

ОЦЕНКА РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ

Г.В. Давыдов, В.А. Попов, А.В. Потапович

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

Аннотация. Эта статья посвящена оценке разборчивости речи при ее защите от утечки по акустическим каналам путем ее маскирования комбинированными акустическими сигналами, включающими «белый» шум и речеподобные сигналы. Сложности в решении задач защиты речевой информации, как и задач защиты информации в целом, обусловлены неопределенностями, связанными с трудностями математической формулировкой задач защиты с одной стороны и большим множеством факторов, влияющих на показатели защищенности речевой информации с другой стороны. Для правильной оценки защищенности речевой информации по показателям ее разборчивости необходимо принять ряд допущений и ограничений, которые могут быть приняты на базе опыта практической реализации защиты речевой информации известными техническими средствами и комплексом организационных мероприятий.

Ключевые слова: риск безопасности, речевая информация, конфиденциальность, разборчивость речи, защищенность информации.

SPEECH INTELLIGIBILITY ASSESSMENT

H.V. Davydau, V.A. Papou, A.V. Patapovich

*Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics",
Minsk, Belarus*

Abstract. This article is devoted to the evaluation of speech intelligibility when protecting it from leakage through acoustic channels by masking it with combined acoustic signals, including "white" noise and speech-like signals. The difficulties in solving speech information protection problems, as well as information protection problems in general, are due to uncertainties associated with the difficulties of mathematical formulation of protection problems, on the one hand, and a large number of factors affecting the indicators of speech information security, on the other hand. To correctly evaluate the security of speech information based on its intelligibility indicators, it is necessary to accept a number of assumptions and limitations that can be adopted based on the experience of practical implementation of speech information security using known technical means and a set of organizational measures.

Keywords: security risk, speech information, confidentiality, speech intelligibility, information security.

Сложности в решении задач защиты речевой информации, как и задач защиты информации в целом, обусловлены неопределенностями, связанными с трудностями математической формулировкой задач защиты с одной стороны и большим множеством факторов, влияющих на показатели защищенности речевой информации с другой стороны. Предлагается методику оценки разборчивости речи для оценки

защищенности речевой информации при ее использовании в системах защиты речевой информации вести по предельным состояниям. Для правильной оценки защищенности речевой информации по показателям ее разборчивости необходимо принять ряд допущений и ограничений, которые могут быть приняты на базе опыта практической реализации защиты речевой информации известными техническими средствами и комплексом организационных мероприятий.

Целью настоящей работы является разработка методики оценки разборчивости речи при маскировании ее комбинированными сигналами с учетом процедуры отбора дикторов и аудиторов с повышенной слуховой чувствительностью, что позволит с высокой степенью надежности определять разборчивость речи по индексу артикуляции и оценивать защищенность речевой информации [1].

Исторически разработки методик оценки разборчивости речи в условиях шумов были вызваны необходимостью контроля за обеспечением условий хорошей разборчивости при передаче информации по линиям связи и в первую очередь для использования в авиации. Развитие методик шло двумя направлениями. Первый подход был основан на формантной структуре речевого сигнала, т. е. концентрации энергии речевого сигнала для определенных формант в ряде областей частотного диапазона речи.

Второй подход также в некоторой степени является формантным методом оценки разборчивости речи с использованием индекса артикуляции и разрабатывался для английского языка.

Артикуляционный метод оценки разборчивости речи по индексу артикуляции разрабатывался в лаборатории Белла для обеспечения качества связи в авиационной технике и ориентирован был на английский язык. Как формантный, так и артикуляционный методы оценки разборчивости речи разрабатывались для областей разборчивости речи выше 50 % и лишь впоследствии с существенными доработками, они нашли применение для областей разборчивости речи в несколько процентов при решении задач защиты речевой информации.

Вместе с тем, следует отметить, что все методики оценки разборчивости речи в своей основе содержат экспериментально полученные зависимости разборчивости речи от индекса артикуляции или от другого какого-либо параметра. И этот другой параметр или индекс артикуляции, так или иначе, связан с отношением сигнал-шум в отдельных полосах частот (октавных, $1/3$ октавных или 20 полосах равной разборчивости) или во всем диапазоне частот речевого сигнала. В публикациях обычно приводятся эти зависимости для интегрального уровня звукового давления, т. е. для всего диапазона частот. Известные методики оценки разборчивости речи маскированной шумами предполагают, что если в одной или нескольких октавных полосах отношение сигнал / шум больше чем среднее по всему диапазону частот, то в других полосах оно должно быть на столько же меньше, чем среднее по всему диапазону частот, т.е. применим принцип аддитивности.

Методики расчета оценки разборчивости речи при ее маскировании комбинированными сигналами отсутствовали. По структурному составу комбинированные маскирующие сигналы, предназначенные для защиты речевой информации от утечки по техническим каналам, обычно содержат шумовую компоненту в виде «белого» шума и речеподобные сигналы, сформированные по базе структурных единиц речи с учетом распределения вероятностей их появления в данном языке [1].

Экспериментальные исследования разборчивости речи проводить для комбинированных маскирующих сигналов и необходимых мероприятий

по подготовке текстового материала, а также отбору и обучению дикторов и аудиторов. Методику оценки разборчивости речи для систем защиты информации следует выполнять по предельным состояниям.

Для экспериментальных исследований были сформированы комбинированные маскирующие сигналы, и они были наложены на фонограммы информационных речевых сигналов в виде связного текста длительностью около 2 – 3 минут и объемом 198–202 слов. Фонограммы озвучивались отобранными и подготовленными дикторами. При этом соотношения сигнал - комбинированный маскирующий шум были –14, –12, –10, –9 дБ.

Для оценки защищенности речевой информации комбинированными маскирующими сигналами были проведены испытания, для чего было отобрано 5 аудиторов в возрасте от 20 до 30 лет и с дифференциальную чувствительность слуха к изменению частоты звука не более 5 Гц на частоте 1000 Гц и высокой дифференциальной слуховой чувствительностью т. е. способностью воспринимать изменения интенсивности звука от 0,5 до 0,9 дБ по Люшеру. При этом измерения проводятся при средней интенсивности звука на 40 дБ выше порога слышимости и для каждой из частот 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц.

Результаты экспериментальных исследований словесной разборчивости подготовленными аудиторами путем многократного прослушивания фонограмм различными аудиторами представлены на рисунке 1. При этом речь маскировалась комбинированными сигналами и «белым» шумом.

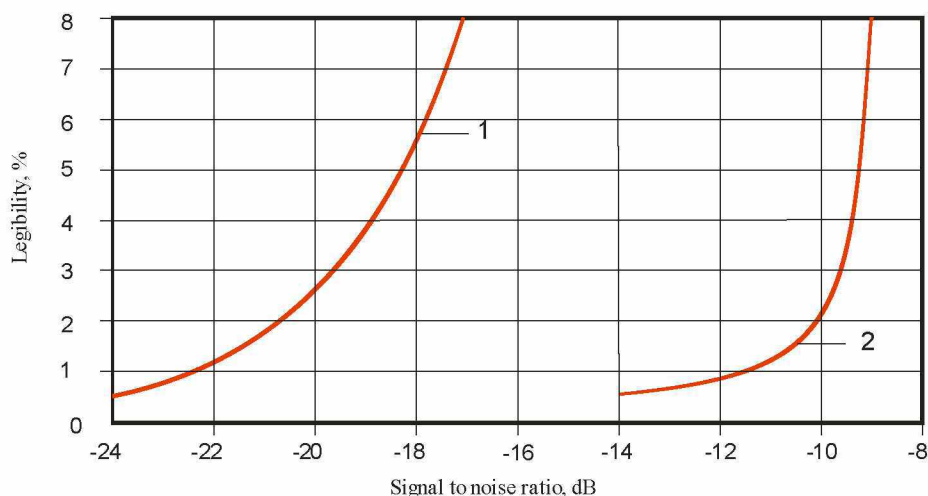


Рис. 1. Зависимость словесной разборчивости речи от отношения сигнал-шум для всего диапазона частот: Интегральное отношение сигнал-шум в относительных единицах (не в дБ) и справедливо для диапазона SN от 0 до 0,15 (для зависимости 1): 1 – для маскирующего сигнала в виде «белого» шума; 2 – для комбинированных маскирующих сигналов

Fig. 1. Dependence of speech intelligibility on the signal-to-noise ratio for the entire frequency range: Integral signal-to-noise ratio in relative units (not in dB) and is valid for the SN range from 0 to 0.15: 1 – for a masking signal in the form of “white” noise; 2 – for combined masking signals

Для комбинированных маскирующих сигналов словесная разборчивость речи может быть определена из выражения:

$$R = e^{-8,9+17,4 \cdot SN}, \quad (1)$$

где R – словесная разборчивость в относительных единицах (не в процентах); SN – интегральное отношение сигнал-шум в относительных единицах (не в дБ) и справедливо для диапазона SN от 0 до 0,35 (для зависимости 2).

Используемый параметр SN характеризует интегральное отношение сигнал-шум в относительных единицах, а не в дБ. Индекс артикуляции SPI – это логарифм среднегеометрического отношений сигнал-шум и в представленной методике не используется, хотя по своим значениям он близок к интегральному отношению сигнал-шум.

Для автоматизации вычислений словесной разборчивости речи от интегрального отношения сигнал-шум для маскирующего сигнала в виде «белого» шума была выполнена аппроксимация зависимости 1 (рис. 1.) выражением:

$$R = 6,9 \cdot SN^2 - 0,2 \cdot SN, \quad (2)$$

где R – словесная разборчивость в относительных единицах (не в процентах); SN – интегральное отношение сигнал-шум.

По результатам экспериментальных исследований получены выражения для вычисления словесной разборчивости речи для комбинированных маскирующих сигналов и для сигналов в виде «белого» шума.

Список использованных источников

1. Davydau H.V., Papou V.A., Patapovich A.V., Seitkulov Y.N., Li Ye, Fan Yanhong, et al. (2015) Method for protecting speech information. *Doklady BSUIR*, 8(94), 107–110.

References

1. Davydau H.V., Papou V.A., Patapovich A.V., Seitkulov Y.N., Li Ye, Fan Yanhong, et al. (2015) Method for protecting speech information. *Doklady BSUIR*, 8(94), 107–110.

Сведения об авторах

Давыдов Г.В., к.т.н., в.н.с., НИЛ 5.3, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», nil53@bsuir.edu.by.

Попов В.А., с.н.с., НИЛ 5.3, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», nil53@bsuir.edu.by.

Потапович А.В., с.н.с., зав. НИЛ 5.3, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», nil53@bsuir.edu.by.

Information about the authors

Davydau H.V., PhD, researcher of SRL 5.3 of R&D department, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", nil53@bsuir.edu.by.

Papou V.A., researcher of SRL 5.3 of R&D department, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", nil53@bsuir.edu.by.

Patapovich A.V., researcher of SRL 5.3 of R&D department, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", nil53@bsuir.edu.by.