 + 0,7 K_p}\right), & \text{если } K_p \geq 0,15 \end{cases}.$$

Были получены следующие результаты:

- словесная разборчивость речи до шумоочистки $W=0,5$;
- словесная разборчивость речи после шумоочистки $W=0,8$.

Заключение

В работе оценивается эффективность использования шумоочистки речевых сигналов на основе применения вейвлет-анализа. Качество речевых сигналов, полученных по оптико-электронным каналам несанкционированного доступа к

информации, как правило, очень низкое, поэтому вопросы шумоочистки для этих каналов весьма актуальны. Приведено краткое описание таких каналов.

Проведены экспериментальные исследования по выполнению шумоочистки речевых сигналов на основе вейвлет-технологии. Речевые сигналы получены на лабораторной установке физического моделирования аппаратуры регистрации лазерного излучения, отраженного от поверхности, вибрирующей под воздействием речевого акустического сигнала.

Показано, что применение вейвлет-анализа для шумоочистки сигналов позволяет существенно повысить эффективность оптико-электронных каналов несанкционированного доступа к речевой информации.

В рассмотренных случаях применение вейвлет-анализа для шумоочистки позволило повысить словесную разборчивость речи зарегистрированных сигналов от уровня 0,5 до уровня 0,8. В ряде случаев в результате шумоочистки словесная разборчивость речи была повышена от уровня 0,4 (понятен общий смысл речи) до уровня 0,9 (обеспечивается полное понимание содержания).

На основе выполненного эксперимента можно сделать вывод о том, что при оценке эффективности защиты объектов от несанкционированного доступа к речевой информации по оптико-электронным каналам целесообразно использовать процедуру

шумоочистки сигналов на основе вейвлет-технологии.

Список литературы

1. Пат. 447410 С2 Российская Федерация, МПК G01H 9/00. Устройство для дистанционного измерения вибрационных параметров объекта/ В.С. Макин, Ю.И.Пестов, Л.А. Глущенко; заявитель и патентообладатель: Ленинградская область, от имени которой выступает Государственное учреждение «Агентство экономического развития Ленинградской области».- заявл. N 2010121916/28 21.05.2010; опубл. 10.04.12. Бюл. №10.– 13с.
2. Бабурин А.В. Влияние степени когерентности на вероятность обнаружения диффузно-отраженного излучения, вышедшего из окна помещения / А.В. Бабурин, Л.А. Глущенко, Ф.А. Запрягаев // Информация и безопасность. 2015. Т. 18, ч.2. С.286-289.
3. Devis A., Rubinstein M., Wadhwa N., Mysore G., Durand F., Freeman W.T.. The visual microphone: passive recovery of sound from video. URL: http://people.csail.mit.edu/mrub/papers/VisualMic_SIGGRAPH2014.pdf (дата обращения: 22.12.2022).
4. Колесников А.А. Корреляционная теория разборчивости речи/ А.А. Колесников, В.Ф. Комарович, В.К. Железняк // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. 1995. №2. С.3-10.

Воронежский государственный технический университет
Voronezh State Technical University

Научно-исследовательский институт электронного приборостроения
Scientific Research Institute for optoelectronic instrument engineering

Поступила в редакцию 20.01.2023

Информация об авторах

Бабури́н Александр Вилья́мович – д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, e-mail: Mr.bav49@mail.ru

Глу́щенко Лариса Александровна – канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт электронного приборостроения, e-mail: Gla2016@rambler.ru

Корзу́н Александр Михайлович – начальник сектора, Научно-исследовательский институт электронного приборостроения, e-mail: korzunam@nioep.ru

**THE USE OF WAVELET TECHNOLOGIES FOR NOISE CLEANING OF SIGNALS
IN OPTICAL-ELECTRONIC CHANNELS OF UNAUTHORIZED ACCESS
TO SPEECH INFORMATION**

A.V. Baburin, L.A. Glushchenko, A.M. Korzun

Noise cleaning plays an important role in assessing the effectiveness of protecting objects from unauthorized access to speech information. The paper considers the possibility of using noise cleaning of speech signals based on the use of wavelet analysis. The quality of speech information received by optical-electronic channels of unauthorized access is usually very low. Noise reduction issues for these channels are very relevant. The description of such channels is given. An experimental verification of the possibility of using wavelet analysis for noise cleaning of speech signals was carried out using a laboratory setup designed for physical modeling of equipment for recording laser radiation reflected from the surface vibrating under the influence of a speech acoustic signal. It is shown that the use of wavelet analysis for noise cleaning of signals can significantly increase the efficiency of channels for optoelectronic channels of unauthorized access to speech information.

Keyword: optical-electronic channel, unauthorized access, speech information, wavelet analysis, verbal intelligibility.

Submitted 20.01.2023

Information about the authors

Alexandr V. Baburin – Dr. Sc. (Technical), Professor, Voronezh State Technical University, e-mail: Mr.bav49@mail.ru

Larisa A. Glushchenko – Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Leading Researcher, Scientific Research Institute for optoelectronic instrument engineering, e-mail: Gla2016@rambler.ru

Alexandr M. Korzun – Head of Sector, Scientific Research Institute for optoelectronic instrument engineering, e-mail: korzunam@nioep.ru.