

ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ В АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ*

А.С. КАРАУШ

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры вычислительной техники. E-mail: karaushalexander@yandex.ru

В работе рассмотрены основные проблемы в области защиты речевой информации от утечек по акустоэлектрическому каналу. Целью статьи является обзор и анализ методов повышения разборчивости речи. В работе описаны основные методы шумоподавления и реконструкции сигналов, которые применяются для повышения качества речевых сигналов, искаженных помехами и шумом. К ним относятся методы фильтрации шумоподобных и речеподобных помех, компенсация искажений, которые возникают в процессе записи сообщений, реконструкция речевого сообщения за счет оценки параметров образования речи, а также использование нейросетевых технологий на основе машинного обучения для семантической обработки искаженных текстов с целью предугадать поведение модели речевого сигнала. В статье приведены модели пассивного и активного акустоэлектрических каналов утечки речевой информации, описаны составы программно-аппаратных комплексов для проведения анализа речевого сигнала. Проведен анализ возможностей технических средств и методов, которые потенциально могут быть использованы нарушителем при ведении речевой разведки в акустоэлектрическом канале утечки речевой информации с возможностью улучшения качества исходного речевого сигнала в дальнейшем. Описаны критерии оценки защищенности речи, основанные на универсальном подходе анализа сигналов, для каждого из основных шагов процесса шумочистки. Рассмотрены основные виды искажений. Описаны характер и степень влияния различных видов искажений на показатели оценки защищенности речевой информации, в частности линейных и нелинейных. Анализируется степень влияния инструментальных и методических косвенных погрешностей на основной критерий оценки защищенности речевой информации – коэффициент словесной разборчивости.

Ключевые слова: модель пассивного акустоэлектрического канала утечки информации, модель активного акустоэлектрического канала утечки информации, модель нарушителя, оценка защищенности акустоэлектрического канала утечки информации, методы повышения разборчивости речи, критерии оценки защищенности речевой информации, речевая разведка, фильтрация помех, линейные искажения, нелинейные искажения, словесная разборчивость, погрешность косвенных измерений

* Статья получена 20 ноября 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Акустоэлектрические каналы утечки информации возникают из-за преобразования информативного сигнала из акустического в электрический в электрических элементах вспомогательных технических средств и систем (ВТСС).

Пассивный акустоэлектрический канал образуется в результате перехвата акустических колебаний, который может быть осуществлен путем подключения специальных высокочувствительных низкочастотных усилителей к соединительным линиям ВТСС, обладающих микрофонным эффектом. Микрофонный эффект – это нежелательное явление, при котором часть электрической цепи воспринимает звуковые колебания и вибрацию аналогично микрофону.

Активный акустоэлектрический технический канал утечки информации образуется путем несанкционированного введения токов высокой частоты от соответствующего генератора в линии, имеющие функциональные связи с нелинейными или параметрическими элементами ВТСС, на которых происходит модуляция высокочастотного сигнала информационным.

В методе высокочастотного навязывания путем электроакустического преобразования акустических сигналов в электрические появляется информационный сигнал в данных элементах ВТСС. Нелинейные или параметрические элементы ВТСС для высокочастотного сигнала в основном являются несогласованной нагрузкой. Поэтому промодулированный высокочастотный сигнал будет отражаться от данных элементов, а затем излучаться или распространяться обратно по линии. Для приема таких отраженных или излученных сигналов используются специальные высокочувствительные приемники.

Для России основной критерий оценки защищенности речевой информации – это коэффициент словесной разборчивости W . Основная задача сводится к измерению напряжений шумов и смеси полезного сигнала и шума на выходе из ВТСС в речевом диапазоне частот.

Для оценки разборчивости речи в основном используется расчетно-экспериментальный метод Покровского Н.Б., который был адаптирован Хоревым А.А., Желязняком В.К., Макаровым Ю.К. [1].

Применение данного метода для решения конкретных практических задач регламентировано соответствующими методиками. Например, для оценки качества трактов связи применяется ГОСТ 8031–78 [2]; для оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам – методика [3].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важные факторы, которые могут повлиять на точность и достоверность оценок защищенности речевой информации:

- определение возможностей соответствующей модели нарушителя [4];
- оценка характера и степени влияния искажений на словесную разборчивость;
- проблема выбора адекватных тестовых сигналов, предназначенных для определения характеристик и измерений значимых параметров опасных сигналов;
- метрологические аспекты при выполнении измерительных процедур [5].

В основном технически сложные и многофункциональные комплексы разведки включают в себя средства звукозаписи, позволяющие фиксировать и усиливать перехваченные сообщения. Благодаря этому можно в полной мере использовать преимущества режима отложенного анализа речевого сигнала. К примеру, можно прослушивать сообщения множество раз, что дает возможность применения контекстного и компьютерного анализа (например, системы распознавания речи в автоматическом режиме) [6]. Методы коррекции, реконструкции и шумопонижения речевого сигнала позволяют в значительной мере улучшить качество исходных сообщений, а это, в свою очередь, необходимо учитывать при оценках защищенности речевой информации [7].

В акустоэлектрическом канале одноканальные асинхронные системы шумопонижения, будь то адаптивные, медианные или узкополосные фильтры, а также методы спектрального вычитания, более эффективны, чем многоканальные системы [8, 9].

2. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ

Относительно акустоэлектрических каналов утечки информации применимы следующие способы восстановления разборчивости речевых сообщений [4].

1. Фильтрация шумоподобных и речеподобных помех.

В основном используется для защиты от активных искажений, при наличии помех в полезном аудиосигнале. Недостатком является то, что не только подавляются помехи, но и снижается уровень информативного сигнала. В алгоритмах адаптивной фильтрации помех параметры фильтра могут меняться вместе с изменяющимися характеристиками сигнала и шума. Адаптив-

ные фильтры предназначены для компенсации в речевом сигнале достаточно узкополосных помех. Данные помехи могут возникать из-за трансформаторных шумов, шумов механизмов, наводки от сети электропитания. Медианный фильтр представляет собой оконный фильтр, последовательно скользящий по массиву сигнала.

Данный вид фильтрации осуществляет замену значений отсчетов в центре апертюры медианным значением исходных отсчетов внутри апертюры фильтра. Узкополосный фильтр усиливает сигналы около одной частоты, на других участках спектра происходит резкий спад коэффициента усиления.

Разборчивость речи при воздействии на нее широкополосного шума можно улучшить, если совместно с фильтрацией применять нормализацию, так как она увеличивает относительную амплитуду важных для разборчивости, но имеющих слабую мощность согласных звуков. Это позволяет уменьшить их маскирование помехами или более громкими гласными.

2. Компенсация искажений, которые возникают в процессе записи сообщений. Зная тип помехи, можно добиться сохранения большей части информации о спектре информативного сигнала. Данный метод может быть осуществлен на основе вычитания спектра. Но он является достаточно эффективным, только если возможно достаточно точно оценить спектральный состав помехи, т. е. если помеха является стационарной. Но даже в таком случае вследствие вычитания спектра в полосе частот, занимаемой помехой, наблюдается искажение сигнала. Компенсация искажений не позволяет подавлять импульсные помехи. Несмотря на все минусы, данный метод широко распространен в задачах оценки защищенности речевого сигнала [10].

Нелинейные искажения в большинстве случаев образуются из-за наличия активных элементов электрических цепей с нелинейными вольтамперными характеристиками. Время адаптации человеческого слухового восприятия к нелинейным искажениям 10...30 мс, тем самым уменьшается влияние искажений. В основном в акустоэлектрическом канале утечки информации присутствуют нелинейные искажения. Они слабо влияют на снижение речевой разборчивости.

Линейные искажения включают в себя нежелательные изменения соотношений между амплитудами частотных составляющих сигналов при передаче его по тракту, так как фазовые соотношения незначительно влияют на восприятие акустического сигнала.

Линейные искажения возникают из-за наличия пассивных элементов электрических цепей, имеющих линейные вольтамперные характеристики. К ним относятся, например, конденсаторы и трансформаторы. Волновые эффекты также оказывают влияние, особенно в системах звукоусиления.

Что касается акустоэлектрического канала утечки речевой информации, в основном линейные искажения возникают в механоэлектрических звеньях соответствующих акустоэлектрических преобразователей. В соединительных проводных линиях их меньше, так как данные линии имеют меньшую длину. В тракте звукозаписывающей аппаратуры разведывательных комплексов они практически отсутствуют.

Линейные искажения слабо влияют на искажения в речевой разборчивости. Искажения, которые появились из-за неравномерности АЧХ передаточного тракта, практически не оказывают влияния на речевую разборчивость. В музыкальной акустике принято считать, что пики и провалы АЧХ с шириной не более $1/8$ октавы на слух неразличимы.

Высокие уровни неравномерности АЧХ меняют тембр речевого сигнала и практически не снижают речевую разборчивость.

3. Реконструкция речевого сообщения за счет оценки параметров образования речи.

Если в качестве модели речевого сигнала можно использовать линейную систему, то в данном случае может быть применима модель линейного предсказания речи. В таком случае можно предполагать о линейности передаточной функции речевого тракта в модели речевого сигнала.

Точность вычисления коэффициентов линейного предсказания с дальнейшей реконструкцией информационного сигнала понижается, если обрабатывать сигнал с высоким уровнем шума.

Так как человек произносит разные звуки, то передаточной функции линейной системы свойственно меняться во времени. Из-за ограничений к такой линейной системе можно применить упрощенную модель речевого сигнала, в которой параметры меняются медленно и в интервале времени 10...25 мс она аппроксимируется стационарной системой.

Данную модель можно применить в задачах сжатия спектров речевого сигнала, синтеза речи, а также при очистке речи [10].

Больше всего выигрыш в разборчивости удастся получить в случае, если отношение сигнал/шум составляет менее 7 дБ. При увеличении данного соотношения процессы, возникающие в паузах и переходных участках между звуками, вызывают появление шума, который коррелирует с речевым сигналом. Вследствие того, что порог, ниже которого речь становится неразборчивой, находится в диапазоне значений отношения сигнал/шум 5...0 дБ, то применение адаптивную фильтрацию в таком случае более эффективно.

4. Использование нейросетевых технологий на основе машинного обучения для семантической обработки искаженных текстов с целью предугадать поведение модели речевого сигнала.

Принцип работы искусственной нейронной сети по шумоочистке речевого сигнала следующий. Используется два подмассива: один из них содержит исключительно спектр шума, в второй включает в себя совокупность сигнала и шума. Нейронная сеть для своего функционирования использует два этапа: первый – этап обучения, второй – этап обработки [13].

На этапе обучения следует использовать подмассив, который включает в себя только шум.

Вводится два окна: окно с входными данными длиной k отсчетов и окно с целевыми данными длиной m отсчетов. На выходе нейронной сети появляется сигнал N' . Нейронная сеть обучается предсказывать значение точки за пределами окна с входными данными на основе попавших в него точек. Далее вводится величина V , она высчитывается как разность значений целевого окна и выходных значений [14].

Если нейронная сеть обучилась достаточно точно предсказывать поведение шума, то в таком случае $N = N'$, а $V = 0$, но вследствие того, что шум является случайным процессом, значения которого могут быть распределены по нормальному закону, то тогда нейронная сеть не сможет делать абсолютно точные предугадывания. Но на основе статистических данных, которые она получила, может предсказать следующее наиболее вероятное значение. В результате выходная величина V является ошибкой прогнозирования, также она представляет собой шум.

На этапе обработки используется подмассив, который включает в себя шум и полезный сигнал. Но на данном этапе используется только одно окно с входными данными. Вследствие того, что в процессе обучения сеть научилась предсказывать лишь случайную составляющую, исходный речевой сигнал будет претерпевать незначительные изменения [13]. В итоге на выходе сети будет получена совокупность ошибки экстраполяции входного вектора шума и информационного сигнала.

3. МОДЕЛИ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАНАЛА УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ

Модели пассивного и активного акустоэлектрических каналов утечки информации представлены на рис. 1 и 2.

Программно-аппаратные комплексы (ПАК) в большинстве случаев включают в себя селективный нановольтметр [15] и персональный компьютер, также в их состав могут входить средства отложенного анализа.

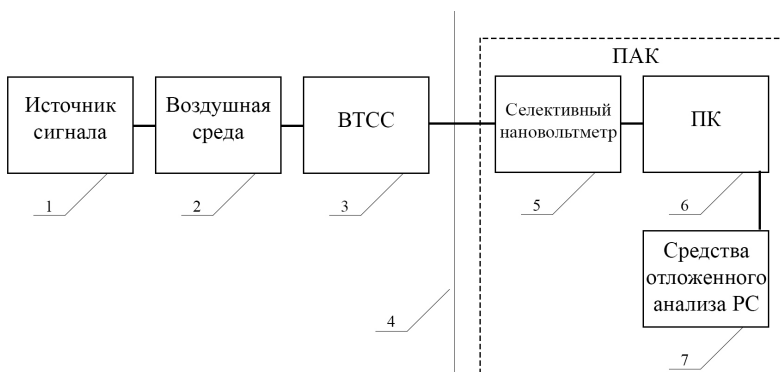


Рис. 1. Модель пассивного акустоэлектрического канала утечки информации:

1 – источник акустического сигнала (динамик или человек); 2 – воздушная среда; 3 – вспомогательные технические средства и системы, обладающие микрофонным эффектом; 4 – граница контролируемой зоны; 5 – селективный нановольтметр; 6 – персональный компьютер; 7 – средства отложенного анализа речевого сигнала

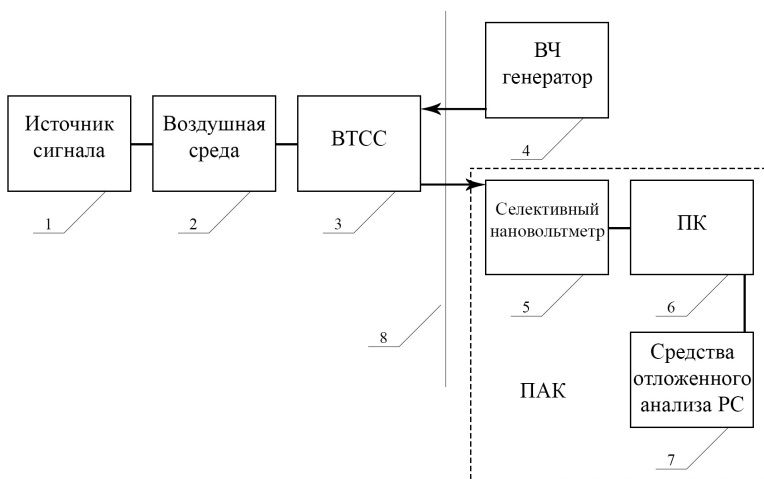


Рис. 2. Модель активного акустоэлектрического канала утечки информации:

1 – источник акустического сигнала (динамик или человек); 2 – воздушная среда; 3 – вспомогательные технические средства и системы, на которых происходит модуляция высокочастотного сигнала информационным; 4 – генератор высоких частот; 5 – селективный нановольтметр; 6 – персональный компьютер; 7 – средства отложенного анализа речевого сигнала; 8 – граница контролируемой зоны

При построении модели акустоэлектрического канала утечки информации с учетом модели поведения потенциального нарушителя, которая определяет его потенциальные возможности, необходимо рассмотреть критерии оценки защищенности речевой информации, при которых нарушитель не сможет восстановить защищаемую речевую информацию, если она искажена шумом.

Можно предположить, что злоумышленник имеет в полном распоряжении средства, которые могут улучшить качество исходного речевого сигнала. Объективность критериев может быть обеспечена при условии, если они учитывают возможности средств, позволяющих проводить обработку речи в режиме отложенного анализа записанного речевого сигнала. Также нарушитель имеет возможность использовать различные методы шумоочистки для повышения разборчивости речи при сохранении характеристик и свойств речевого сигнала.

Для каждого из основных шагов шумоочистки сигналов можно выделить соответствующие критерии оценки защищенности речевой информации.

Шаг 1. Обнаружение смеси сигнала и шума. Здесь можно применить критерий энергетической скрытности, который осуществляется путем энергетического маскирования сигнала. Восстановить речевой сигнал можно, если реконструировать структуру по остаточным следам.

Шаг 2. Фильтрация и попытки различить сигнал в смеси с другими сигналами. В данном случае критерием выступает алгоритмическая скрытность, которую можно реализовать с помощью преобразования сигнала по определенным алгоритмам, либо маскирование сигнала другими сигналами.

Шаг 3. Измерение параметров сигнала.

Шаг 4. Распознавание сигнала при сопоставлении с образцовым эталоном. Данные этапы обладают критерием информационной скрытности [16]. Ее можно обеспечить применением криптографических методов шифрования сообщений.

4. ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ

Под погрешностью измерения обычно понимают отклонение измеренного значения величины от ее истинного значения. На практике в основном вместо истинного значения используется действительное значение измеряемой величины. В связи с тем, что понятие разборчивости речи носит исключительно экспертный смысл, то только результат правильно организованных, репрезентативных артикуляционных испытаний может приниматься за действительное значение словесной разборчивости.

Для оценки разборчивости речи в задачах защиты информации, и в частности оценки защищенности речевой информации от утечки по акустоэлектрическим каналам, используется словесная разборчивость со следующими градациями [3]:

- 1) при W , не превышающей 10 %, происходит скрывание фактов ведения переговоров в выделенных помещениях;
- 2) при $W \leq 20$ % – скрывание предмета переговоров;
- 3) при $W \leq 30$ % – скрывание содержания переговоров;
- 4) при $W \leq 40$ % – невозможность составления краткой справки-аннотации о содержании переговоров.

Ошибки в оценке W могут привести к утечке речевой информации.

Метрологические характеристики используемых технических средств определяют инструментальную составляющую погрешности оценки W в зависимости от того, какими устройствами будет пользоваться оператор. Методическая погрешность оценки W определяется согласно рекомендации МИ 2073-90 [17]. В работах [5, 18] дана оценка методической погрешности определения словесной разборчивости. В этих работах показано, что абсолютная погрешность косвенных измерений W может принимать значения до 0,07, а относительная – до 0,35.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение методов шумоочистки позволяет потенциальному злоумышленнику повысить ранг перехваченной информации. Действующие методики не могут обеспечить достаточную достоверность оценок защищенности речевой информации. Необходимо разрабатывать новые методики с учетом возможности нарушителя использовать средства отложенного анализа записанного речевого сигнала, которые повышают показатели разборчивости речи.

Следует обратить внимание на новые методы защиты речевой информации. Использование формантной теории словесной разборчивости в настоящее время может привести к ошибкам оценки защищенности речевой информации. Для разработки современных методик необходимо учитывать модель поведения злоумышленника, а также помехоустойчивость речевых сигналов. Нужно использовать новые критерии оценки защищенности речевой информации (в частности, критерий энергетической скрытности, алгоритмической скрытности и информационной скрытности).

В существующей методике измерений также есть инструментальная и методическая погрешности, что существенно усложняет адекватную оценку

критерия эффективности защиты. Инструментальную погрешность устранить практически невозможно, она зависит от выбранного оборудования. Абсолютная величина методической погрешности не должна превышать 0,07. Вклад методической погрешности можно сделать меньше, проводя большее количество испытаний. Требуется более детальное исследование методических погрешностей оценки разборчивости речи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев С.В. Оптимизированная по спектру шумовая помеха // Защита информации. Конфидент. – 2003. – № 4.
2. ГОСТ 8031–78. Аппараты телефонные. Тональный метод измерения разборчивости речи. – М.: Госстандарт России, 1978.
3. Железняк В.К., Макаров Ю.К., Хорев А.А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. – 2000. – № 4. – С. 39–45.
4. Дворянкин С.В., Бонч-Бруевич А.М., Козлачков С.Б. Обработка речевых и звуковых сигналов и изображений в пакетах специального программного обеспечения: методические указания к выполнению научно-исследовательских работ студентов по дисциплине «Специальные информационные технологии». – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 52 с.
5. Трушин В.А., Иванов А.В., Рева И.Л. О корректировке методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам // Специальная техника. – 2016. – № 6. – С. 22–30.
6. Дворянкин С.В., Харченко Л.А., Козлачков С.Б. Оценка защищенности речевой информации с учетом современных технологий шумоочистки // Вопросы защиты информации. – 2007. – № 2 (77). – С. 37–40.
7. Козлачков С.Б., Дворянкин С.В., Бонч-Бруевич А.М. Ограничения формантной теории разборчивости речи в приложениях защиты речевой информации // Вопросы кибербезопасности. – 2016. – № 5 (18). – С. 28–35.
8. Козлачков С.Б., Дворянкин С.В., Бонч-Бруевич А.М. Проблемы и перспективы защиты акустической речевой информации // Специальная техника. – 2016. – № 6. – С. 15–21.
9. Особенности выделения речевой информации при ее зашумлении с целью защиты / С.В. Скрыль, А.М. Бонч-Бруевич, С.Б. Козлачков, С.С. Никулин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2014. – № 2. – С. 26–32.
10. Некоторые особенности формирования акустоэлектрического канала утечки речевой акустической информации / С.Б. Козлачков, А.М. Бонч-

Бруевич, С.В. Дворянkin, Н.В. Васильевская, А.Л. Селенин // Безопасность информационных технологий. – 2017. – Т. 24, № 4. – С. 60–70.

11. Сапожков М.А. Электроакустика. – М.: Связь, 1978. – 282 с.

12. Алдошина И.А., Приттс Р. Музыкальная акустика. – СПб.: Композитор, 2006. – 719 с.

13. Шушарин А.С., Гуляев В.П. Анализ возможностей шумоочистки речевой информации при многоканальном ведении технической разведки [Электронный ресурс]. – URL: <http://koledj.ru/docs/index-9494.html> (дата обращения: 07.06.2019).

14. Валух А.А., Хандецкий В.С. Адаптивный цифровой фильтр на основе нейронной сети // Нейроинформатика. – 2010. – № 1. – С. 174–182.

15. Иванов А.В., Трушин В.А. Защита речевой информации от утечки по акустоэлектрическим каналам: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011.

16. Трушин В.А. К вопросу об оценке разборчивости речи // Проблемы информационной безопасности государства, общества, личности: материалы 9 Всероссийской научно-практической конференции ТУСУР. – Томск, 2007. – С. 115–119.

17. О достоверности оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам / А.П. Бацула, А.В. Иванов, И.Л. Рева, В.А. Трушин // Доклады ТУСУР. – 2010 – № 1 (21), ч. 1. – С. 89–93.

Карауш Александр Сергеевич, магистрант кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. E-mail: karaushalexander@yandex.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-100-113

Review and analysis of methods for enhancing speech intelligibility through acoustoelectric channels of information leakage*

A.S. Karaush

Novosibirsk state technical University, 20 K. Marx Prospect, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, undergraduate of the department of computer engineering. E-mail: karaush-alexander@yandex.ru

The paper considers the main problems in the field of protection of speech information from leakage through acoustoelectric channels. The purpose of the article is to review and analyze methods for improving speech intelligibility. The paper describes basic methods of noise reduction and signal reconstruction, which are used to improve the quality of speech signals distorted by noise. These include: filtering noise-like and speech-like interference, compensating for distortions that arise in the process of recording messages, reconstructing a voice message by evaluating speech education parameters, using neural network technology. The article presents models of passive and active acoustoelectric channels of speech information leakage, describes the composition of software and hardware systems for analyzing speech information. The paper describes methods that can potentially be used by an intruder to conduct speech reconnaissance on the acoustoelectric channel of speech information leakage. Criteria for assessing the security of speech, based on a universal approach to signal analysis, for each of the main steps of the noise cleaning process, are described. Main types of distortion are considered. Influence of various types of distortions on the indicators for assessing the security of speech information is described. A description of influence of indirect errors on the assessment of speech legibility is given.

Keywords: model of passive acoustoelectric information leakage channel, model of active acoustoelectric information leakage channel, intruder model, speech intelligence, errors of indirect measurements, assessment of the security of acoustoelectric information leakage channels, methods of improving speech intelligibility, criteria for evaluating the security of speech information, noise filtering, linear distortion, non-linear distortion, verbal intelligibility indirect measurement error

REFERENCES

1. Grigor'ev S.V. Optimizirovannaya po spektru shumovaya pomekha [Spectrum-optimized noise interference]. *Zashchita informatsii. Konfident*, 2003, no. 4. (In Russian).
2. GOST 8031–78. *Apparaty telefonnye. Tonal'nyi metod izmereniya razborchivosti rechi* [State Standard 8031–78. Telephone sets. Tonal method for measuring speech intelligibility]. Moscow, Gosstandart Rossii Publ., 1978.
3. Zheleznyak V.K., Makarov Yu.K., Khorev A.A. Nekotorye metodicheskie podkhody k otsenke effektivnosti zashchity rechevoi informatsii [Some methodo-

* Received 20 November 2018.

logical approaches to assessing the effectiveness of voice information protection]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2000, no. 4, pp. 39–45.

4. Dvoryankin S.V., Bonch-Bruevich A.M., Kozlachkov S.B. *Obrabotka rechevykh i zvukovykh signalov i izobrazhenii v paketakh spetsial'nogo programmnogo obespecheniya* [Processing speech and sound signals and images in special software packages]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013. 52 p.

5. Trushin V.A., Ivanov A.V., Reva I.L. O korrektyrovke metodiki otsenki zashchishchennosti rechevoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam [About the adjustment of the methodology for assessing the protection of speech information from leakage through technical channels]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2016, no. 6, pp. 22–30.

6. Dvoryankin S.V., Kharchenko L.A., Kozlachkov S.B. Otsenka zashchishchennosti rechevoi informatsii s uchetom sovremennykh tekhnologii shumochistki [Evaluation of voice information security with regard to modern noise-cleaning technologies]. *Voprosy zashchity informatsii – Information security questions*, 2007, no. 2 (77), pp. 37–40.

7. Kozlachkov S.B., Dvoryankin S.V., Bonch-Bruevich A.M. Ogranicheniya formantnoi teorii razborchivosti rechi v prilozheniyakh zashchity rechevoi informatsii [Limitations of the formant theory of speech intelligibility in speech information protection applications]. *Voprosy kiberbezopasnosti – Cybersecurity Issues*, 2016, no. 5 (18), pp. 28–35.

8. Kozlachkov S.B., Dvoryankin S.V., Bonch-Bruevich A.M. Problemy i perspektivy zashchity akusticheskoi rechevoi informatsii [Problems and prospects of acoustic voice information protection]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2016, no. 6, pp. 15–21.

9. Skryl' S.V., Bonch-Bruevich A.M., Kozlachkov S.B., Nikulin S.S. Osobennosti vydeleniya rechevoi informatsii pri ee zashumlenii s tsel'yu zashchity [Features of the allocation of speech information when it is noisy to protect]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika – Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2014, no. 2, pp. 26–32.

10. Kozlachkov S.B., Bonch-Bruevich A.M., Dvoryankin S.V., Vasil'evskaya N.V., Selenin A.L. Nekotorye osobennosti formirovaniya akustoelektricheskogo kanala utechki rechevoi akusticheskoi informatsii [Specific features of the formation of an acoustoelectric channel of speech information leakage]. *Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologii – IT Security*, 2017, vol. 24, no. 4, pp. 60–70.

11. Sapozhkov M.A. *Elektroakustika* [Electroacoustik]. Moscow, Svyaz' Publ., 1978. 282 p.

12. Aldoshina I.A., Pritts R. *Muzykal'naya akustika* [Musical acoustics]. St. Petersburg, 2006. 719 p.

13. Shusharin A.S., Gulyaev V.P. *Analiz vozmozhnostei shumoochistki rechevoi informatsii pri mnogokanal'nom vedenii tekhnicheskoi razvedki* [Analysis of the possibilities of noise cleaning of speech information in the multichannel management of technical intelligence]. Available at: <http://koledj.ru/docs/index-9494.html> (accessed 07.06.2019).

14. Valyukh A.A., Khandetskii V.S. Adaptivnyi tsifrovoy fil'tr na osnove neuronnoi seti [Adaptive digital filter based on neural network]. *Neuroinformatika*, 2010, no. 1, pp. 174–182. (In Russian).

15. Ivanov A.V., Trushin V.A. *Zashchita rechevoi informatsii ot utechki po akusto-elektricheskim kanalām* [Protection of speech information from leakage through acoustoelectric channels]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2011.

16. Trushin V.A. [To the question of the assessment of speech intelligibility]. *Problemy informatsionnoi bezopasnosti gosudarstva, obshchestva, lichnosti: materialy 9-oi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii TUSUR* [Problems of information security of the state, society and the individual. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference], Tomsk, 2007, pp. 115–119. (In Russian).

17. Batsula A.P., Ivanov A.V., Reva I.L., Trushin V.A. O dostovernosti otsenki zashchishchennosti rechevoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalām [The reliability of estimate of security of voice information from leaking by technical channels]. *Doklady TUSUR – Proceedings of TUSUR*, 2010, no. 1 (21), pt. 1, pp. 89–92.

Для цитирования:

Karayush A.S. Обзор и анализ методов повышения разборчивости речи в акусто-электрических каналах утечки информации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С. 100–113. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-100-113.

For citation:

Karaush A.S. Obzor i analiz metodov povysheniya razborchivosti rechi v akustoelektricheskikh kanalakh utechki informatsii [Review and analysis of methods for enhancing speech intelligibility through acoustoelectric channels of information leakage]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (94), pp. 100–113. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-1-100-113.