

УДК 004.056

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.52.1.008](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.52.1.008)

Совершенствование методики спектрального анализа речевой информации в условиях помех с целью оценки ее защиты от утечки по техническим каналам

Р.В. Мещеряков^{1,2}, А.В. Душкин^{2,3}, О.О. Евсютин², Н.И. Гончаров⁴

¹Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва,
Российская Федерация

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва,
Российская Федерация

³Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной
техники», Москва, Российская Федерация

⁴Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация

Резюме. Актуальность исследования обусловлена возрастающими требованиями к защите конфиденциальной информации, передаваемой в ходе переговоров в выделенных помещениях. В условиях увеличения количества технических средств несанкционированного съема акустической информации возникает необходимость совершенствования методов оценки ее защиты, обеспечивающих более точное прогнозирование возможных каналов утечки и качества перехвата информации. Предлагаемое в работе разделение параметров по полу на основе модифицированного формантного метода позволяет устранить один из ключевых недостатков существующих научных подходов к решению данной задачи – использование усредненных характеристик речи, не отражающих реальное разнообразие речевых сигналов. В ходе исследования усовершенствована методика спектрального анализа речевой информации в условиях помех; реализован модифицированный вариант формантного метода оценки разборчивости речи, учитывающий вариативность речевых характеристик у разных групп говорящих; разработано специализированное программное обеспечение для автоматизированного анализа акустической речевой информации с возможностью классификации параметров по полу диктора; представлены результаты экспериментальных исследований на основе усовершенствованной методики спектрального анализа речевой информации в условиях помех по обработке речевых образцов для получения статистически значимых данных. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании систем защиты речевой информации от утечки по техническим каналам.

Ключевые слова: акустический канал, анализ речевой информации, программа, разборчивость речи, спектральный анализ.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда 24-11-00340 «Исследование и разработка методов обработки слабоструктурированной информации на естественных языках в условиях сильных помех для решения задач безопасности».

Для цитирования: Мещеряков Р.В., Душкин А.В., Евсютин О.О., Гончаров Н.И. Совершенствование методики спектрального анализа речевой информации в условиях помех с целью оценки ее защиты от утечки по техническим каналам. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2026;14(1). URL: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=2152> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.52.1.008

Improving the methodology of spectral analysis of speech information in conditions of interference in order to assess its protection against leakage through technical channels

R.V. Meshcheryakov^{1,2}, A.V. Dushkin^{2,3}, O.O. Evsyutin², N.I. Goncharov⁴

¹*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, the Russian Federation*

²*National Research University Higher School of Economics, Moscow, the Russian Federation*

³*National Research University of Electronic Technology, Moscow, the Russian Federation*

⁴*Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation*

Abstract. The relevance of this study is determined by increasing requirements for the protection of confidential information transmitted during negotiations in designated premises. With the increasing number of technical means for unauthorized collection of acoustic information, there is a need to improve the methods for assessing its protection, ensuring a more accurate prediction of possible leakage channels and the quality of information interception. The separation of parameters by gender, based on the modified formant method, proposed in this paper, allows us to eliminate one of the key drawbacks of existing scientific approaches to solving this problem - the use of averaged speech characteristics that do not reflect the real diversity of speech signals. In the course of the study, the methodology for spectral analysis of speech information in interference conditions was improved; a modified version of the formant method for assessing speech intelligibility was implemented, taking into account the variability of speech characteristics in different groups of speakers; specialized software for the automated analysis of acoustic speech information with the ability to classify parameters by the gender of the speaker was developed; the results of experimental studies based on the improved methodology for spectral analysis of speech information in interference conditions for processing speech samples to obtain statistically significant data are presented. The results of the study can be used in the design of systems for protecting speech information from leakage through technical channels.

Keywords: acoustic channel, speech information analysis, program, speech intelligibility, spectral analysis.

Acknowledgments: This work was supported by grant 24-11-00340 from the Russian Science Foundation, "Research and Development of Methods for Processing Weakly Structured Information in Natural Languages under High Noise Conditions for Solving Security Problems".

For citation: Meshcheryakov R.V., Dushkin A.V., Evsyutin O.O., Goncharov N.I. Improving the methodology of spectral analysis of speech information in conditions of interference in order to assess its protection against leakage through technical channels. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(1). (In Russ.). URL: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=2152> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.52.1.008

Введение

В настоящее время защита речевой информации от утечки по акустическим каналам осуществляется с помощью комплекса организационных и технических мер, среди которых важное место занимает оценка разборчивости речи в защищаемых помещениях. Формантный метод оценки разборчивости речи имеет ряд существенных ограничений, связанных с использованием усредненных параметров, не учитывающих вариативность речевых характеристик у разных групп говорящих [1, 2].

Современные исследования в области фонетики и акустики речи показывают, что мужская и женская речь имеют статистически значимые различия в частотных характеристиках, длительности формант и других параметрах, влияющих на

разборчивость [3, 4]. Тем не менее, в действующей методике эти различия не учитываются, что может приводить к некорректной оценке уровня защищенности помещения [5]. Кроме того, развитие цифровых технологий обработки звука и появление новых методов спектрального анализа открывают возможности для уточнения и дополнения существующих подходов к оценке разборчивости речи [6, 7]. В этой связи актуальной становится задача пересмотра и модернизации формантного метода с учетом современных научных данных и технологических возможностей [8].

Целью данной работы является совершенствование методики исследования спектрального анализа звуков для определения параметров речи, используемых в формантном методе оценки разборчивости речи, проведение моделирования и экспериментальных исследований с использованием существующего и специально разработанного программного обеспечения (ПО).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: проведен анализ фонетических характеристик речи; исследованы параметры слухового восприятия, влияющие на разборчивость речи; проведен модельный анализ спектров речи и формант; исследована существующая методика оценки разборчивости речи, выявлены ее недостатки; выбрано существующее и дополнительно разработано авторское ПО для исследования спектров звуков речи; проведены эксперименты по обработке речевых образцов для получения статистически значимых данных.

Исходными данными для работы являлись: научная литература и публикации в области акустики речи, фонетики и защиты информации; ПО для обработки и анализа звуковых сигналов; записи речевых образцов мужской и женской речи, необходимые для экспериментальных исследований [3, 9].

Материалы и методы

ПО, предназначенное для исследования звуковых сигналов, должно обеспечивать комплексный подход к обработке и интерпретации аудиоданных. Первостепенным требованием является возможность воспроизведения исходной аудиодорожки с одновременной визуализацией её временных и частотных характеристик [10]. Визуальное представление сигнала в форме фонограммы (графика амплитуды сигнала во времени) и спектrogramмы (отображения энергии сигнала в частотно-временном пространстве) позволяет идентифицировать сегменты, содержащие целевые звуки, и обнаружить артефакты, такие как посторонние шумы, клиппинг или искажения, вызванные особенностями записи. Этап предварительного анализа критически важен для формирования выборки данных, исключающей незначащие или повреждённые участки записи.

На следующем этапе проведения исследований ПО должно предоставлять функционал для точного выделения сегментов, соответствующих единичным произношениям звука. Удобнее всего производить сегментацию на основе временных меток. Для каждого выделенного фрагмента необходимо построение амплитудно-частотного спектра с применением методов спектрального анализа, таких как быстрое преобразование Фурье (БПФ). Ключевой задачей становится статистическая обработка данных: усреднение спектров множества повторений позволяет выделить устойчивые частотные характеристики, характерные для анализируемого звука. Также необходима возможность исключения шума для получения чистого сигнала.

Визуализация результатов обработки, которая включает в себя получение графиков усредненных спектров, их графическое сравнение, является обязательным условием для интерпретации данных. Для обеспечения совместимости с другими

инструментами обработки данных программа должна поддерживать экспорт результатов в структурированные форматы, такие как CSV или TXT, содержащие частоты и амплитуды полученных данных.

Заключительным этапом является междикторное усреднение спектров, направленное на исключение индивидуальных особенностей и выявление уникальных признаков каждого звука. Усредненные данные визуализируются в форме графиков, отражающих распределение энергии в частотной области. Этот подход позволяет провести сравнительный анализ между дикторами разных полов и установить статистически значимые закономерности.

Таким образом, эффективное ПО для акустических исследований должно включать в себя функции воспроизведения, сегментации, спектрального анализа, статистической обработки и визуализации.

В ходе выполнения поставленных задач были рассмотрены три популярных инструмента – iZotope RX, Adobe Audition CC и Audacity, которые демонстрируют разный уровень соответствия требованиям исследования. Каждое из этих решений обладает уникальными преимуществами и ограничениями, что определяет их применимость в научной работе.

Наиболее соответствующим задачам исследования является Adobe Audition CC, поскольку оно сочетает достаточно высокую детализацию спектрального анализа с инструментами для визуализации и первичной обработки данных. Однако для полного соответствия требованиям исследования: междикторного усреднения спектров и обработки больших массивов данных – необходима разработка дополнительной программы на Python с использованием библиотек. Интеграция Adobe Audition с Python создаст систему, где Audition отвечает за первичную обработку и определение временных меток сегментов, а программа на Python – за обработку данных, включая усреднение спектров, их визуализацию, а также синтезирование звуковой дорожки усредненного спектра для межэтапной проверки. Такой подход оптимизирует исследовательский процесс. Таким образом, следует разработать ПО.

Результаты

Для проведения исследований было создано авторское ПО, которое автоматизирует последовательность проведения исследований речевого сигнала. ПО представляет собой организованную совокупность подпрограмм, реализующих функциональные задачи исследования и инфраструктурные элементы, необходимые для удобства работы.

Описание работы модулей (подпрограмм) разработанного ПО. Обработка звуков происходит с использованием нескольких модулей (подпрограмм). Первая подпрограмма предназначена для обработки звука у одного диктора. Вторая – запускается после получения данных по одному звуку для всех дикторов, она предназначена для получения междикторного спектра звука. Третья – используется после первой для получения межзвукового спектра диктора. Четвертая – после третьей, для построения спектра всех дикторов и подсчета весового коэффициента.

Первая подпрограмма предназначена для обработки аудиозаписей речи с целью выделения чистого сигнала, подавления шумовых компонентов и визуализации спектральных характеристик. Алгоритм реализует следующие этапы, описанные ниже.

Программа начинает работу с выбора аудиофайла формата WAV через графический интерфейс. Исходные данные включают временные метки сигнала и шума, заранее определенные в Adobe Audition, а также длительность сегментов,

соответствующую продолжительности анализируемого звука. После загрузки файла данные нормализуются в диапазон $(-1, 1)$, где $|1|$ – максимальная возможная громкость, а 0 – тишина. Это необходимо в случае, если аудиофайлы имеют разную разрядность. Для каждого сегмента выполняются операции выделения временного интервала на основе предоставленных меток, применения гауссова окна и БПФ. Гауссово окно лучше остальных окон минимизирует краевые искажения, а БПФ преобразует сигнал из временной в частотную область, предоставляя комплексный спектр с информацией об амплитуде и фазе. Среднеквадратичное усреднение позволяет добиться уникальной формы спектра для исследуемого звука, сохраняя устойчивые частотные компоненты. Нормализация амплитуд относительно максимального значения позволяет нивелировать разность в громкости для разных дикторов. Чистый сигнал рассчитывается как корень из разности квадратов амплитуд спектров сигнала с шумом и чистого шума. Обратное БПФ преобразует частотный спектр обратно во временной сигнал. Программа реконструирует звук из очищенного спектра, сохраняя фазовую информацию первого сегмента для сохранения временной структуры. Результаты сохраняются в CSV-файл с колонками, включающими частоту, амплитуды чистого сигнала и шума, а также их нормализованные относительно максимума сигнала значения. Дополнительно генерируется аудиофайл с восстановленным звуком после удаления шума. Визуализация включает два графика: сравнение спектров сигнала с шумом и шума, а также спектр чистого сигнала. Графики используют логарифмическую шкалу частот и вертикальные линии на октавных частотах для улучшения читаемости.

Вторая подпрограмма служит для анализа звуковых спектров, разделяя данные по полу говорящего, и визуализирует результаты. Перед запуском необходимо ввести в подпрограмму значения границ полос звука и формант. При запуске выбирается папка с CSV-файлами, содержащими частотные характеристики записей. Файлы автоматически классифицируются на мужские и женские голоса по первому символу в названии. Это позволяет программе работать с данными разных групп отдельно. На следующем этапе обрабатываются нормализованные значения сигналов. Для каждой группы вычисляется усредненный спектр: сначала отдельно для мужских и женских голосов, а затем определяется общее среднее значение между группами. Результаты представляются в виде двух графиков. Первый график отображает усредненный спектр мужской речи в линейном масштабе, включая общий сигнал и уровень шума (Рисунок 1а). Второй график – женской речи (Рисунок 1б). Оба графика используют частотные метки в стандартных звуковых диапазонах и выделяют октавные полосы серыми линиями для удобства интерпретации. Также на обоих графиках показаны определенные ранее полосы звука (синие вертикальные линии) и полосы формант (зеленые вертикальные линии). Наконец, рассчитывается формантный параметр для всех формант звука. Параметр считается как отношение площадь под линией сигнала в полосе звука, деленный на площадь в полосе форманты.

Третья подпрограмма анализирует массивы границ формант мужской и женской речи, чтобы понять, на каких частотах чаще всего встречаются форманты формантами. Сначала подпрограмма просит пользователя выбрать папку с текстовыми файлами, в которых записаны данные о формантах. Каждый файл соответствует одному полу, который определяется по первой букве названия файла – «М» для мужчин и «Ж» для женщин.

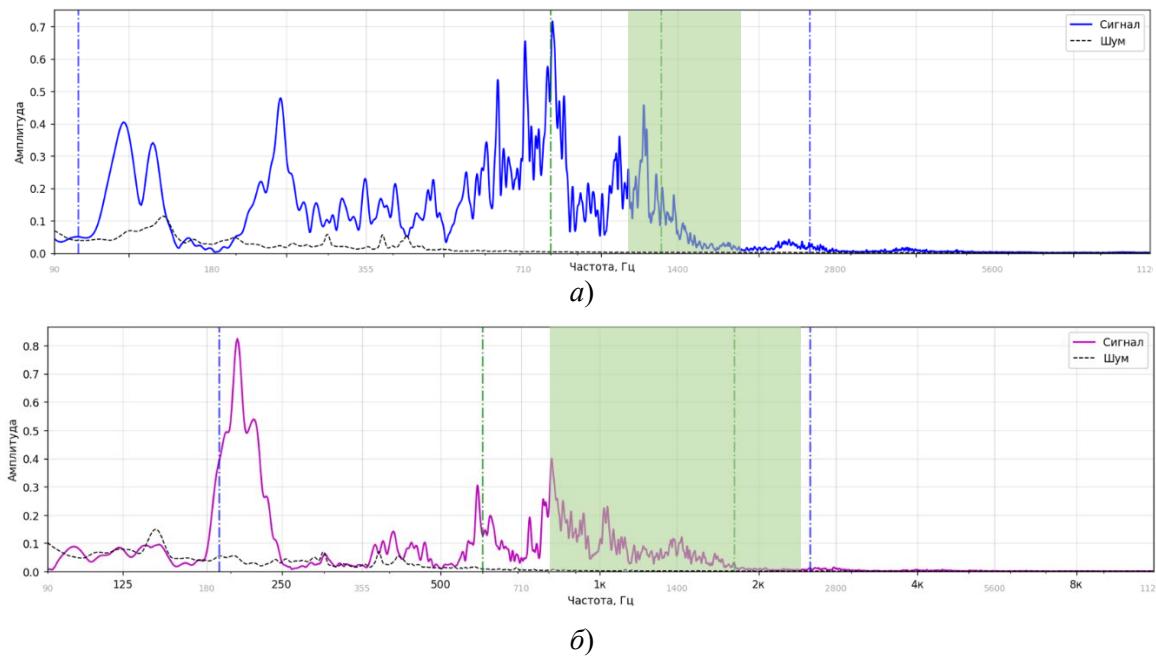


Рисунок 1 – Усредненный нормированный спектр звука «А»: а – для мужской речи;
 б – для женской речи

Figure 1 – Averaged normalized spectrum of the sound «A»: a – for male speech;
 b – for female speech

Подпрограмма читает каждый файл и находит в нем информацию о диапазонах частот, где встречаются форманты. Она подсчитывает, как часто эти диапазоны попадают частотные полосы по 100 Гц. Затем рисует два графика (Рисунок 2). На верхнем графике представляется распределение формант в мужской речи, на нижнем – в женской. По горизонтальной оси отложены частоты от 100 до 10000 Гц с логарифмической шкалой (где 1000 Гц находится в центре). По вертикали показано, какая доля всех формант приходится на каждую узкую полосу в 100 Гц. Это позволяет наглядно увидеть, на каких частотах чаще всего встречаются форманты у мужчин и женщин.

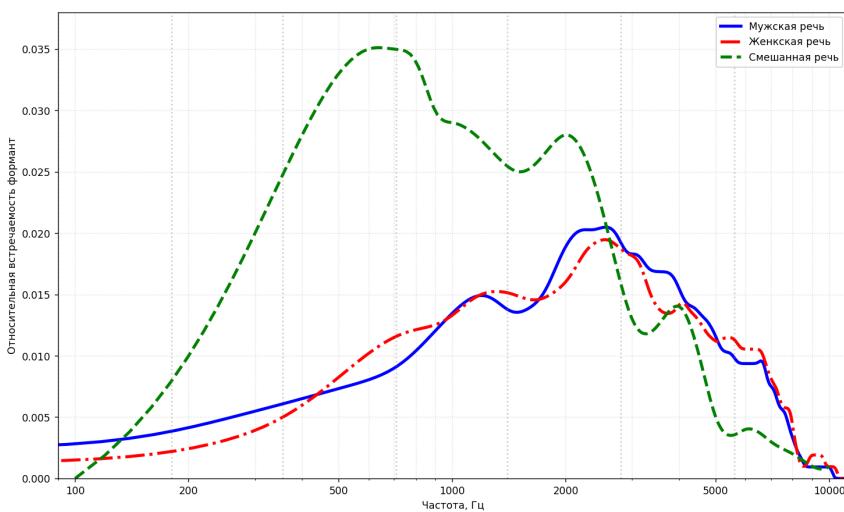


Рисунок 2 – Спектральная встречаемость (плотность вероятности) формант в речи
 Figure 2 – Spectral occurrence (probability density) of formants in speech

Полученные результаты отдаленно совпадают со встречаемостью смешанной речи по данным Н.Б. Покровского [2], но есть заметные отличия. Во-первых,

встречаемость формант в проведенном исследовании немного более равномерно распределена по спектру. Во-вторых, в данном исследовании результатах заметна вогнутость кривой, в полученных результатах она наблюдается в диапазоне 600–1000 Гц, в [2] – 1000–1500 Гц. В-третьих, максимальное значение спектральной встречаемости в проведенном исследовании составляет примерно 2,0 %, в [2] – 3,5 %. Такие различия можно объяснить различиями в тембре голоса дикторов в выборках или же несовершенством технологий середины XX века.

Четвертая подпрограмма предназначена для анализа одного диктора на основе исходных данных без нормализации. При запуске пользователь выбирает папку с CSV-файлами, содержащими частотные характеристики записей одного человека. Каждый файл должен включать информацию об амплитуде чистого сигнала и фонового шума в абсолютных значениях. На следующем этапе вычисляются усредненные показатели. Сигнал и шум усредняются по формуле среднего квадратического. Отдельно определяется пиковое значение сигнала, которое становится опорной точкой для преобразования всех данных в относительную шкалу от 0 до 1, что будет далее необходимо для построения спектра всех дикторов. Результаты автоматически сохраняются в CSV-файл внутри выбранной папки. Визуализация сосредоточена на демонстрации частотного распределения сигнала и шума (Рисунки 3, 4).

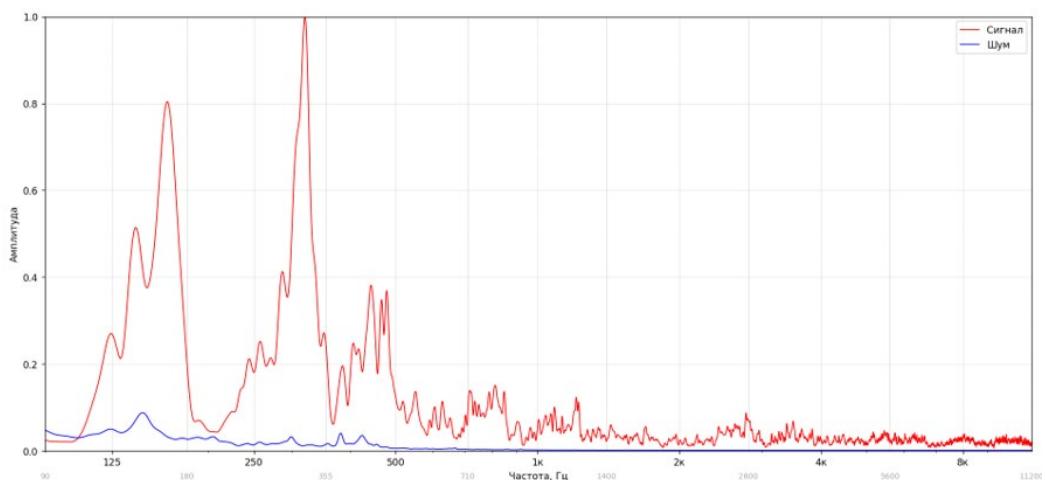


Рисунок 3 – Усредненный нормированный спектр речи одного диктора-мужчины
Figure 3 – Average normalized speech spectrum of one male speaker

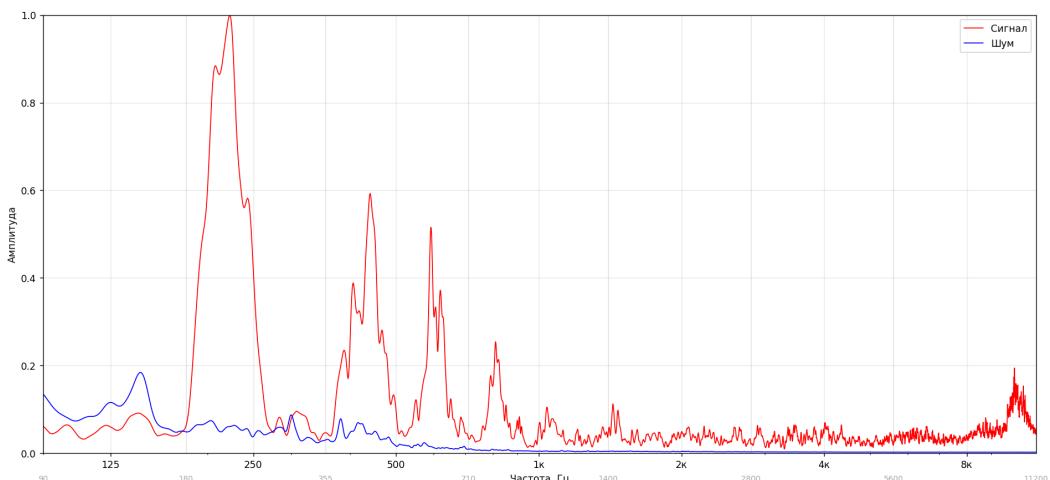


Рисунок 4 – Усредненный нормированный спектр речи одного диктора-женщины
Figure 4 – Average normalized speech spectrum of one female speaker

Пятая подпрограмма объединяет результаты анализа отдельных дикторов, позволяя сравнить их голосовые профили и выявить общие закономерности. При запуске пользователь выбирает папку с обработанными данными, где каждый файл соответствует одному человеку и содержит нормализованные частотные характеристики его речи. Названия файлов автоматически определяют пол диктора для последующего разделения данных. Подпрограмма агрегирует информацию, совмещая спектры всех участников. Для мужских и женских голосов отдельно рассчитывается усредненное распределение сигнала по частотам (Рисунок 5). На основе этих данных определяется общий спектр, который учитывает вклад обеих групп. Параллельно вычисляется усреднённый уровень фонового шума по всем дикторам. Для подсчета весового коэффициента программа определяет, какая доля общей громкости речи приходится на октанты. Для мужских и женских голосов эти пропорции рассчитываются отдельно, что позволяет наглядно сравнить их акустические особенности. Результаты представляются в виде таблицы с соотношениями, где сразу видны различия в частотной нагрузке между группами. Визуализация включает два графика. Первый показывает усредненные спектры: мужские и женские профили отображаются разными цветами, обобщенный – выделенной линией, а уровень шума обозначается черным пунктиром. Второй график демонстрирует диапазон изменчивости сигналов между дикторами, отображая минимальные и максимальные значения, а также устойчивый уровень шума. Оба графика используют частотные метки на границах октавных полос.

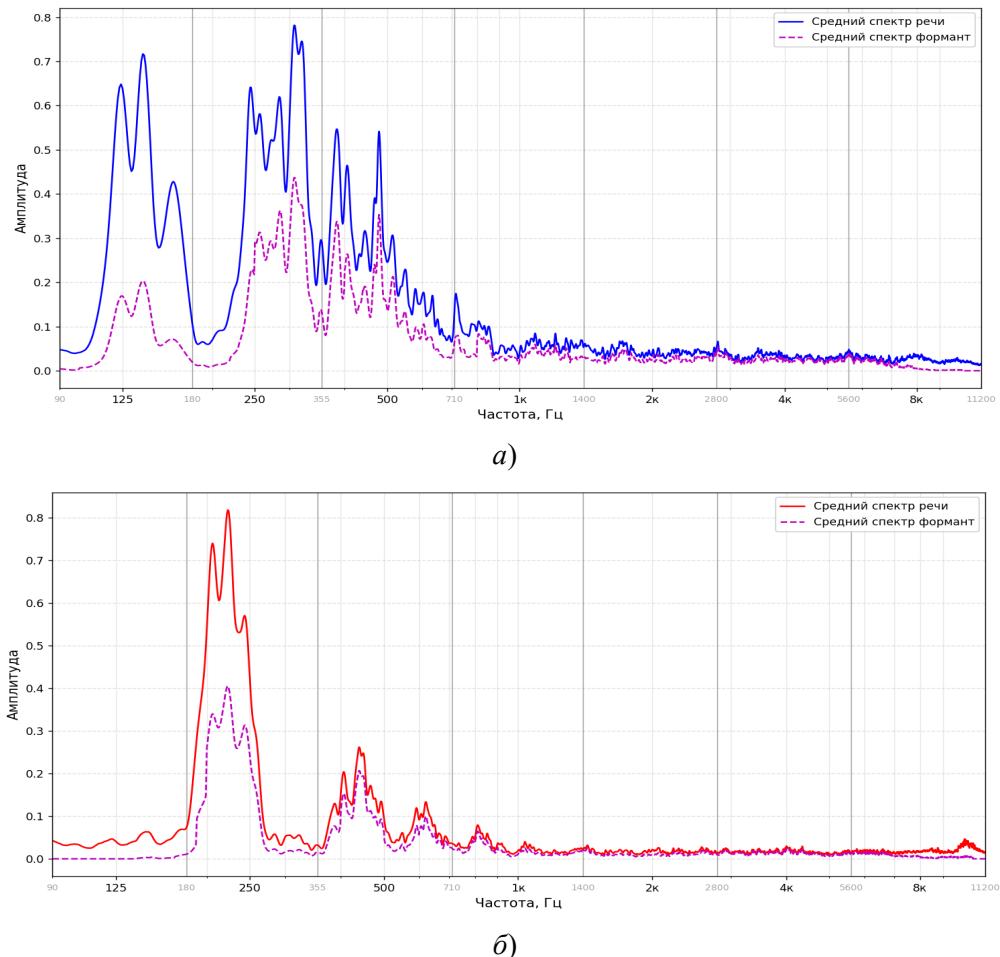


Рисунок 5 – Усредненный нормированный спектр и формант: *a* – мужской речи;
б – женской речи

Figure 5 – Average normalized spectrum and formant: *a* – male speech; *b* – female speech

Спектры речи мужчин и женщин заметно отличаются друг друга. Например, в спектре женской речи гораздо меньше амплитуда в первой октаве, что соответствует более высокому тембру женской речи. Также на графике диапазона амплитуды речи видно, что разница в амплитуде речи может составлять порядка 20 дБ. Как можно заметить, октавный уровень громкости речи женщин и мужчин отличается. Есть заметное отличие в первой октаве. Причина тому – низкий тембр мужского голоса в сравнении с женским. Женская речь превышает мужскую по громкости только во второй и седьмой октавах при равных интегральных уровнях. В остальных октавах спектральные уровни примерно равны.

Заключение

Предлагаемое в работе разделение параметров по полу на основе модифицированного формантного метода позволяет устраниТЬ один из ключевых недостатков существующих научных подходов к решению данной задачи – использование усредненных характеристик речи, не отражающих реальное разнообразие речевых сигналов. В ходе исследования усовершенствована методика спектрального анализа речевой информации в условиях помех; реализован модифицированный вариант формантного метода оценки разборчивости речи, учитывающий вариативность речевых характеристик у разных групп говорящих; разработано специализированное ПО для автоматизированного анализа акустической речевой информации с возможностью классификации параметров по полу диктора; представлены результаты экспериментальных исследований на основе усовершенствованной методики спектрального анализа речевой информации в условиях помех по обработке речевых образцов для получения статистически значимых данных. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании систем защиты речевой информации от утечки по техническим каналам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Алдошина И.А. Слух и речь. Основы психоакустики. Ч. 17.4.1. Слух и речь. Ч. 4.1. Субъективные и объективные методы оценки разборчивости речи. *Звукорежиссер*. 2002;(8):60–66.
2. Horev A.A., Korolenko M.K., Serov F.S., Porsey I.S. Research of the Contribution of Octave Bands to Speech Intelligibility. In: *Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 27–30 January 2020, Saint Petersburg and Moscow, Russia*. IEEE; 2020. P. 2062–2065. <https://doi.org/10.1109/EIConRus49466.2020.9039337>
3. Мещеряков Р.В., Душкин А.В., Щербаков В.А., Евсютин О.О. Подходы к формированию искусственных акустических шумов при обработке слабоструктурированной речевой информации для решения задач безопасности. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2025;(6):30–36.
Meshcheryakov R.V., Dushkin A.V., Shcherbakov V.A., Evsyutin O.O. Approaches to the formation of artificial acoustic noise in evaluating the operation of a system for processing weakly structured speech information to solve security problems. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*. 2025;(6):30–36. (In Russ.).
4. Хорев А.А., Порсев И.С. Методика вероятностной оценки разборчивости речи. *Защита информации. Инсайд*. 2020;(2):44–52.
Khorev A.A., Porsey I.S. Method for the probabilistic assessment of speech intelligibility. *Zashita informacii. Inside*. 2020;(2):44–52. (In Russ.).

5. Хорев А.А., Порсев И.С. Вероятностный метод обоснования показателей и критериев эффективности защиты речевой информации от ее утечки по техническим каналам. *Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере.* 2024;2(52):24–36.
Horev A.A., Porsev I.S. A probabilistic method for substantiating indicators and criteria for the effectiveness of protecting speech information from its leakage through technical channels. *Journal of the Ural Federal District. Information Security.* 2024;2(52):24–36. (In Russ.).
6. Порсев И.С. Методика контроля эффективности защиты акустической речевой информации от утечки по техническим каналам в выделенных помещениях на основе вероятностной оценки. *Вестник Воронежского института ФСИН России.* 2022;(1):90–97.
Porsev I.S. Method of monitoring the effectiveness of protection of acoustic speech information from leakage through technical channels in dedicated premises based on probabilistic assessment. *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii.* 2022;(1):90–97. (In Russ.).
7. Покровский Н.Б. *Расчет и измерение разборчивости речи.* Москва: Связьиздат; 1962. 391 с.
8. Авдеев В.Б., Анищенко А.В., Петигин А.Ф., Трушин В.А. Оценка словесной разборчивости речи в условиях воздействия помех. Часть 1. *Телекоммуникации.* 2024;(11):23–40.
Avdeev V.B., Anishchenko A.V., Petigin A.F., Trushin V.A. Assessment of verbal intelligibility of speech under conditions of interference. Part 1. *Telecommunications.* 2024;(11):23–40. (In Russ.).
9. Волков Н.А., Иванов А.В. Подход к оценке защищенности речевой акустической информации с применением нейронных сетей. *Вестник СибГУТИ.* 2024;18(2):43–56. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2024-18-2-43-56>
Volkov N.A., Ivanov A.V. An Approach to Assessing the Security of Speech Acoustic Information Using Neural Networks. *The Herald of the Siberian State University of Telecommunications and Information Science.* 2024;18(2):43–56. (In Russ.). <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2024-18-2-43-56>
10. Денисов В.Д., Душкин А.В., Мельников С.Ю. Программное обеспечение для оценки степени влияния шумовой составляющей на восприятие акустического речевого сигнала. В сборнике: *Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий (РЭУС-ИТ 2025): Доклады Всероссийской конференции, посвящённой «Дню радио», 22–23 мая 2025 года, Москва, Россия.* Москва: Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова; 2025. С. 195–200.
Denisov V.D., Dushkin A.V., Melnikov S.Yu. Software for assessing the degree of influence of the noise component on the perception of an acoustic speech signal. In: *The Radio-Electronic Devices and Systems for the Infocommunication Technologies (REDS-2025): Proceedings All-Russian Conference Dedicated to "Radio Day", 22–23 May 2025, Moscow, Russia.* Moscow: Rossiiskoe nauchno-tehnicheskoe obshchestvo radiotekhniki, elektroniki i svyazi im. A.S. Popova; 2025. P. 195–200. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Мещеряков Роман Валерьевич, доктор **Roman V. Meshcheryakov**, Doctor of technical sciences, professor, chief researcher of the Laboratory of Cyber-Physical Systems, V.A. Trapeznikov Institute of Control

им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Российская Федерация. Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, the Russian Federation.
e-mail: meshcheryakov.roman@gmail.com
ORCID: [0000-0002-1129-8434](https://orcid.org/0000-0002-1129-8434)

Душкин Александр Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационная безопасность», Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, Российской Федерации.

e-mail: a_dushkin@mail.ru
ORCID: [0000-0002-8078-8971](https://orcid.org/0000-0002-8078-8971)

Alexandr V. Dushkin, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Professor at the Department of Information Security, National Research University of Electronic Technology, Moscow, the Russian Federation.

Евсютин Олег Олегович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационной безопасности киберфизических систем, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Российской Федерации.

e-mail: oevsyutin@hse.ru
ORCID: [0000-0002-8257-2082](https://orcid.org/0000-0002-8257-2082)

Oleg O. Evsyutin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Department of Information Security of Cyber-Physical Systems, National Research University Higher School of Economics, Moscow, the Russian Federation.

Гончаров Никита Игоревич, кандидат технических наук, доцент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российской Федерации.

e-mail: nikigoncharov@yandex.ru
ORCID: [0009-0007-8054-9202](https://orcid.org/0009-0007-8054-9202)

Nikita I. Goncharov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 08.12.2025; одобрена после рецензирования 19.01.2026; принята к публикации 26.01.2026.

The article was submitted 08.12.2025; approved after reviewing 19.01.2026; accepted for publication 26.01.2026.