

И.В. ГАВРИЛОВ
**АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ СЛОВЕСНОЙ РАЗБОРЧИВОСТИ
РЕЧИ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИИ КОГЕРЕНТНОСТИ**

Гаврилов И.В. Алгоритм оценивания словесной разборчивости речи на основе функции когерентности.

Аннотация. Задача оценивания защищенности речевой информации конфиденциального характера в настоящее время крайне актуальна. Но в условиях применения средств акустической защиты, то есть в условиях сильных шумов, существующие инструментально-расчетные методы дают большую погрешность при сравнении с крайне трудозатратными артикуляционными методами.

В работе исследован метод оценки показателя защищенности речевой информации на основе корреляционного коэффициента Пирсона, но данный коэффициент обладает плохой чувствительностью к спектральным свойствам акустических сигналов. Поэтому автором предложен подход к определению показателя защищенности речевой информации на основе математического аппарата функции когерентности исходного и зашумленного сигнала.

В статье предлагается весь речевой частотный диапазон функции когерентности разбить на отдельные октавы. Посчитать математическое ожидание составляющих функции когерентности в октавах и на основе функции свертки получить выражение для расчета показателя защищенности речи.

Предложенный алгоритм к определению показателя защищенности речевой информации позволяет повысить точность проводимой оценки.

Ключевые слова: маскирующий шум, словесная разборчивость речи, коэффициент корреляции, частотный спектр сигнала, средства активной защиты, функция когерентности

1. Введение. Основным способом коммуникации между людьми является речь. Этот факт подтверждают исследовательские работы в области изучения специфики речевого воздействия и взаимодействия [1].

Во многих случаях при организации речевых коммуникаций необходимо уделять особое внимание их защите от перехвата. Поэтому часто возникает необходимость в построении систем защиты [2, 3] и в последующей оценке защищенности речевой информации [4, 5].

Актуальность оценки защищенности различных помещений от утечки речевой информации подтверждается большим количеством публикуемых материалов на данную тему [3, 4, 5, 6].

Например, совершенствованию способов определения показателя защищенности речевой информации посвящена статья [4], в которой предлагается использовать в качестве измерителя линейный частотно-модулированный сигнал. Структурно-пространственная модель канала утечки речевой информации легла в основу методики оценки технической защищенности речевой информации в помещениях, представленной в [5]. Эффективность защиты речевой информации на основе

ставшего уже классическим расчета интегрального индекса артикуляции по «октавным» индексам артикуляции предложено оценивать в работе [6]. В работе [7] представлен подход к определению защищенности речи в случае перехвата лазерными микрофонами, а также показана взаимосвязь подходов к определению параметров каналов утечки информации (показателей защищенности) и каналов передачи.

Однако описанные к настоящему времени в литературе объективные способы оценки защищенности речевой информации не позволяют достоверно оценивать речевую разборчивость в условиях использования средств активной защиты (условия сильных шумов). Поэтому задачей настоящего исследования является разработка алгоритма оценивания словесной разборчивости речи, который позволит повысить достоверность определения показателя защищенности при использовании средств защиты.

2. Способы определения показателей защищенности речевой информации. В качестве показателей защищенности речевой информации при использовании средств защиты применяются оценочные характеристики маскирующих шумов и характеристики «искаженной» маскирующими шумами речи. Оценке маскирующего шума путем уточнения энтропийного коэффициента была посвящена следующая работа [8]. Данный способ оценки целесообразно проводить на этапе проектирования систем защиты. При оценке готовых решений по защите речевой информации в качестве показателя защищенности принято использовать разборчивость речи (словесную, слоговую, формантную), которая определяет степень понятности смысла и содержания передаваемой информации [9, 10].

Разборчивость может быть рассчитана объективными и субъективными методами [11]. Для объективных методов оценочный показатель является зависимым от измерительного тракта. В случае субъективных методов показатель разборчивости речи не зависит от измерительного тракта.

В настоящей работе в условиях действия маскирующих шумов разного уровня в диапазоне от минус 20 дБ до минус 5 дБ для проведения моделирования и оценки эффективности предлагаемого решения используется метод артикуляции, описанный в [12], где за счет известного аудиторам словаря достигается снижение дисперсии оценки рассчитываемого показателя разборчивости. В соответствии с артикуляционным методом формируется артикуляционная группа из трех человек с нормальным слухом. Двумя дикторами (мужчина и женщина) начитываются и записываются в виде аудиофайлов артикуляционные таблицы слов, на которые накладывается шум в пакете

прикладных программ Matlab. Группа аудиторов проходит тренировочные испытания до тех пор, пока в одинаковых условиях испытаний не дает устойчивые повторяемые результаты по оценке словесной разборчивости речи (рисунок 1).

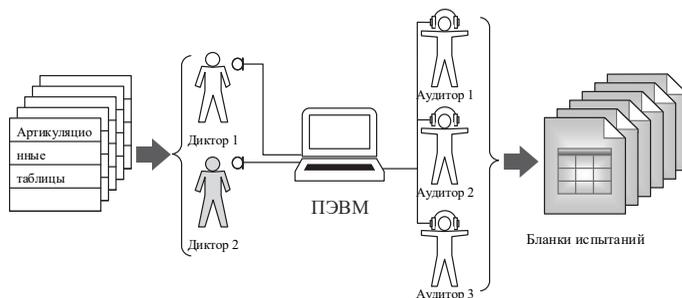


Рис. 1. Схема проведения артикуляционных испытаний

Далее приводится подробное описание исходных данных для проведения артикуляционных испытаний, результаты которых представлены на рисунке 16.

3. Описание исходных данных для моделирования. Для моделирования процессов зашумления используется тестовая запись речи диктора длительностью 5 с, оцифрованная с частотой дискретизации 22 050 Гц.

При моделировании процессов зашумления в системе Matlab используется аддитивная модель канала:

$$s'(t) = \gamma \cdot s(t - \tau) + n(t), \quad (1)$$

где $s(t)$ — исходный речевой сигнал;

$s'(t)$ — зашумленный речевой сигнал;

γ — постоянный коэффициент передачи канала;

τ — задержка в канале;

$n(t)$ — шум.

В настоящей работе для моделирования приняты следующие условия: отсутствие задержки в канале и стремление постоянного коэффициента к единице.

В качестве шумовой составляющей взяты реализации шумов, описание которых приведено в таблице 1, и далее по тексту на рисунках 2-9 темным цветом.

Таблица 1. Характеристики шумов, использованных в работе

| Название шума | Краткое описание вида шума |
|---------------|---|
| «Белый» шум | Спектральные составляющие шума равномерно распределены по всему задействованному диапазону частот |
| «Розовый» шум | Спектральная плотность шума затухает на 3 дБ на каждую октаву |
| «Красный» шум | Спектральная плотность шума затухает на 6 дБ на каждую октаву |
| «Серый» шум | Субъективно воспринимаемый на слух как равномерный, но имеющий провал на средних частотах |

Отношение минус 20 дБ рассматривается как примерная критическая точка, ниже которой словесная разборчивость речи в случае зашумления «белым шумом» стремится к нулю [6, 9, 10].

Для «белого» шума временная реализация и спектр тестового речевого сигнала на фоне шума представлены на рисунках 2 и 3.

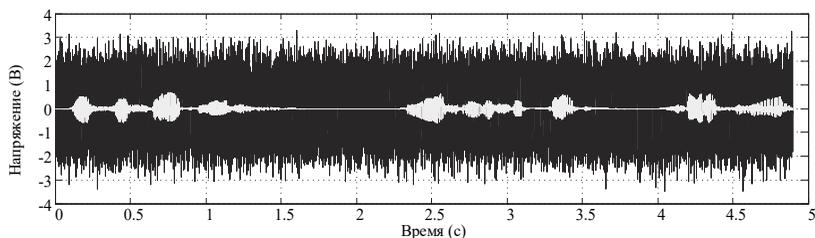


Рис. 2. Временная реализация тестового сигнала на фоне реализации «белого» шума (С/Ш — минус 20дБ)

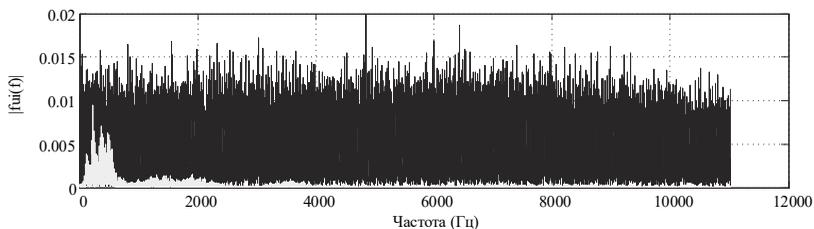


Рис. 3. Амплитудный спектр тестового сигнала на фоне амплитудного спектра «белого» шума (С/Ш — минус 20дБ)

Для подкрашенных шумов представлены следующие пары рисунков. Временная и частотная реализации тестового фрагмента речи на фоне «розового» шума отображены на рисунках 4 и 5.

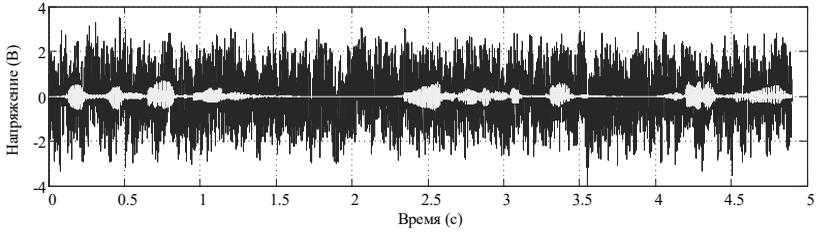


Рис. 4. Временная реализация тестового сигнала на фоне реализации «розового» шума (С/Ш — минус 20дБ)

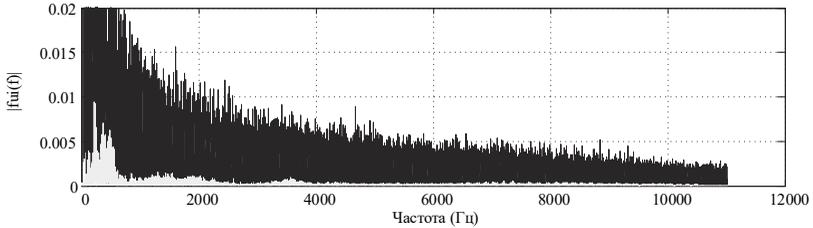


Рис. 5. Амплитудный спектр тестового сигнала на фоне амплитудного спектра «розового» шума (С/Ш — минус 20дБ)

Тестовый речевой сигнал с «красным» шумом в виде временных отсчетов и спектральных составляющих показан на рисунках 6 и 7.

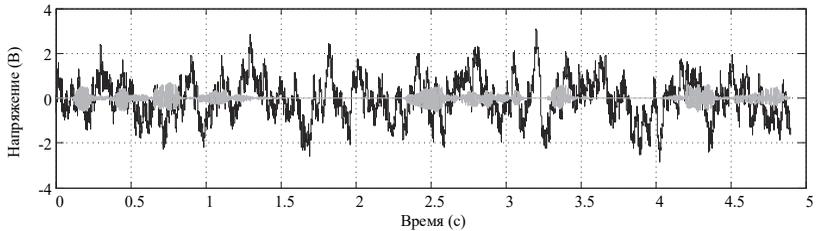


Рис. 6. Временная реализация тестового сигнала на фоне реализации «красного» шума (С/Ш — минус 20дБ)

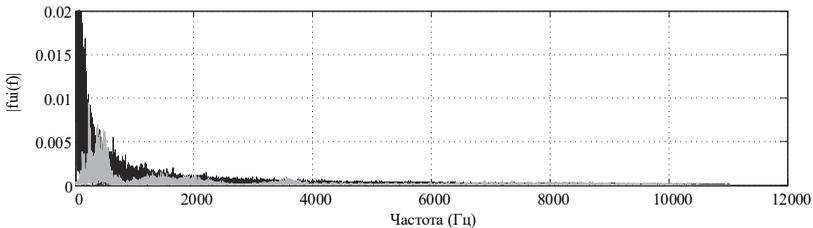


Рис. 7. Амплитудный спектр тестового сигнала на фоне амплитудного спектра «красного» шума (С/Ш — минус 20дБ)

На рисунках 8 и 9 содержатся временная реализация и амплитудный спектр тестового сигнала и «серого» шума при указанном ранее соотношении «сигнал-шум» минус 20 дБ.

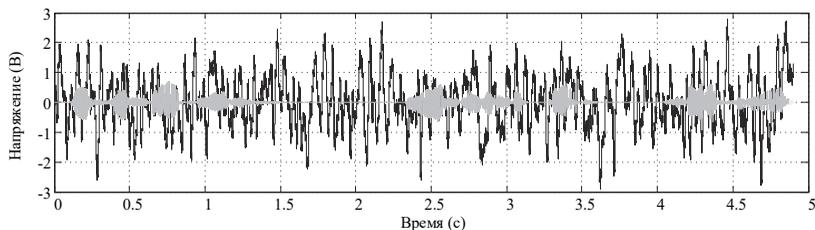


Рис. 8. Временная реализация тестового сигнала на фоне реализации «серого» шума (С/Ш — минус 20дБ)

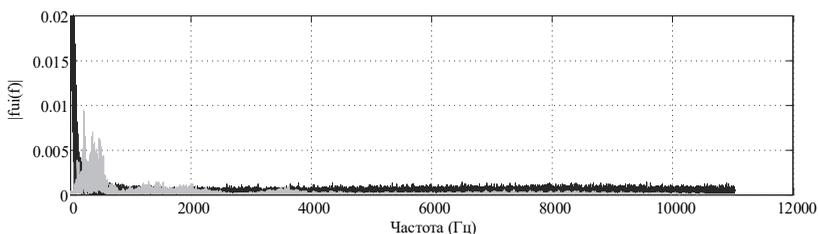


Рис. 9. Амплитудный спектр тестового сигнала на фоне амплитудного спектра «серого» шума (С/Ш — минус 20дБ)

По частотному спектру представленных сигналов прослеживаются маскирующие свойства рассматриваемых шумов. Так «белый» и «розовый» шумы наиболее полно перекрывают спектр речевого сигнала, более того, «розовый» шум должен давать лучший маскирующий эффект при снижении соотношения «сигнал-шум».

В следующих пунктах статьи описываются подходы к определению показателей защищенности речевой информации в условиях действия на речевой сигнал рассмотренных шумов: подход на основе коэффициента корреляции и подход на основе математического аппарата функции когерентности.

4. Применение коэффициента корреляции Пирсона в задачах определения показателя защищенности речевой информации. В ряде работ, посвященных оценке эффективности маскировки речи [7, 13, 14] исследуется возможность применения корреляционных методов для оценки показателя защищенности.

Для расчета коэффициента корреляции между дискретизированными исходным речевым сигналом $s(t)$ и сигналом $s'(t)$, зашумлен-

ным акустическим шумом, необходимо пользоваться следующим выражением [15]:

$$r_{ss'} = \frac{M\{[s - M(s)] \cdot [s' - M(s')]\}}{\sqrt{D(s)} \cdot \sqrt{D(s')}}}, \quad (2)$$

где $M(\dots)$ — математическое ожидание; $D(\dots)$ — дисперсия.

При смешивании речевого тестового сигнала с «белым» и «подкрашенными» шумами в области низкого отношения «сигнал-шум» (от минус 20 дБ до минус 5 дБ) установлено, что коэффициент корреляции между исходным речевым сигналом и зашумлённой последовательностью зависит от типа подкрашенного шума (рисунок 10).

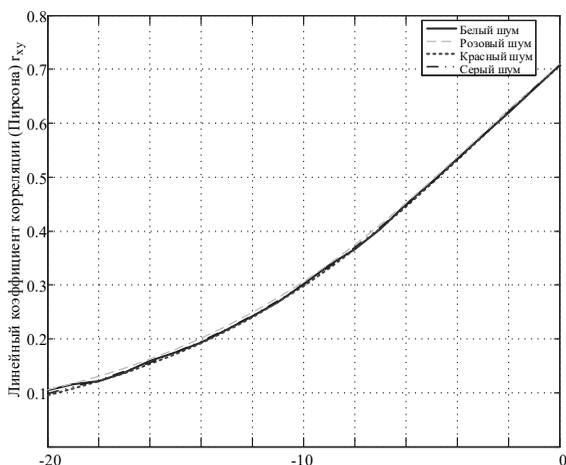


Рис. 10. Зависимость коэффициента корреляции от отношения «сигнал-шум» (для разных типов шумов)

Среднее расхождение полученных значений коэффициента корреляции для четырех указанных типов шумов, исходя из полученных зависимостей, в диапазоне от минус 20 дБ до минус 5 дБ составляет 4,85 %, а для серого и белого шумов — 0,12 %, что подтверждает недостаточную чувствительность данного коэффициента. Поэтому необходимо использовать другой математический аппарат, в качестве которого в настоящем исследовании предлагается применять функцию когерентности [16, 17], которая также, как и коэффициент корреляции показывает степень взаимосвязи сигналов только для области частот, то есть более чувствительна к изменению частотного спектра.

5. Использование функции когерентности сигналов в задаче оценки словесной разборчивости. Для оценки защищенности речевой информации в случае использования средств защиты путем оценки соответствия перехваченной смеси зашумленных сигналов с разных каналов исходному речевому сигналу возможно использование функции когерентности. Данный подход применялся в различных задачах по анализу сигналов, примером чему стали следующие работы [16, 17, 18].

Функция когерентности определяется на основе вычисления квадрата модуля $\Gamma_{ss_m}^2(f)$ по формуле 3 [16-23].

$$\Gamma_{ss_m}^2(f) = \frac{|S_{ss_m}(f)|^2}{S_{ss}(f) \cdot S_{s_m s_m}(f)}, \quad (3)$$

где $|S_{ss_m}(f)|$ — взаимная спектральная плотность мощности сигналов s и s_m ;

$S_{ss}(f)$ — автоспектральная плотность мощности сигнала s ;

$S_{s_m s_m}(f)$ — автоспектральная плотность мощности сигнала s_m .

Функция когерентности показывает постепенное развитие связанности двух процессов на некоторой частоте f_k при дискретном времени, которое изменяется с шагом T , являющимся более длительным временным отрезком, чем интервал дискретизации, характерный для корреляционной функции, которая описывает связи на протяжении лишь одной реализации [16, 21, 23].

Общий вид функции когерентности исходного речевого сигнала и зашумленного речевого сигнала представлен на рисунке 11.

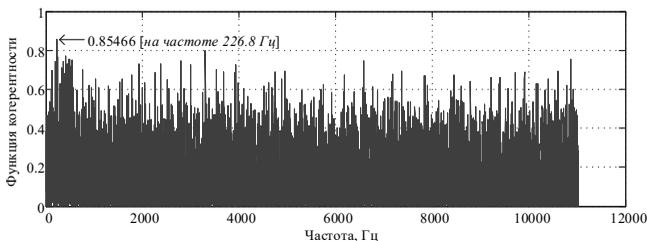


Рис. 11. Функция когерентности сигнала и смеси «сигнал-белый шум» (-20 дБ)

В соответствии с рисунком 11 можно отметить, что наибольшие значения функция когерентности при использовании в процессе моделирования «белого» шума принимает на частотах примерно до 500 Гц с пиком на частоте 226,8 Гц, что, возможно, говорит о

наибольшей информативности речевого сигнала на низких частотах и будет проверено далее.

Так как речевой сигнал является частотозависимым, то для использования функции когерентности в качестве показателя защищенности речевой информации в условиях сильных шумов возникает необходимость применения усредненных значений функции когерентности в отдельных частотных областях. Принимая во внимание особенности речевых сигналов, весь частотный диапазон был разделен на семь октавных полос в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2. Значения октавных полос для речевых сигналов

| Частотные границы полосы, $f_{i1} \dots f_{i2}$, Гц | Среднегеометрическая частота полосы, f_i , Гц |
|--|---|
| 88 ... 177 | 125 |
| 177 ... 355 | 250 |
| 355 ... 710 | 500 |
| 710 ... 1 420 | 1 000 |
| 1 420 ... 2 840 | 2 000 |
| 2 840 ... 5 680 | 4 000 |
| 5 680 ... 11 360 | 8 000 |

При исследовании влияния шумов различного уровня на функцию когерентности были получены следующие зависимости математического ожидания функции когерентности в октавных полосах для белого шума (рисунок 12).

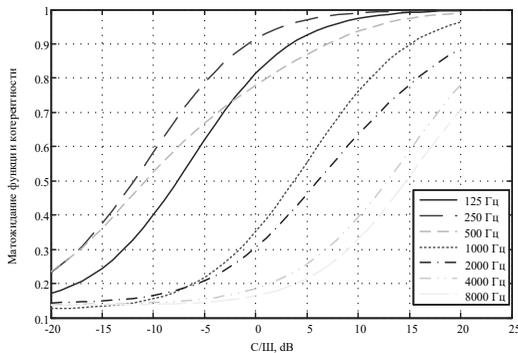


Рис. 12. Зависимость математического ожидания функции когерентности в октавных полосах от отношения «сигнал-шум» (белый шум)

Стоит отметить, что октавные полосы со среднегеометрическими значениями частот 125 Гц, 250 Гц и 500 Гц имеют большие значения при соответствующих значениях отношения «сигнал-шум», нежели остальные октавы, что в случае использования «белого» шума

при маскировании (то есть равномерной в спектре помехи) может говорить о большей информативности речи в области низких частот. В случае использования в качестве маскирующего сигнала других подкрашенных шумов зависимости математического ожидания функции когерентности в октавных полосах приняли несколько другую форму (рисунки 13-15).

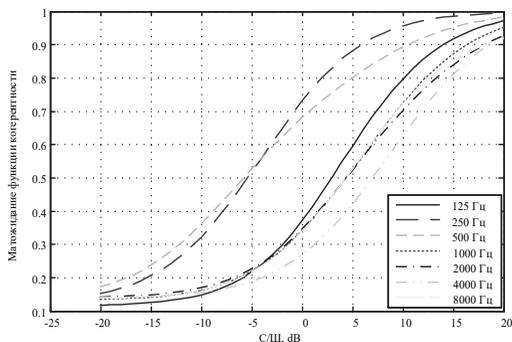


Рис. 13. Зависимость математического ожидания функции когерентности в октавных полосах от отношения «сигнал-шум» (розовый шум)

Общая картина зависимостей рисунка 13, а именно меньшие значения функции когерентности при соответствующих отношениях «сигнал-шум», показывают лучшие «защитные» свойства «розового» шума по сравнению с «белым». В случае использования «розового» маскирующего шума наибольшей информативностью о спектре речевого сигнала обладают октавы со среднегеометрическими частотами 250 и 500 Гц.

Для «красного» шума из-за спектрального состава взаимное расположение графиков претерпело значительные изменения (рисунок 14).

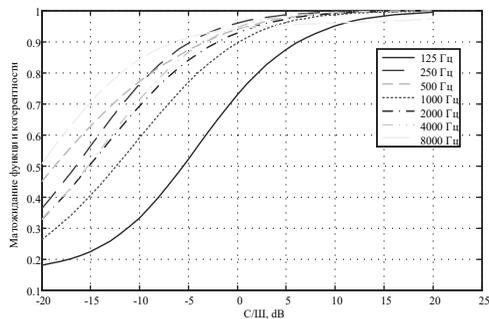


Рис. 14. Зависимость математического ожидания функции когерентности в октавных полосах от отношения «сигнал-шум» (красный шум)

На рисунке 15 представлен вариант с использованием для маскирования «серого» шума.

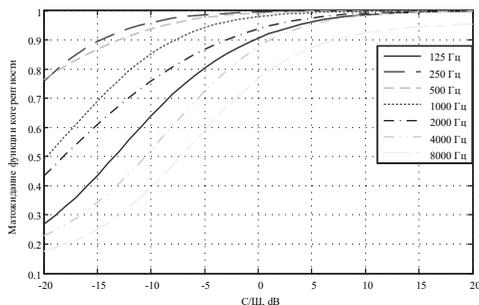


Рис. 15. Зависимость математического ожидания функции когерентности в октавных полосах от отношения «сигнал-шум» (серый шум)

С точки зрения сокрытия информации о речевом сигнале путем его маскировки различными видами шумов, исходя из рисунков 14 и 15, применение «красного» и «серого» шумов представляется нецелесообразным при их сравнении с «белым» и «розовым» шумами.

Для использования значений функции когерентности в качестве показателя защищенности речевой информации необходимо получить определенную функцию на основе преобразований значений математического ожидания функции когерентности в семи октавных полосах. В качестве таковой предлагается функция аддитивной свертки следующего вида:

$$\hat{\Gamma}_{ss_m}^2(f) = \sum_{i=1}^7 (k_i \cdot \Gamma_{ss_m i}^2(f)), \quad (4)$$

где k_i — коэффициент значимости i -ой октавной полосы со значениями от минус 1 до 1.

Для определения коэффициентов значимости октавных полос были проведены артикуляционные испытания с использованием ПЭВМ в условиях сильных шумов на основе аддитивной модели наложения указанных ранее шумов на исходный тестовый речевой сигнал для различных соотношений «сигнал-шум» от минус 20 дБ до минус 5 дБ.

В результате проведения артикуляционных испытаний получены представленные на рисунке 16 зависимости разборчивости речи в условиях использования аддитивных шумов различных типов («белого», «розового», «красного» и «серого»).

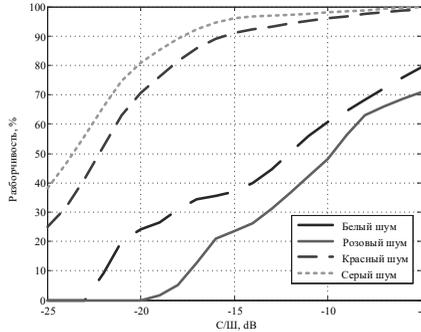


Рис. 16. Зависимость словесной разборчивости от отношения «сигнал-шум» для разных видов шумов по артикуляционным испытаниям

На основе артикуляционных испытаний получено подтверждение лучших маскирующих свойств у «белого» и «розового» шума для защиты речевого сигнала по сравнению с «красным» и «серым» шумами.

При расчете коэффициентов значимости формулы (4) необходимо опираться на значения разборчивости, полученной при проведении артикуляционных испытаний (рисунок 16). Так, для расчета коэффициентов разборчивости необходимо решить недоопределенную систему линейных неравенств (5):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^7 (k_i \cdot \Gamma_{ss_{mi}}^2(f, SNR)) \leq W_P(SNR) + \delta \\ \sum_{i=1}^7 (k_i \cdot \Gamma_{ss_{bi}}^2(f, SNR)) \leq W_B(SNR) + \delta \\ \sum_{i=1}^7 (k_i \cdot \Gamma_{ss_{ki}}^2(f, SNR)) \leq W_K(SNR) + \delta \\ \sum_{i=1}^7 (k_i \cdot \Gamma_{ss_{ci}}^2(f, SNR)) \leq W_C(SNR) + \delta \end{array} \right. , \quad (5)$$

где $W_{P,B,K,C}(SNR)$ — значения словесной разборчивости для соотношения «сигнал-шум» SNR с погрешностью δ .

В результате проведенного моделирования получены зависимости, позволяющие оценивать защищенность речевой информации с учетом спектральных характеристик речи и различных видов шума в условиях применения средств защиты. Результаты построения зависимостей рассчитанной словесной разборчивости от соотношения «сигнал-шум» для различных видов шума представлены на рисунке 17.

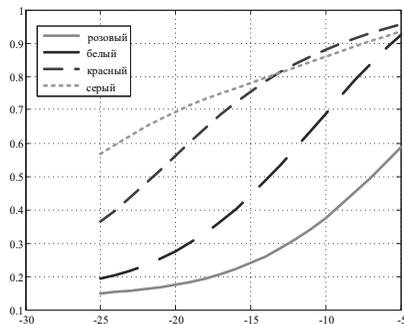


Рис. 17. Зависимости словесной разборчивости от отношения «сигнал-шум»

Графики рисунка 17 демонстрируют результат возможного моделирования относительного показателя защищенности речевой информации через функцию когерентности исходного и зашумленного сигналов для шумов различной спектральной окраски. Для реализации предлагаемого подхода разработан алгоритм оценивания словесной разборчивости речи на основе функции когерентности.

6. Алгоритм оценивания словесной разборчивости речи на основе функции когерентности. В качестве общего алгоритма оценивания показателей защищенности предложен следующий порядок действий, представленный в виде блок-схемы (рисунки 18 и 19).

В данном алгоритме приняты следующие обозначения:

$dataS$, $dataSN$ — временные отсчеты тестового речевого сигнала и зашумленного тестового речевого сигнала;

S_{xy} — массив-строка спектральных отсчетов функции когерентности;

F — массив-строка частот спектральных отсчетов функции когерентности;

F_Coh — массив-строка математических ожиданий функции когерентности в октавах;

Coh — значение функции свертки математических ожиданий функции когерентности в октавных полосах;

K — массив-строка коэффициентов значимости октав для расчета свертки функции когерентности;

W — рассчитанное относительное значение словесной разборчивости речи.

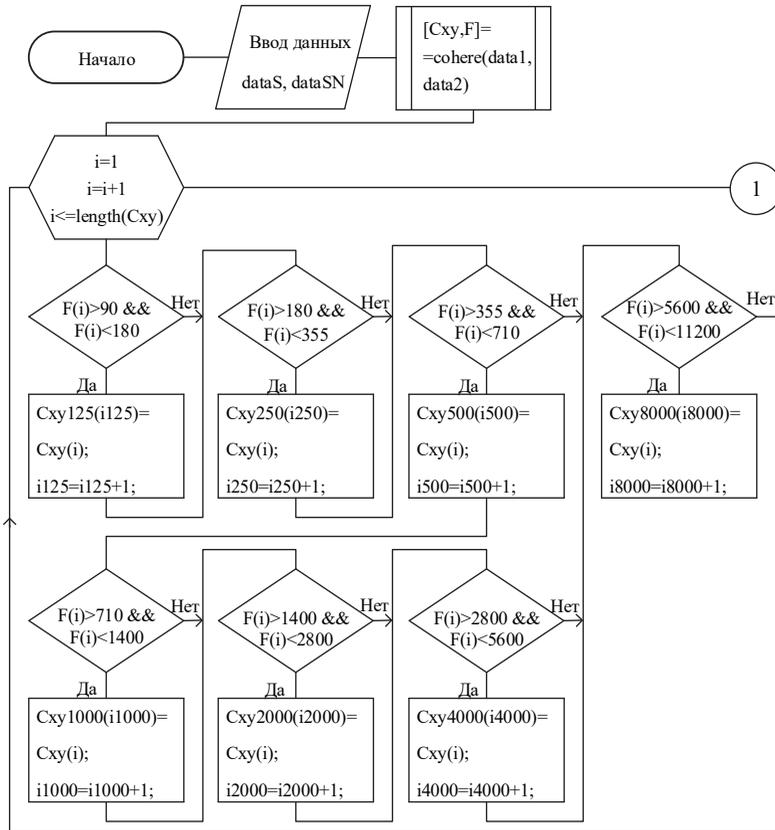


Рис. 18. Блок-схема алгоритма оценивания словесной разборчивости речи на основе функции когерентности (начало)

Входными данными алгоритма являются временные отсчеты тестового речевого сигнала и зашумленного тестового речевого сигнала. На их основе в подпрограмме рассчитывается функция когерентности на основании выражения (3). После этого в цикле дискретные значения частотных составляющих группируются по отдельным октавным полосам в соответствии с таблицей 2. По значениям частотных составляющих для каждой октавы рассчитывается их математическое ожидание, после чего вычисляется значение функции аддитивной свертки, исходя из выражения (7), на основе которой получается оценочное значение словесной разборчивости речи.

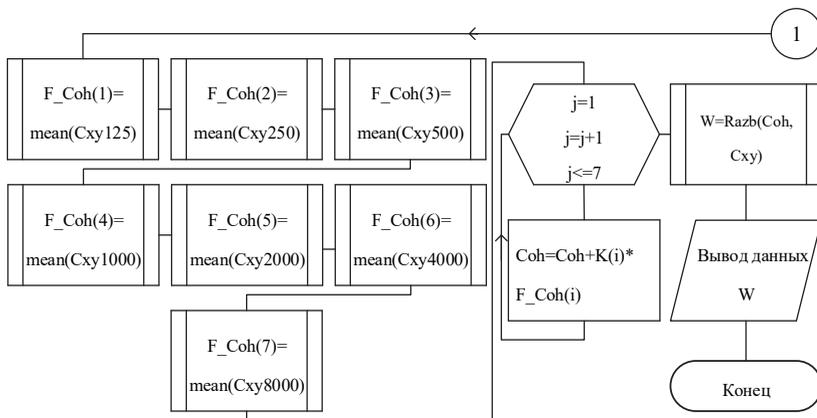


Рис. 19. Блок-схема алгоритма оценивания словесной разборчивости речи на основе функции когерентности (окончание)

При использовании в качестве маскирующего «белого» шума в диапазоне отношения «сигнал-шум» от минус 20 дБ до минус 5 дБ рассмотренными в работе методами были получены следующие данные (рисунок 20). Наиболее точные результаты показывает метод артикуляционных испытаний. Существующий подход, описанный в [6, 10], занижает значение разборчивости на 12%. Предлагаемый алгоритм оценивания словесной разборчивости на основе функции когерентности завышает значение разборчивости на 5%.

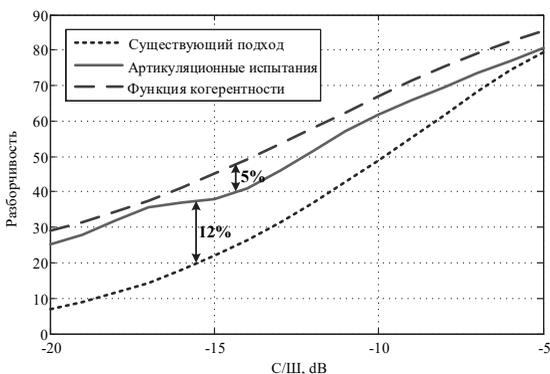


Рис. 20. Эффективность применения функции когерентности для расчета словесной разборчивости речи

В результате применения предложенного подхода было достигнуто повышение точности оценивания разборчивости на 7% по сравнению с используемой в настоящее время методикой.

7. Заключение. В исследовании показана несостоятельность применения коэффициента корреляции Пирсона для определения показателя защищенности, так как данный коэффициент обладает низкой чувствительностью к спектральному составу сигналов, что приводит к мизерной разнице между усредненными коэффициентами для белого и серого шума в 0,12%.

Представленные в статье результаты исследований позволяют уточнить расчет показателей защищенности речевой информации в условиях действия сильных шумов, то есть при использовании средств акустической защиты при соотношении «сигнал-шум» от минус 20 дБ до минус 5 дБ.

В работе приводится блок-схема алгоритма оценивания словесной разборчивости речи на основе функции когерентности, на основе которого представляется возможным рассчитывать значение словесной разборчивости как показателя защищенности речевой информации.

Проведенные исследования позволили повысить точность оценивания разборчивости инструментальными методами на 7% по сравнению с существующим подходом.

В дальнейшем исследования позволят с большей точностью оценивать защищенность речевой информации в условиях вынужденного использования средств акустической защиты, а на основе полученных оценок делать вывод об использовании дополнительной защиты.

Литература

1. *Гаврилова Е.С.* Структура речевого воздействия // Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2015. № 87. Ч. 1. С. 145–148.
2. *Гаврилов И.В.* Построение вероятностной модели комплексной системы защиты речевой информации для контроля ее защищенности // Вопросы защиты информации. 2015. № 3. С. 79–84.
3. *Анишкова Е.П., Чернышов А.К.* Методика защиты помещений от утечки речевой информации по техническим каналам // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2010. № 1(9). С. 13–18.
4. *Железняк В.К., Раханов К.Я., Бураченко И.Б.* Оценка разборчивости речи взаимной корреляцией сигнала линейной частотной модуляции в каналах утечки информации // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. 2015. № 12. С. 22–27.
5. *Сагдеев К.М., Петренко В.И.* Методика оценки технической защищенности речевой информации в выделенных помещениях // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 12(137). С. 121–129.
6. *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.
7. *Глуценко Л.А., Нырклов А.П., Швед Д.В.* Применение корреляционного подхода к определению качества речевой информации, зарегистрированной лазерным микрофоном // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2015. Вып. 6 (34). С. 187–195.

8. *Гаврилов И. В.* Методика оценивания качества маскирующего шума // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 6(43). С. 179–190.
9. *Дворянкин С.В., Макаров Ю.К., Хорев А.А.* Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации от утечки по техническим каналам // Защита информации. Инсайд. 2007. № 2(14). С. 18–25.
10. *Хорев А.А.* Контроль эффективности защиты выделенных помещений от утечки речевой информации по техническим каналам // Защита информации. Инсайд. 2010. № 1(31). С. 34–45.
11. *Покровский Н.Б.* Расчёт и измерение разборчивости речи // М.: Связьиздат. 1962. 392 с.
12. *Быков Ю.С.* Теория разборчивости речи в линиях связи // Оборонгиз. 1954.
13. *Дворянкин С.В., Козлачков С.Б., Бонч-Бруевич А.М.* Анализ возможностей корреляционного метода оценки эффективности маскирования речи белым шумом // URL: http://runc.bmstu.ru/articles/kor_filters.pdf (дата обращения: 18.06.2016).
14. *Журавлёв В.М., Архипова Е.А.* Метод экспериментального анализа функции эффективности маскирования речи // Вестник Винницкого политехнического института. 2009. № 1.
15. *Тактаров Н. Г.* Справочник по высшей математике для студентов вузов // М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2009. 880 с.
16. *Бендат Дж.* Прикладной анализ случайных данных // М.: Мир. 1989. 540 с.
17. *Ханян Г. С.* Некоторые аспекты конструирования и вычисления дискретной функции когерентности двух сигналов // Вестник научно-технического развития. 2010. № 7(35). С. 31–35.
18. *Бороноев В. В.* Оценка функции когерентности пульсовых сигналов при многоканальной пульсометрии // Вестник бурятского государственного университета. 2012. № 3. С. 219–221.
19. *Stoica P.* Introduction to Spectral Analysis // Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall. 1997. 345 p.
20. *Kay S.M.* Modern Spectral Estimation // Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 1988. 576 p.
21. *Отнес Р.* Прикладной анализ временных рядов // М.: Мир. 1982. 432 с.
22. *Rabiner L. R.* Theory and Application of Digital Signal Processing // EnglewoodCliffs, NJ: Prentice-Hall. 1975. 762 p.
23. *Марпл. С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения // М.: Мир. 1990. 584 с.

Гаврилов Илья Вячеславович — сотрудник, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации. Область научных интересов: системы активной защиты информации. Число научных публикаций — 7. ilya_vch@pisem.net; Приборостроительная, 35, Орел, 302034; р.т.: +7(4862)549533.

I.V. GAVRILOV
**AN ALGORITHM FOR ASSESSING VERBAL SPEECH
RECOGNITION BASED ON THE COHERENCE FUNCTION**

Gavrilov I.V. An Algorithm for Assessing Verbal Speech Recognition based on the Coherence Function.

Abstract. The problem of estimating the vulnerability of the speech information of a confidential nature is currently topical. However, in the use of means of acoustic protection, i.e. in conditions of strong noise, the existing instrumental and computational methods give greater accuracy when compared with the extremely labor intensive methods of articulation.

In the paper we study the method of estimating the security of voice data based on the Pearson correlation coefficient. This ratio has poor sensitivity to the spectral properties of the acoustic signals. Therefore, the author suggests an approach to the definition of the security indicator of voice data based on the mathematical apparatus of the coherence function of source and noisy signals.

We propose to split the entire speech frequency range of the coherence function into separate octaves. We also offer to calculate the expectation of the coherence function components in octaves and on the basis of convolution function obtain an expression for calculating the index of the vulnerability of speech.

The proposed algorithm for determining the vulnerability index of voice data allows improving the assessment accuracy.

Keywords: masking noise, correlation coefficient, frequency spectrum of the signal, active security facilities, coherence function signal spectrum, active security facilities.

Gavrilov Ilya Vyacheslavovich — researcher, The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation. Research interests: system of active information security. The number of publications — 7. ilya_vch@pisem.net; 35, Priborostroitel'naya Street, Orel, 302034, Russia; office phone: +7(4862)549533.

References

1. Gavrilova E.S. [The structure of the speech influence]. *Vestnyk Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Iaroslava Mudrogo – Vestnik Yaroslav Mudry Novgorod State University*. 2015. vol. 87. Part 1. pp.145–148. (In Russ.).
2. Gavrilov I.V. [Construction of a probabilistic model of the complex system of protection of the speech information to control its security]. *Voprosy zashchity informacii – The protection of information*. 2015. vol. 3. pp. 79–84. (In Russ.).
3. Anshakova E. ., Chernyshov A.K. [Methods of protection of the premises against leakage of voice information through technical channels]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii – Caspian journal: Management and high technologies*. 2010. vol. 1(9). pp. 13–18. (In Russ.).
4. Zhelezniak V.K., Rahanov K.Ya., Burachenok I.B. [Evaluation intelligibility mutual correlation chirp signal leakage in channels Infomatsiya]. *Vestn. Polotsk. gos. un-ta. Ser. S. Fundamentalnye nauki – Bulletin Polotsk State University. Series C: Basic Sciences*. 2015. vol. 12. pp. 22–27. (In Russ.).
5. Sagdeev K.M., Petrenko V.I. [Methods of evaluation of technical security of voice data in selected areas]. *Izvestiia IUFU. Tekhnicheskie nauki – Proceedings of SFU. Technical science*. 2012. vol. 12(137). pp. 121–129. (In Russ.).
6. Zhelezniak V.K., Makarov Iu.K., Horev A.A. [Some methodological approaches to evaluating the effectiveness of information security speech]. *Spetsialnaia tekhnika – Special equipment*. 2000. vol.4. pp. 39–45. (In Russ.).

7. Glushchenko L. A., Nyrkov A. P., Shved D. V. [The use of correlation approach to defining the quality of the voice information recorded by laser microphone]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova – Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet of the Admiral Makarov*. 2015. vol. 6(34), pp. 187–195. (In Russ.).
8. Gavrilov I.V. [Method of estimation of the masking sound quality]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 6(43), pp. 179–190. (In Russ.).
9. Dvoriankin S.V., Makarov Iu.K., Horev A.A. [Justification of criteria of efficiency of speech information protection against leakage via technical channels]. *Zashchita informacii. Insaid – Data protection. Inside*. 2007. vol. 2(14), pp. 18–25. (In Russ.).
10. Horev A.A. [Monitoring the effectiveness of the protection of the premises allocated by the leakage of voice information through technical channels]. *Zashchita informacii. Insaid – Data protection. Inside*. 2010. vol. 1(31), pp. 34–45. (In Russ.).
11. Pokrovskiy N.B. *Raschjot i izmerenie razborchivosti rechi* [Calculation and measurement of speech intelligibility]. M.: "Sviaz izdat". 1962. 392 p. (In Russ.).
12. Bykov Yu.S. *Teorija razborchivosti rechi v linijah svjazi* [Theory of speech intelligibility in communication lines]. Oborongiz. 1954. (In Russ.).
13. Dvoriankin S.V., Kozlachkov S.B., Bonch-Bruevich A.M. *Analiz vozmozhnostej korrelyacionnogo metoda ocenki jeffektivnosti maskirovanija rechi belym shumom* [Capacity analysis of the correlation method of evaluating the effectiveness of speech masking white noise]. RUNTC «Bezopasnost» MGTU im. N.E'. Bauman. Available at: http://runc.bmstu.ru/articles/kor_filters.pdf (accessed: 18.06.2016) (In Russ.).
14. Zhuravlyov V.M., Arhipova Ė.A. [The method of experimental analysis of speech masking efficiency function]. *Vestnyk Vinnitskogo politehnicheskogo instituta – Herald of Vinnitsa Polytechnic Institute*. 2009. vol. 1. (In Russ.).
15. Taktarov N. G. *Spravochnik po vysshej matematike dlja studentov vuzov* [Handbook of higher mathematics for students] M.: Knizhny' i' dom «LIBROKOM». 2009. 880 p. (In Russ.).
16. Bendat J. *Prikladnoj analiz sluchajnyh dannyh* [Applied analysis of random data]. M.: Mir. 1989. 540 p. (In Russ.).
17. Hanian G.S. [Some aspects of the design and calculation of the discrete coherence function of the two signals]. *Vestnyk nauchno-tehnicheskogo razvitiia – Journal of Scientific and Technological Development*. 2010. vol. 7(35), pp. 31–35. (In Russ.).
18. Boronoev V.V. [Assessment of the coherence function of the pulse signals in multi-channel pulsometry]. *Vestnyk buriatskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of the Buryat State University*. 2012. vol. 3, pp. 219–221. (In Russ.).
19. Stoica P. *Introduction to Spectral Analysis*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall. 1997. 345 p.
20. Kay S.M. *Modern Spectral Estimation*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 1988. 576 p.
21. Otnes R. *Prikladnoj analiz vremennyh rjadov* [Applied time series analysis]. M.: Mir. 1982. 432 p. (In Russ.).
22. Rabiner L. R. *Theory and Application of Digital Signal Processing*. EnglewoodCliffs, NJ: Prentice-Hall. 1975. 762 p.
23. Marpl-m. S.L. *Cifrovoy spektral'nyj analiz i ego prilozhenija* [Digital Spectral Analysis and Its Applications]. M.: Mir. 1990. 584 p. (In Russ.).