

СПОСОБ И АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧЕПОДОБНОЙ ПОМЕХИ

А. А. Хорев, Н. В. Царев

Национальный исследовательский университет «МИЭТ» (г. Зеленоград)

Поступила в редакцию 19.02.2017 г.

Аннотация. Для защиты акустической (речевой информации) от утечки по техническим каналам широко используются системы виброакустической защиты, основу которых составляют генераторы шума. Проведенные исследования показали, что наиболее эффективным является речеподобная помеха, формируемая из речевых сигналов. В статье предложен способ и алгоритм формирования речеподобной помехи, представляющей собой случайную последовательность звуков русской речи. Алгоритм формирования речеподобной помехи реализован с использованием языка программирования C# и программного средства разработки Microsoft Visual Studio 2015 и может быть использован в современных системах виброакустической защиты помещений. Эффективность предлагаемой речеподобной помехи оценена экспериментально.

Ключевые слова: технические каналы утечки речевой информации, средства акустической речевой разведки, система виброакустической маскировки, генератор речеподобной помехи.

Annotation. To protect the voice information from interception by means of acoustic speech investigation (MASI), the systems of vibro-acoustic masking (SVAM) including noise generators and acoustic and vibration emitters are widely used. The conducted researches showed that the most effective noise is envelope of a range «similar» to an envelope of a range of the hidden voice signal, and the optimal one is the speech-like noise created from the voice signals. The proposed method and algorithm of speech-like noise formation represents a random series of the Russian speech sounds. This algorithm is implemented using with the C# programming language and Microsoft Visual Studio 2016 IDE. Efficiency of the offered speech-like noise generation method is confirmed experimentally.

Keywords: technical channels of leakage of the voice information, means of acoustic speech investigation, system of vibroacoustic masking, speech-like noise generator.

ВВЕДЕНИЕ

Защита акустической речевой информации является одной из важнейших задач в общем комплексе мероприятий по обеспечению информационной безопасности организаций (предприятий) и осуществляется с использованием пассивных и активных методов.

Пассивные методы защиты акустической речевой информации предполагают использование различных средств звуко- и виброизоляции и, как правило, реализуются на этапе строительства зданий или реконструкции защищаемых помещений на основе проектных решений, учитывающих типы строительных

конструкций, окон, дверей, систем вентиляции, характер прокладки инженерных коммуникаций и многие другие факторы.

Активные методы акустической речевой информации предполагают создание вибрационных и акустических маскирующих шумовых помех средствами акустической речевой разведки. Для этих целей используются системы виброакустической маскировки, включающие генераторы шума и акустические и виброизлучатели различных типов.

Системы виброакустической маскировки имеют сравнительно невысокую стоимость и могут быть установлены в защищаемом помещении без проведения строительных работ. Поэтому именно они наиболее широко используются для защиты выделенных помещений.

1. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ МАСКИРОВКИ

Особенностью акустической речевой разведки является то, что анализ перехваченной с помощью средств разведки информации производит человек – оператор. Поэтому в качестве показателя оценки эффективности защиты акустической речевой информации используется словесная разборчивость речи W_c , под которой понимается относительное количество (в процентах) правильно понятых слов из перехваченного средством разведки разговора.

Словесная разборчивость речи отражает качественную область понятности, которая выражена в категориях подробности составляемой справки о перехваченном с помощью технических средств разведки разговоре.

Для оценки разборчивости речи наиболее часто используется инструментально-расчётный метод, суть которого заключается в следующем [1].

Спектр речи разбивается на 7 октавных полос со среднегеометрическими частотами: 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

Для каждой октавной частотной полосы экспериментально определяются формантный параметр ΔA_i , дБ, характеризующий энергетическую избыточность дискретной составляющей речевого сигнала (избыточность обусловлена наличием в речи неформантных составляющих, к которым относятся основные тоны, области частот между

формантами и составляющие, зависящие от индивидуальных особенностей говорящих), а также весовой коэффициент κ_i , характеризующий вероятность наличия формант речи в данной октавной полосе частот.

Характеристики октавных полос речевого диапазона частот и экспериментально определённые значения формантного параметра спектра речевого сигнала ΔA_i , и весовых коэффициентов κ_i для октавных полос представлены в табл. 1.

Для каждой i -й октавной полосы измеряется или рассчитывается отношение «уровень речевого сигнала/уровень шума» q_i , дБ. На основе q_i рассчитывается коэффициент восприятия формант слуховым аппаратом человека p_i , представляющий собой вероятное относительное количество формантных составляющих речи, которые будут иметь уровни интенсивности выше порогового значения восприятия

$$p_i = \begin{cases} \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{если } Q_i \leq 0; \\ 1 - \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{если } Q_i > 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $Q_i = q_i - \Delta A_i$, дБ.

Далее рассчитываются спектральный индекс артикуляции (понимаемости) речи R_i и интегральный индекс артикуляции речи R

$$R_i = p_i \cdot \kappa_i. \quad (2)$$

Таблица 1

Характеристики октавных полос частотного диапазона речи

Номер полосы	Частотные границы полосы $f_n - f_s$, Гц	Среднегеометрическая частота полосы f_i , Гц	Весовой коэффициент полосы κ_i	Значение формантного параметра речи в полосе ΔA_i , дБ
1	90–175	125	0,01	25
2	175–355	250	0,03	18
3	355–710	500	0,12	14
4	710–1400	1000	0,20	9
5	1400–2800	2000	0,30	6
6	2800–5600	4000	0,26	5
7	5600–11200	8000	0,07	4

$$R = \sum_{i=1}^{i=7} R_i. \quad (3)$$

Словесная разборчивость речи связана с интегральным индексом артикуляции речи соотношением

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot R^{0,25} [1 - \exp(-11 \cdot R)], & \text{если } R < 0,15; \\ 1 - \exp\left(-\frac{11 \cdot R}{1 + 0,7 \cdot R}\right), & \text{если } R \geq 0,15. \end{cases} \quad (4)$$

Критерии эффективности защиты речевой информации во многом зависят от целей защиты: скрыть смысловое содержание ведущегося разговора, скрыть тематику ведущегося разговора или скрыть сам факт ведения переговоров.

Практический опыт показывает, что составление подробной справки о содержании перехваченного разговора невозможно при словесной разборчивости менее 70–80 %, а краткой справки – при словесной разборчи-

вости менее 40–60 %. При словесной разборчивости менее 20–40 % значительно затруднено установление даже предмета ведущегося разговора, а при словесной разборчивости менее 10–20 % – это практически невозможно (табл. 2) [2].

Проведенные исследования показали, что наиболее эффективной является речеподобная помеха, формируемая из речевых сигналов (рис. 1) [2].

В качестве примера генератора шума, формирующего речеподобную помеху, можно привести генератор шума «Барон» [3].

Речеподобная помеха в генераторе формируется путем клонирования основных фонемных составляющих речи защищаемых лиц. Формирование речеподобной помехи происходит в два этапа:

на первом этапе формируется банк речевых сонограмм, представляющий собой совокупность звуковых файлов, занесенных в память генератора шума и содержащий специально обработанные на ПЭВМ фраг-

Таблица 2

Критерии эффективности защиты выделенных помещений

Цель защиты	Потенциальные технические каналы утечки информации	Критерий эффективности защиты W_n
Скрытие факта ведения переговоров в выделенном помещении	Прямой акустический, акустовибрационный, акустооптический, акустоэлектрический, акустоэлектромагнитный	$W_n \leq 10\%$
Скрытие предмета переговоров в выделенном помещении	Прямой акустический, акустовибрационный, акустооптический, акустоэлектрический, акустоэлектромагнитный	$W_n \leq 20\%$
Скрытие содержания переговоров в выделенном помещении	Прямой акустический, акустовибрационный, акустооптический, акустоэлектрический, акустоэлектромагнитный	$W_n \leq 30\%$
Скрытие содержания переговоров в выделенном помещении	Прямой акустический без применения технических средств (непреднамеренное прослушивание)	$W_n \leq 40\%$

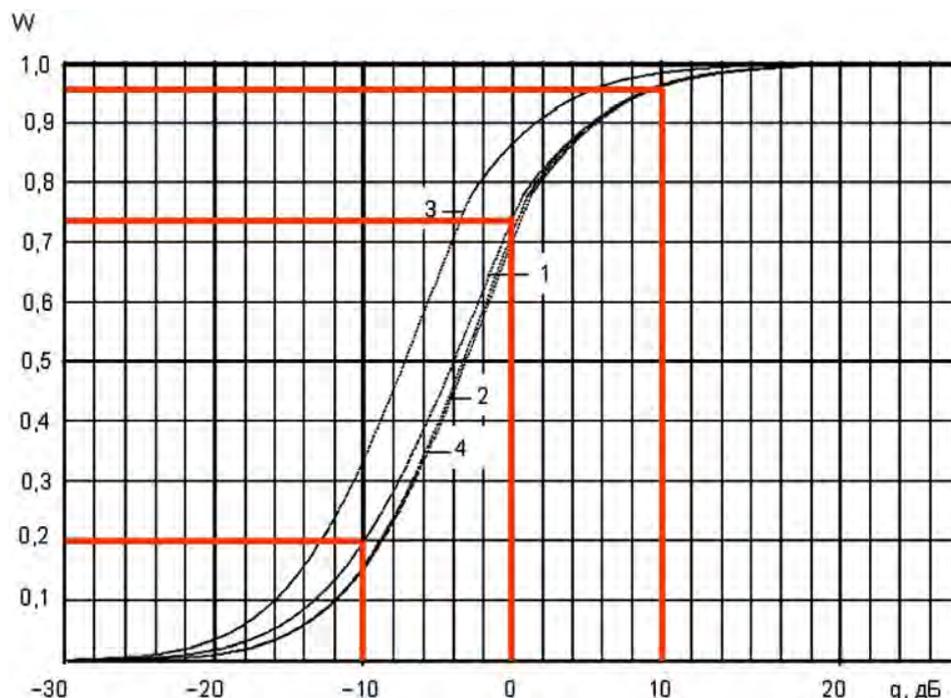


Рис. 1. График зависимости словесной разборчивости от интегрального отношения сигнал/шум в полосе частот 180–5600 Гц: 1-я кривая – это белый шум, 2-я кривая – розовый шум, 3-я кривая представляет шум со спадом спектральной плотности бдБ на октаву в сторону высоких частот, а 4-я кривая представляет непосредственно речеподобную помеху

менты речи лиц, чьи разговоры защищаются от перехвата, и производится настройка параметров «фонемной клонированной» помехи;

на втором этапе производится синтез речеподобной помехи (из памяти генератора по случайному закону берутся фрагменты исходных записанных речевых сонограмм, которые подаются на вход тракта помехового канала).

Основным недостатком генератора шума «Барон» является его высокая стоимость.

2. СПОСОБ И АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧЕПОДОБНОЙ ПОМЕХИ

Авторами предложен более простой и дешевый способ формирования речеподобной помехи типа «речевой хор», формируемой из случайной смеси звуков русской речи, который может быть реализован на обычном компьютере, имеющем звуковую карту.

Суть предлагаемого способа формирования помехи заключается в следующем:

с помощью специальной программы формируются звуки русской речи, которые за-

писываются в библиотеку звуков (в каждую ячейку памяти библиотеки записываются разные звуки русской речи).

речеподобная помеха формируется путем смешения помеховых сигналов, поступающих с пяти однотипных каналов (оптимальное количество каналов определено экспериментально);

в каждом канале помеховый сигнал представляет собой звуки русской речи, которые случайным образом выбираются из библиотеки звуков;

помеховый сигнал подается на звуковую карту компьютера, с линейного выхода которой он может быть подан или на звуковую колонку, или на внешний вход генератора шума системы виброакустической защиты;

Основным отличием предлагаемого способа формирования речеподобной помехи от реализованного в генераторе шума «Барон», является то, что для генерирования звуков русской речи и их записи в библиотеку звуков использовались специальные программы.

На рис. 2 представлена структурная схема генератора формирования речеподобной помехи, построенного на базе ПЭВМ.

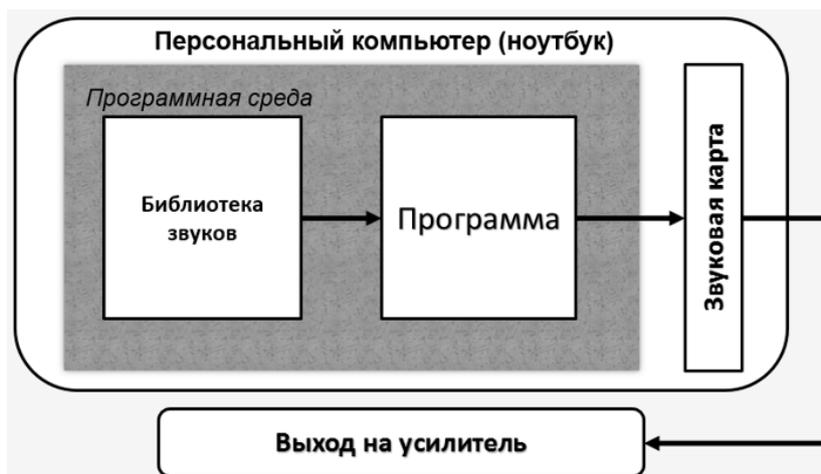


Рис. 2. Структурная схема устройства формирования речеподобной помехи с использованием персонального компьютера

Алгоритм формирования речеподобной помехи реализован на языке программирования С# в программной среде Microsoft Visual Studio 2016, что позволяет для ее формирования использовать штатные средства операционной системы Windows [4].

Visual Studio включает в себя редактор исходного кода с поддержкой технологии IntelliSense и возможностью простейшего рефакторинга кода. Встроенный отладчик может работать как отладчик уровня исходного кода, так и отладчик машинного уровня.

Остальные встраиваемые инструменты включают в себя редактор форм для упрощения создания графического интерфейса приложения, веб-редактор, дизайнер классов и дизайнер схемы базы данных. Visual Studio позволяет создавать и подключать сторонние дополнения (плагины) для расширения функциональности практически на каждом уровне, включая добавление поддержки систем контроля версий исходного кода (как, например, Subversion и Visual SourceSafe), добавление новых наборов инструментов (например, для редактирования и визуального проектирования кода на предметно-ориентированных языках программирования) или инструментов для прочих аспектов процесса разработки программного обеспечения.

Исходный код работает следующим образом.

В начале работы инициализируются системные библиотеки: библиотека ввода-вывода System.IO, библиотека стандартных функций

System и библиотека работы с мультимедиа System.Media. Также подключается одна несистемная библиотека, необходимая для работы с аудиофайлами формата «wav» NAudio.Wave.

Далее осуществляется переход к исходному коду для одного канала. Создается класс, чтобы сущности (методы и данные) объединить в один класс для единой работы.

На следующем этапе открывается статический метод, принадлежащий классу (основная функция работы программы). Инициализируются файлы и функция Directory.GetFiles («Sounds»). Sounds – название каталога библиотеки звуков русской речи. Эта функция получает список файлов из каталога, где записаны звуки русской речи.

Затем инициализируется проигрыватель Windows Media Player (это класс, который входит в состав библиотеки WMP). Сразу же после инициализации плеера инициализируется оператор случайного выбора – рандомайзер: Random (Guid.NewGuid.GetHashCode) – функция генерации псевдослучайной последовательности.

После инициализации всех вышеперечисленных операторов и получения библиотеки со звуками открывается бесконечный цикл, который работает следующим образом.

Случайно выбирается файл из общего количества файлов библиотеки звуков русской речи, которая была подключена ранее. Если файл формата «wav», то для проигрывателя указывается путь к этому файлу и проигрыватель через консоль воспроизводит этот

файл. Цикл прерывается только в случае снятия пользователем флажка на интерфейсе.

Данный алгоритм выполняется одновременно в пяти каналах.

Алгоритм работы одного канала таков: контроллер (одна из логических частей программы) получает от датчика случайных чисел последовательность случайных чисел, далее с помощью этой последовательности случайным образом выбирает из библиотеки ячейки памяти, в которых содержатся звуки русской речи, и подает их на звуковую карту компьютера.

Для записи библиотеки звуков была выбрана программа *Govorilka*, позволяющая воспроизводить звуки русской речи, а для редактирования записей звуков (удаления пауз между звуками и удаления звуков, случайно попавших в запись) – программа *Adobe Audition CC 2014*.

На рис. 3 приведен алгоритм записи звуковых файлов в библиотеку.



Рис. 3. Алгоритм формирования библиотеки звуков

Блок-схема алгоритма формирования речеподобной помехи в одном канале представлена на рис. 4.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЧЕПОДОБНОЙ ПОМЕХИ

Эффективность формируемой предложенным способом речеподобной помехи подтверждена экспериментально.

Для экспериментальных исследований использовалась лабораторная установка, включающая: ноутбук с установленной программой генерации речеподобной помехи;

акустическая система «Волна»; анализатор спектра – шумомер «Экофизика» и цифровой диктофон «TASCAM» (рис. 5).

Оценка эффективности речеподобной помехи проводилась в два этапа.

На первом этапе проводилась оценка эффективности речеподобной помехи методом артикуляционных испытаний в соответствии с ГОСТ 16600-72 [5].

С использованием специальной программы на жесткий диск ноутбука были записаны двадцать слов из одной из артикуляционных таблиц ГОСТ 16600-72 (табл. 3), которые использовались в качестве тестового сигнала.

На звуковую карту ноутбука подавался тестовый сигнал и формируемая речеподобная помеха. Уровень помехи и уровень сигнала регулировались с помощью микшера громкости.

С линейного выхода звуковой карты ноутбука сигналы (тестовый сигнал, помеховый сигнал, а также смесь сигнала и помехи) подавались на вход усилителя акустической системы «Волна».

С помощью цифрового диктофона «TASCAM» были сделаны восемь аудиозаписей: запись помехи, запись сигнала и 6 записей «сигнал + помеха», где разница между сигналом и помехой соответственно составляла –5; 0; 5; 10; 15 и 20 дБ.

Уровень помехи, уровень сигнала и уровень внешнего шума измерялись шумомером «Экофизика 110А» (табл. 4).

На рис. 6 представлена осциллограмма аудиозаписи формируемой речеподобной помехи, а на рис. 7 – осциллограмма аудиозаписи «сигнал+помеха», которая предоставлялась для прослушивания аудиторам.

Полученные аудиозаписи «сигнал+помеха» предоставлялись для прослушивания пяти аудиторам, которые не знали слов, которые использовались в качестве тестовых сигналов. Аудиторам предоставлялось возможность многократного прослушивания записей и их отрезков. Услышанные аудитором слова заносились в таблицу, по которой рассчитывался процент правильно понятых слов (табл. 5).

Результаты, представленные в табл. 5, показывают, что уже при отношении сигнал/

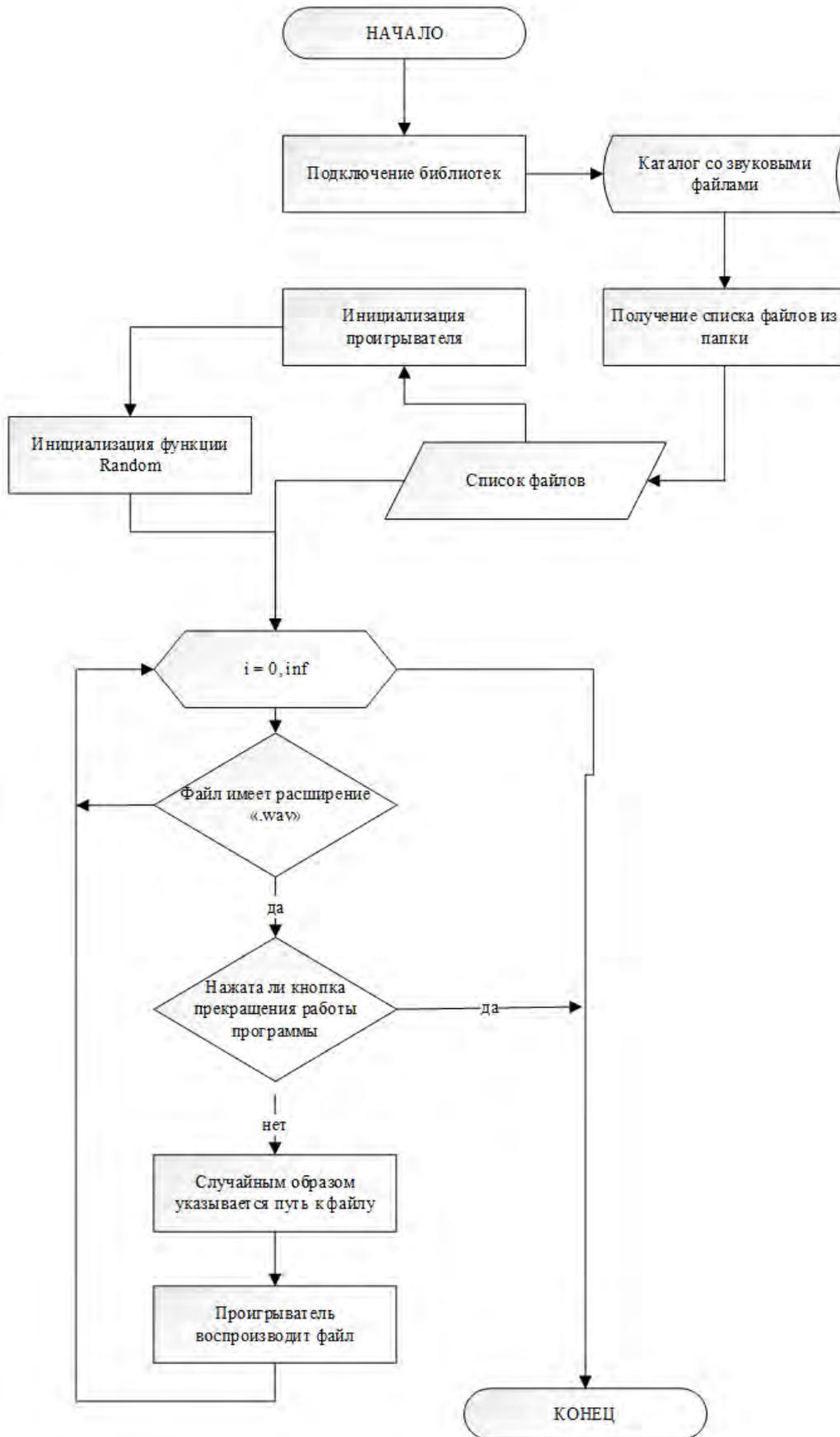


Рис. 4. Блок-схема алгоритма формирования речеподобной помехи с одного канала



Рис. 5. Внешний вид схемы установки эксперимента: 1 – ноутбук с предустановленной программой генерации речеподобной помехи; 2 – акустическая система «Волна»; 3 – анализатор спектра – шумомер «Экофизика»



Рис. 6. Осциллограмма аудиозаписи речеподобной помехи



Рис. 7. Осциллограмма аудиозаписи «сигнал+помеха»

Таблица 3

Артикуляционная таблица

№ п/п	Слово								
1	бал	5	корм	9	бук	13	шик	17	фон
2	вол	6	бот	10	бант	14	пар	18	мал
3	гром	7	морс	11	ром	15	плач	19	пуст
4	бор	8	срам	12	моль	16	хор	20	сруб

Таблица 4

Измеренные уровни сигналов и помех

Средняя частота октавной полосы, Гц	Уровень сигнала, дБ	Уровень «сигнал + помеха» при различных отношениях сигнал/шум (q), дБ					
		-5	0	5	10	15	20
125	53,3	63,6	58,6	52,7	49,6	42,1	38,8
250	63,1	69,5	66,1	60,5	56,1	50,4	45,4
500	65,5	73,2	68,7	63,0	60,3	53,3	49,0
1000	61,1	66,4	61,6	56,1	51,5	46,5	41,0
2000	56,7	69,1	64,8	59,4	55,8	49,1	44,4
4000	54,6	67,4	62,0	55,1	52,3	46,0	41,5
8000	56,5	65,8	69,3	53,3	49,8	43,7	39,0

Таблица 5

Результаты оценки словесной разборчивости методом артикуляционных испытаний

Номер аудитора	Словесная разборчивость W , %, при отношении сигнал/шум q , дБ					
	-5 дБ	0 дБ	5 дБ	10 дБ	15 дБ	20 дБ
1	5 %	0 %	45 %	65 %	70 %	75 %
2	0 %	0 %	10 %	40 %	65 %	80 %
3	0 %	0 %	0 %	0 %	40 %	55 %
4	0 %	0 %	0 %	20 %	45 %	60 %
5	0 %	0 %	0 %	15 %	55 %	70 %
Средняя разборчивость речи	1 %	0 %	11 %	28 %	55 %	70 %

Таблица 6

Результаты оценки словесной разборчивости инструментально – расчетным методом

Отношение сигнал/шум q , дБ	Словесная разборчивость W , %
-5	38
0	73
5	88
10	95
15	99
20	100

помеха менее 5 дБ, словесная разборчивость становится менее 11 %, что исключает возможность установления даже предмета разговора (см. табл. 2).

На втором этапе проводилась оценка эффективности речеподобной помехи инструментально-расчетным методом. В качестве исходных данных для расчета использовались измеренные уровни сигналов и помех в октавных полосах, приведенные в табл. 4. Расчет словесной разборчивости речи W проводился по формулам (1)–(4). Результаты расчетов представлены в табл. 6.

Анализ результатов, представленных в табл. 6, показывает, что они имеют высокую корреляцию с результатами расчетов, представленными на рис. 1.

Сравнение результатов оценки эффективности речеподобной помехи артикуляционным и инструментально – расчетным методами показывает, что они существенно отличаются: например, при отношении сигнал/помеха $q = 5$ дБ, словесная разборчивость, полученная артикуляционным методом, составляет 11 %, а, полученная инструментально – расчетным методом – 88 %.

Возможно такое расхождение обусловлено тем, что для библиотеки звуков, используемых для формирования речеподобной помехи, и для формирования тестового речевого сигнала, использовалась одна и та же программа, то есть звуки, используемые для формирования помехи и тестовые слова произносились одним голосом, а также тем, что используемая для расчета словесной разборчивости речи методика не учитывает особенностей восприятия человеком речи в условиях помехи, формируемой из звуков этой же речи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен способ формирования речеподобной помехи типа «речевой хор», формируемой из случайной смеси звуков русской речи, алгоритм формирования которой реализован на языке программирования C# в программной среде Microsoft Visual Studio 2016.

Учитывая то, что для формирования речеподобной помехи используются штатные средства операционной системы Windows, предлагаемый способ может быть реализован практически во всех современных системах виброакустической маскировки.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность предлагаемой речеподобной помехи.

Целесообразно продолжить экспериментальные исследования эффективности речеподобной помехи методом артикуляционных испытаний при различных способах формирования библиотеки звуков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железняк В. К., Макаров Ю. К., Хорев А. А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. – М. : 2000. – № 4. – С. 39–45.

2. Хорев А. А. Техническая защита информации: учеб. пособие: В 3-х т. Т. 1: Технические каналы утечки информации – М. : НПЦ «Аналитика», 2010. – 436 с.

3. Хорев А. А. Способы защиты выделенных помещений от утечки речевой (акустической) информации по техническим каналам: системы виброакустической защиты // Специальная техника. – М. : 2013. – № 4 – С. 31–63.

4. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017611063. Программа формирования речеподобной помехи виброакустической защиты / Хорев А. А., Царев Н. В., Щербаков В. А; заявитель и правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национально-исследовательский университет «Московский институт электронной техники». – Заявка № 2016662489 от 16.11.2016; опублик. 19.01.2017. Бюл. № - 9 с.

5. ГОСТ 16600-72. Межгосударственный стандарт. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений. – М. : Стандарт Информ, 2007. – 74 с.

Хорев Анатолий Анатольевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность», факультет микроприборов и технической кибернетики, Национальный исследовательский университет «МИЭТ».

E-mail: horev@miee.ru

Царев Никита Викторович – магистрант кафедры «Информационная безопасность», факультет микроприборов и технической кибернетики, Национальный исследовательский университет «МИЭТ».

E-mail: carev_n@mail.ru

Horev A. A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information security, faculty of Computer Science and Telecommunications, National Research University of Electronic Technology.

E-mail: horev@miee.ru

Tsarev N. V. – Master of the Department of Information security, faculty of Computer Science and Telecommunications, National Research University of Electronic Technology.

E-mail: carev_n@mail.ru