

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ И
РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ В ВОЗМОЖНЫХ ТОЧКАХ ПЕРЕХВАТА
АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ПОМЕХ РАЗНОГО ТИПА**

С.Н. ПЕТРОВ, О.Б. ЗЕЛЬМАНСКИЙ

***УО «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники», г. Минск***

Аннотация. Исследовано влияние типа помехового сигнала на разборчивость речевой информации при различных отношениях сигнал/шум. В качестве помеховых сигналов использовался белый шум, не коррелированная речеподобная помеха (речевой хор), речеподобная помеха, формируемая непосредственно из речи дикторов. Рассмотрено влияние пространственного расположения электроакустических преобразователей на эффективность зашумления полезного сигнала.

Ключевые слова: разборчивость речевой информации, речеподобные помехи, зашумление, устройства защиты речевой информации.

Активные средства защиты речевой информации широко используются при проведении конфиденциальных переговоров для снижения вероятности перехвата информации техническими средствами. Наряду с достоинствами, такие системы обладают недостатками. Во-первых, использование такого защитного устройства само по себе является демаскирующим признаком, указывающим на то, что проводимые переговоры носят конфиденциальный характер и передаваемая информация обладает ценностью. Во-вторых, акустический шум может негативным образом воздействовать на нервную систему человека,

вызывая различные функциональные отклонения, приводить к быстрой утомляемости персонала, что является особенно актуальным при длительной и регулярной работе устройства защиты. Таким образом, оптимизация помехового сигнала является важной практической задачей.

Рядом авторов [1, 2] сделано заключение, что речеподобный шумовой сигнал более эффективен для обеспечения защиты речевой информации, так как имеет временные и частотные характеристики, подобные человеческой речи. Используя в качестве критерия оценки разборчивость речевой информации (как правило, словесную) было указано, что речеподобная помеха обеспечивает относительное снижение разборчивости речи на 15...30 % по сравнению с «белым» шумом при равном уровне сигналов. Такие исследования проводились с использованием инструментально-расчетного метода и математического моделирования.

В настоящей работе исследована эффективность применения различных типов помеховых сигналов методом артикуляционных испытаний. Проведение артикуляционных испытаний (запись и прослушивание артикуляционных таблиц) требует много времени, однако не требует наличия специализированного оборудования, а также позволяет использовать голос определенного диктора, как для записи таблиц, так и для формирования на его основе речеподобной помехи. Последнее особенно важно, так как способ формирования речеподобной помехи имеет решающее значение для эффективного зашумления.

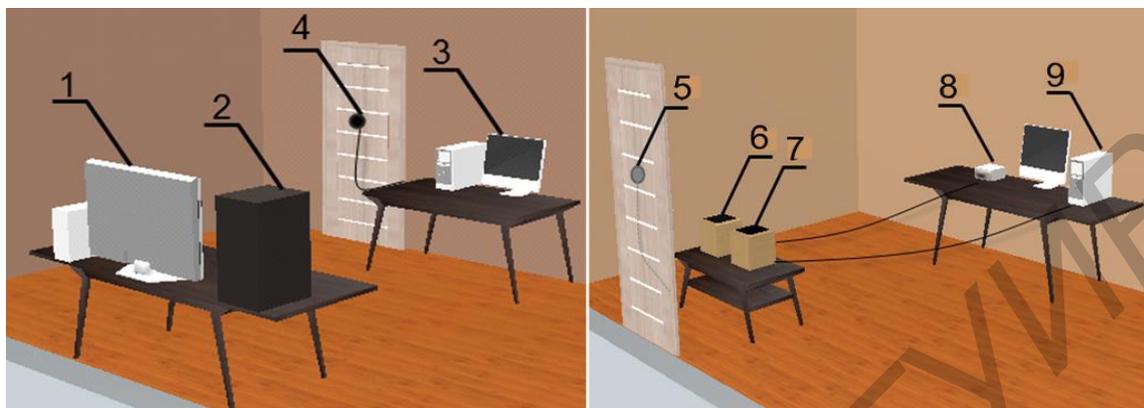
В проведении эксперимента участвовали бригада дикторов и аудиторов по десять человек в каждой (6 мужчин и 4 женщины на бригаду) в возрасте от 22 до 25 лет без дефектов слуха и дикции. Каждым диктором было записано 35 фраз согласно СТБ ГОСТ Р 50840-2000 [3], а также по три связных текста различной тематики. В качестве помехового сигнала использовались белый шум, некоррелированная речеподобная помеха, речеподобная помеха, формируемая непосредственно из речи диктора.

Отношение сигнал/шум изменялось в пределах от -20 до 10 дБ. Эксперимент проводился в акустически заглушенной комнате.

Для работы было использовано следующее оборудование: микрофон Behringer C-1; акустическая система Edifier R1900 T3; три ноутбука с установленным программным обеспечением Cool Edit Pro2; анализатор акустического шума МАНОМ-4/2; предусилитель микрофонный ВПМ-101; капсуль микрофонный конденсаторный М-101; акустические преобразователи, входящие в комплект поставки устройства защиты речевой информации «Прибой» [4].

При исследовании прямого акустического канала утечки речевой информации запись смеси полезного и помехового сигналов производилась в различных точках пространства помещения. Выбор таких точек обусловлен, во-первых, близостью к элементам строительных конструкций с минимальными значениями собственной звукоизоляции, а во-вторых, геометрией комнаты. Стоячие волны создают в помещении серию пиков и провалов, при этом в определенных зонах уровни громкости могут быть выше воспроизводимых источником. Значения трех линейных размеров прямоугольного помещения: длины, ширины и высоты, определяют соответствующие значения ее трех главных резонансных частот, то есть, продольного, поперечного и вертикального резонансов. Эти частоты различают по старшинству: первая, вторая и третья, причем первая из них, самая низкая по частоте, в прямоугольном помещении соответствует наибольшему размеру – длине. Следовательно, для помещения, используемого с целью изучения прямого акустического канала, в качестве таких точек предлагается использовать стыки стена/потолок, стена/пол (в зонах двугранных углов). Измерения проводились в помещении размерами $5 \times 5 \times 2,2$ м³, имеющем одну дверь (угловую) и одно окно.

Исследование вибрационного канала утечки речевой информации проводилось в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1, в двух помещениях, разделенных перегородкой с дверью.



- 1 – персональный компьютер для хранения и генерации тестового сигнала;
2 – акустическая система для воспроизведения тестового речевого сигнала;
3 – персональный компьютер с внешним усилителем для воспроизведения помехового сигнала; 4 – виброизлучатель; 5 – проекция расположения виброизлучателя;
6 – микрофон (для контроля уровня сигналов); 7 – микрофон для записи зашумленного тестового сигнала; 8 – шумомер-анализатор Маном; 9 – персональный компьютер.

Рисунок 1 – Схема размещения оборудования в помещениях для воспроизведения, контроля и записи зашумленного тестового сигнала.

В одном из помещений размещалось оборудование для генерации и воспроизведения тестового сигнала (фразовые таблицы), в другом размещалось оборудование для записи сигналов, прошедших через перегородку. На двери, разделяющей помещения, закреплялся виброизлучатель в разных позициях, для воспроизведения помехового сигнала. При этом большое значение имеет место крепления виброизлучателя. Это обуславливается тем, что звуковое поле воздействует на ограждающие конструкции в помещении, оказывая на их поверхность переменное давление, что приводит к колебаниям ограждений. По обратной поверхности конструкции колебания распределяются неравномерно, поскольку существуют собственные колебания

конструкции. Таким образом, в ограждающей конструкции возникают колебания с большими амплитудами на резонансных частотах собственных колебаний. Следовательно, для установки виброизлучателя необходимо локализовать точки с максимумами собственных колебаний конструкции.

На рисунках 2, 3, 4 представлены спектрограммы тестовой фразы «Штурман просил продолжать разворот», произнесенной мужским голосом и зашумленной белым шумом, некоррелированной речеподобной помехой и речеподобной помехой, сформированной из голоса диктора. Отношение сигнал/шум во всех случаях составило примерно -10 дБ.

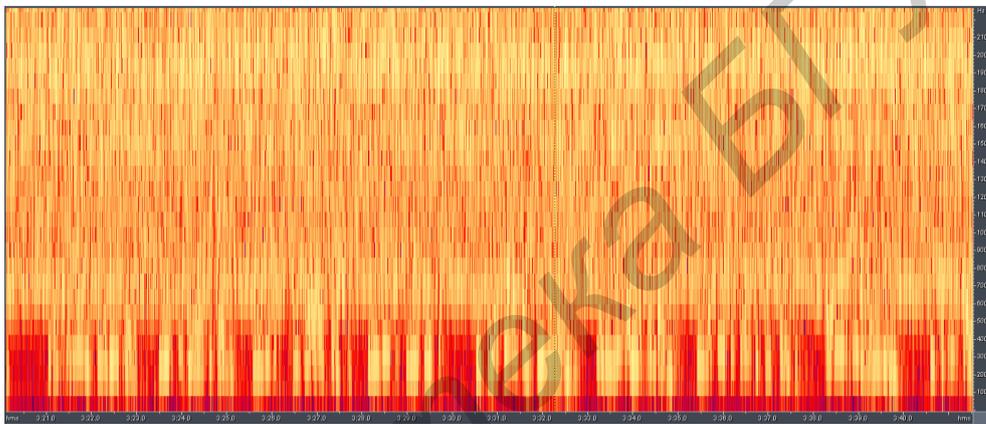


Рисунок 2 – Спектрограмма тестового сигнала, зашумленного белым шумом

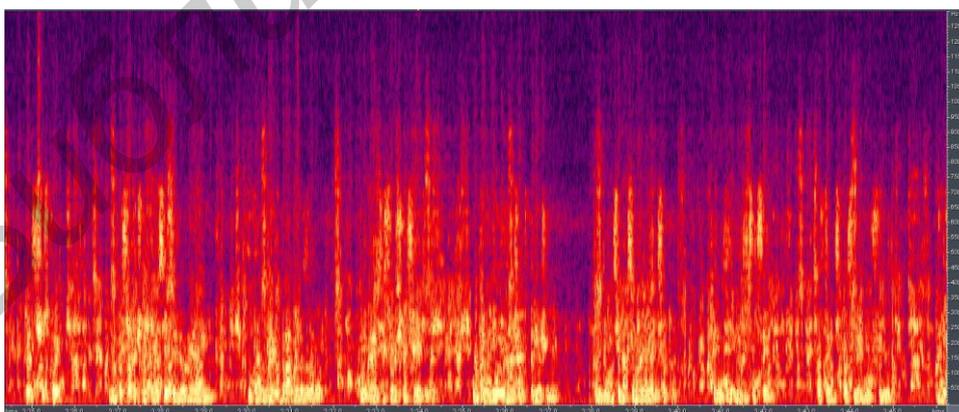


Рисунок 3 – Спектрограмма тестового сигнала, зашумленного помехой типа речевой хор

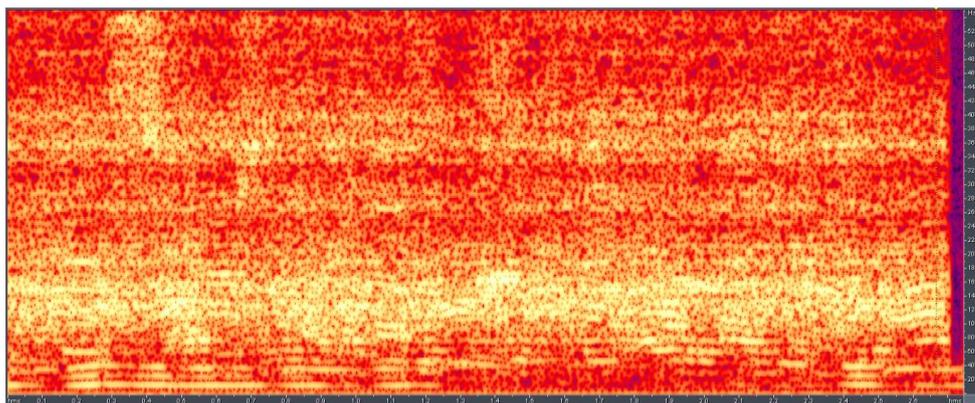


Рисунок 4 – Спектрограмма тестового сигнала, зашумленного речеподобной помехой, формируемой непосредственно из речи диктора

Белый шум достаточно сильно маскирует сигнал, при этом помеха действует одинаково интенсивно во всем рассматриваемом диапазоне частот, что позволяет скомпенсировать ее при помощи адаптивного фильтра.

На рисунке 3 явно видны следы скрываемого речевого сигнала. На рисунке 4 просматриваются отдельные фонемы.

Аудиторами был проведен анализ зашумленных тестовых сигналов путем расчета фразовой разборчивости. Фразовую разборчивость J находят как среднее значение для цикла измерений согласно формуле:

$$J = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J_i$$

где:

J – фразовая разборчивость при нормальном темпе произношения, %;

J_i – результат единичного измерения, %; вычисляется как процент правильно принятых фраз;

N – количество единичных измерений.

Фразу считают неправильно принятой, если хотя бы одно слово принято неправильно, пропущено или добавлено

Результаты оценки разборчивости речи аудиторами представлены на рисунке 5. Линия 1 – показывает оценку эффективности некоррелированной речеподобной помехи, наложенной на мужской голос, линия 2 – оценку некоррелированной речеподобной помехи, наложенной на женский голос, линия 3 – оценку помехи типа белый шум, наложенной на мужской голос, линия 4 – оценку помехи типа белый шум, наложенной на женский голос, линия 5 – оценку коррелированной речеподобной помехи, наложенной на мужской голос.

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы.

Наибольшую эффективность показала речеподобная коррелированная помеха. Несмотря на то, что на спектрограмме просматриваются признаки элементов речи, при их использовании для скрытия смыслового содержания ведущегося разговора ($J = 0,4$) необходимо обеспечить превышение уровня помех над уровнем скрываемого сигнала в точке возможного размещения датчика (устройства съема акустической) средства акустической разведки на 4 дБ, а для скрытия тематики разговора ($J = 0,2$) – на 8 дБ.

Помеха типа белый шум обладает близкими маскирующими свойствами с коррелированной речеподобной помехой, при отношении сигнал\шум примерно на 2 дБ большим. проигрывая в энергетике примерно 2 дБ.

Значительно более низкими маскирующими свойствами обладает речеподобная некоррелированная помеха. Для получения результатов, аналогичных белому шуму и коррелированной речеподобной помехе, отношение сигнал\шум должно быть на 10 дБ больше.

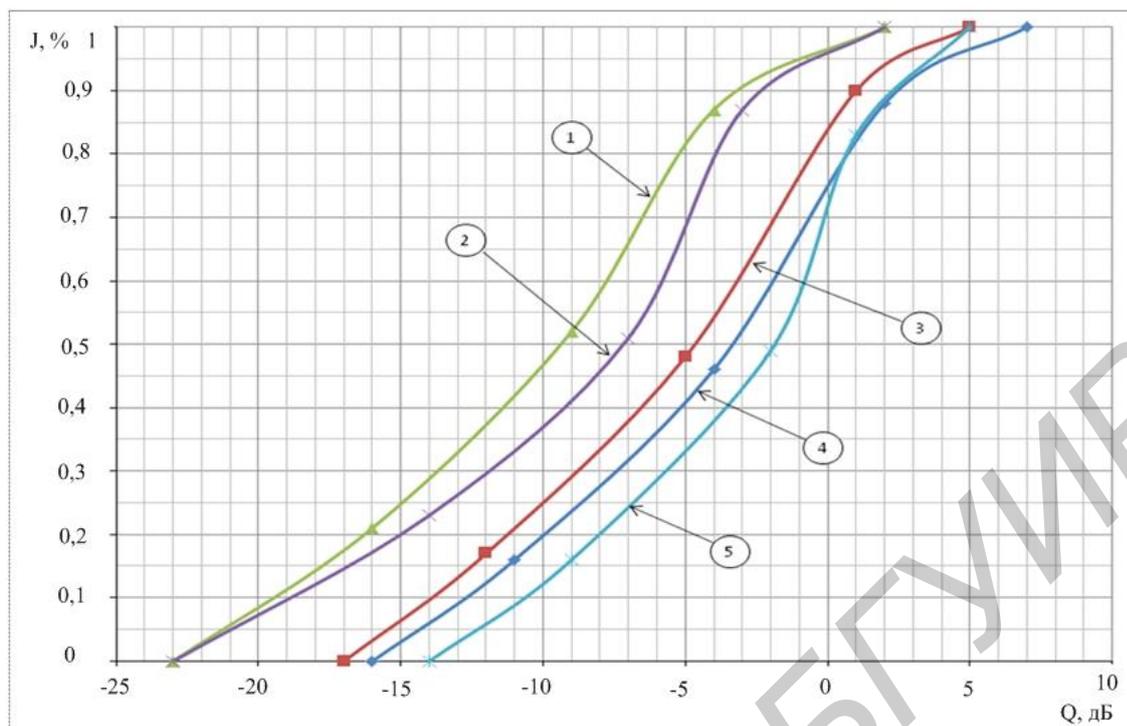


Рисунок 5 – Зависимость фразовой разборчивости J от интегрального отношения сигнал/шум в полосе частот 63 ...8000 Гц

ЛИТЕРАТУРА

1. Хорев А.А., Макаров Ю.К. Методы защиты речевой информации и оценки их эффективности // Защита информации. Конфидент. – 2001. – № 4. – С. 22-33

2. Куницын И.В., Лобашев А.К. Применение методов математического моделирования для оценки эффективности активной защиты акустической (речевой) информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=867&lvl=04.03.01>.

3. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости: СТБ ГОСТ Р 50840-2000 // Госстандарт, Минск. – 366 с.

4. Устройство защиты речевой информации «Прибой» [Электронный ресурс]. – Режим доступа

<http://www.transfer.bsuir.by/rus/products/product439.html>