

На правах рукописи

Волчихина Мария Владимировна

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ
КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО
АКУСТОВИБРАЦИОННОМУ КАНАЛУ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ
РЕЧЕПОДОБНОЙ ПОМЕХИ**

2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» на кафедре информационных систем и защиты информации.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Алексеев Владимир Витальевич

Официальные оппоненты: **Еременко Владимир Тарасович**,
доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С.
Тургенева», кафедра информационной безопасности,
профессор

Супрун Александр Федорович,
кандидат технических наук, доцент,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Институт компьютерных наук и
кибербезопасности, доцент высшей школы
кибербезопасности

Ведущая организация: Ордена Трудового Красного Знамени федеральное
государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Московский
технический университет связи и информатики» ,
г. Москва

Защита состоится 25 декабря 2025 года в 11.00 на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.038.03, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» по адресу: Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1, ауд. 554/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГУТ по адресу Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1 и на сайте www.sut.ru.

Автореферат разослан 24 октября 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 99.2.038.03,
канд. техн. наук, доцент

А.Г. Владыко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Утечка конфиденциальной речевой информации по техническим каналам на объектах информатизации остается весьма актуальной в течение многих десятилетий, особенно в современных условиях деятельности как государственных, так и частных предприятий, учреждений и организаций. Это обусловлено тем, что помещения, в которых они ведут свою деятельность, располагаются компактно в офисных зданиях, зачастую имеют общие границы (стены, пол, потолок). В условиях городской застройки, здания расположены близко друг к другу, что существенно ограничивает пространство, в котором исключено неконтролируемое пребывание сотрудников и посетителей, посторонних транспортных, технических и иных материальных средств, т.е. контролируемая зона крайне ограничена. Это повышает возможности перехвата конфиденциальной речевой (акустической) информации. При этом офисные помещения не всегда в полной мере обеспечены средствами пассивной защиты, а существующие методики применения активных средств защиты речевой информации (СЗИ) ограничивают их область применения, в которую, как правило, не попадают офисные помещения.

Многочисленные исследования, направленные на противодействие перехвату конфиденциальной речевой информации, показали, что весьма эффективным способом защиты в этом случае является применение речеподобной помехи (РПП). Вместе с тем в существующих СЗИ («Барон», «Эхо», «Шаман») формирование указанной помехи основано на заблаговременной записи и воспроизведении речи человека, который может быть и субъектом переговоров, речь которого должна скрываться речеподобной помехой. Однако на практике, во-первых, количество субъектов и язык ведения переговоров может меняться и не для каждого из участников переговоров имеется соответствующая запись для формирования РПП. Во-вторых, формируемая таким образом помеха не является адаптивной к параметрам (амплитуде и тембру) речевого сигнала и в случае изменения количества субъектов переговоров оказывается недостаточно эффективной, что создает возможность при соответствующей обработке смеси акустического сигнала и помехи выделять речевой сигнал, содержащий конфиденциальную информацию. Кроме того, указанная смесь сигналов может перехватываться не только акустическими, но и вибрационными устройствами съема речевой информации. В этом случае актуальна задача подавления обоих типов

устройств, которая применительно к использованию РПП, формируемой из сигналов речи субъектов переговоров, то есть адаптивной РПП, до сих пор не рассматривалась.

Весьма существенным обстоятельством, ограничивающим применение активных средств защиты речевой информации в офисных помещениях, сегодня является необходимость соответствия интегрального уровня помехового сигнала требованиям условий труда по уровню создаваемого шума. До сих пор такие ограничения разработчиками активных средств защиты речевой информации практически игнорировались. Все это обусловило отсутствие сегодня средств защиты конфиденциальной речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу, в которых адаптивно меняется уровень и структура частотного спектра генерируемой адаптивной РПП в зависимости от изменения параметров речевых сигналов субъектов переговоров, их передвижения в офисном помещении и появления пауз в ходе переговоров.

С учетом изложенного тема исследования, направленного на разработку моделей, алгоритмов, аппаратно-программных средств защиты конфиденциальной речевой информации в офисных помещениях от утечек по акустовибрационному каналу на основе применения адаптивной РПП, является актуальной.

Степень разработанности темы. Информация об исследованиях, связанных с формированием помехового сигнала, параметры которого адаптируются к параметрам речи субъектов переговоров (учет изменений тембра и уровня сигнала), в литературе практически отсутствует. Тем не менее, анализ предметной области показал, что в ряде научных работ (Авдеев В.Б., Голубинский А.Н., Трушин В.А., Хорев А.А. и др.), посвященных анализу свойств (параметров) речевых сигналов и защите речевой информации от утечек по техническим каналам, рассматривались в основном способы защиты, основанные на применении шумовой помехи («белого» или «цветного» шума), шумовой речеподобной помехи – шума с огибающей амплитудного спектра, подобной речевому сигналу, помехи, формируемой путем смещения фрагментов речи нескольких субъектов переговоров («речевой хор») и т.п., а также средства постановки таких помех. Кроме того, в ряде трудов представлены математические модели указанных помеховых сигналов, предложены алгоритмы оценки эффективности их применения. Так, в работах Дворянкина С.В. и Макарова Ю.К. предложены критерии эффективности защиты информации от утечек по техническим каналам, Хоревым А.А.

– способ и алгоритм формирования РПП. В работах Авдеева В.Б. и Трушина В.А. рассмотрена унифицированная РПП для средств активной защиты речевой информации, кроме того, Авдеевым В.Б. рассмотрены некоторые направления совершенствования методических подходов, применяемых при оценке эффективности технической защиты информации, Голубинским А.Н. разработана методика расчета параметров модели речевого сигнала для частного случая амплитудной модуляции суммой гармоник и математическая модель речевого сигнала, основанная на аппроксимации спектра набором постоянных составляющих в соответствующих полосах частот, а Асяевым Г.Д. дана оценка эффективности применения шумовых «речеподобных» помех для защиты акустической информации и т.д.

Вместе с тем, несмотря на достаточно глубокие исследования в области защиты речевой информации от утечек по техническим каналам указанных и многих других авторов, в них отсутствуют результаты, связанные с вопросами формирования помехового сигнала (РПП) из речи субъектов переговоров, адаптации его параметров к параметрам речевого сигнала и оценки эффективности использования адаптивной РПП при защите речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу, при соблюдении требований условий труда по уровню создаваемого ею шума.

Объектом исследования являются способы и средства активной защиты конфиденциальной речевой информации от угрозы утечек по акустовибрационному каналу на основе адаптивной РПП.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы формирования адаптивной РПП для защиты конфиденциальной речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу.

Целью исследования является обеспечение защиты конфиденциальной речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу на основе применения адаптивной речеподобной помехи при соблюдении требований условий труда по уровню создаваемого ею шума.

Для достижения цели исследования необходимо решить **научную задачу**, заключающуюся в разработке математической модели, алгоритма формирования адаптивной речеподобной помехи и технических решений по созданию средства активной защиты конфиденциальной речевой информации на основе использования

речеподобной помехи, адаптирующей к особенностям речи субъектов переговоров при соблюдении требований к условиям труда по уровню шума.

Для достижения цели и решения научной задачи сформулированы **частные задачи исследования**:

1. Построение модели адаптивной речеподобной помехи для защиты речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу, учитывающей меняющиеся параметры речевых сигналов субъектов переговоров в помещении.

2. Разработка алгоритма формирования адаптивной речеподобной помехи к изменению параметров речи субъектов переговоров и речевой обстановки в офисном помещении с прерыванием генерации помехового сигнала.

3. Построение прототипа аппаратно-программного комплекса защиты конфиденциальной информации от утечек по акустовибрационному каналу в помещении.

4. Проведение экспериментальных исследований по оценке эффективности применения разработанных модели и алгоритма в прототипе аппаратно-программного комплекса для решения задачи защиты конфиденциальной речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу.

Научная новизна результатов исследования заключается в следующем:

1. Модель адаптивной речеподобной помехи, основанная на гармонической модели речевого сигнала, отличающаяся введением в нее процедуры аддитивного преобразования исходного защищаемого речевого сигнала с разделением его на парциальные составляющие по частотному спектру, определенной задержкой во времени каждой спектральной составляющей для компенсации набега фазы, что позволяет, во-первых учесть тембр и уровень речевого сигнала субъектов переговоров, во-вторых, автоматически изменять амплитуды гармонических составляющих речеподобной помехи в зависимости от изменения амплитуды защищаемого речевого сигнала.

2. Алгоритм формирования адаптивной речеподобной помехи, отличающийся введением процедур многоканальной генерации формирования адаптивной речеподобной помехи и ее прерывания при отсутствии речевого сигнала (акустомат).

3. Прототип аппаратно-программного комплекса защиты конфиденциальной информации от утечек по акустовибрационному каналу, отличающийся

автоматической корректировкой частотного диапазона и мощности генерируемой помехи и ее гармонических составляющих со снижением интегрального уровня помеховых сигналов в интересах соблюдения требований условий труда по уровню шума.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в получении аналитических соотношений для расчета частотных и амплитудных характеристик речеподобной помехи, создаваемой для защиты конфиденциальной речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу при ограничениях, накладываемых требованиями условий труда по уровню шума.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что определены пути аппаратной и программной реализации модели адаптивной речеподобной помехи на основе шестиканального генератора с прерыванием генерации при отсутствии речевого сигнала и возможностью изменения параметров помехи в зависимости от изменения параметров защищаемых речевых сигналов субъектов переговоров.

Методология и методы исследования. В процессе исследования применялись методы теории информации, цифровой обработки сигналов, систем и множеств, передачи сигналов, подобию и моделирования систем.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная модель адаптивной речеподобной помехи позволяет учесть изменения параметров защищаемых речевых сигналов субъектов переговоров и тем самым обеспечить требуемое значение уровня словесной разборчивости на границе контролируемой зоны, а также минимизацию интегрального уровня помеховых сигналов по сравнению с аналогами, способствующую выполнению требований условий труда по уровню шума (п. 7 в части построения моделей средств противодействия угрозам утечки конфиденциальной информации по акустовибрационному каналу; п. 15).

2. Предложенный алгоритм формирования адаптивной речеподобной помехи позволяет генерировать ее из речевых сигналов субъектов переговоров только при их наличии, что повышает маскирующие свойства помехи (п. 15).

3. Оценка эффективности применения прототипа аппаратно-программного комплекса защиты конфиденциальной речевой информации от утечек по

акустиковибрационному каналу доказала адекватность разработанной модели адаптивной речеподобной помехи, прототип аппаратно-программного комплекса обладает свойством кроссплатформенности, к его реализации не предъявляются специальные системные требования, а применение не требует специальной подготовки персонала (п. 11 в части экспериментальной оценки эффективности систем (комплексов) обеспечения информационной безопасности конфиденциальной информации; п. 15).

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается корректным применением методов исследования, использованием достаточно больших объемов реальных исходных данных при проведении натурного и вычислительного экспериментов, в том числе и использованием артикуляционных таблиц при оценке эффективности применения разработанных модели, алгоритма и прототипа аппаратно-программного комплекса (АПК), а также сопоставимостью результатов натурного и вычислительного экспериментов с результатами и данными, представленными в использованных источниках.

Основные результаты исследования обсуждены на международных и всероссийских конференциях: XXVIII международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации» (Алушта, 2019); международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (Воронеж, 2021, 2024); международной научно-практической конференции «Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн» (Тамбов, 2021), X международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (Коломна, 2021); экспертном отборе Министерства обороны Российской Федерации по направлению «Большие данные, нейротехнологии и квантовые технологии» на Международном военно-техническом форуме «АРМИЯ-2021», IV Международной научно-практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса» (Тамбов, 23-25 октября 2024 г.).

Внедрение результатов исследования. Результаты исследования применены: на кафедре «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВО «ТГТУ» при разработке учебно-методических пособий, лабораторных работ и обучающих

программных комплексов по дисциплинам специальности 10.05.03 – «Информационная безопасность автоматизированных систем». Полученные, при проведении научного исследования результаты, связанные с решением задач учета параметров речи субъектов переговоров в СЗИ и формирования речеподобной помехи, учтены в перспективной программе научных исследований, проводимых в НОЦ «Проблемы управления, информатики и защиты информации в организационных и технических системах». В ООО «ТИГРИС» и Межвидовом центре подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебном и испытательном) проведено тестирование разработанных модели и алгоритма в составе АПК. Соответствующие акты представлены в диссертации.

Диссертация выполнена в процессе проведения научных исследований, проводимых НОЦ «Проблемы управления, информатики и защиты информации в организационных и технических системах» в 2020-2022 гг. при финансовой поддержке гранта РФФИ №20-37-90146 «Методология построения научно-исследовательских комплексов мониторинга характеристик защищенности конфиденциальной информации на основе системного подхода».

Публикации. По теме исследования опубликовано 19 работ, в том числе три статьи в издании перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации для специальности 2.3.6, одна статья в издании перечня ВАК для других специальностей, монография, 5 статей – в журналах, включенных в международные реферативные базы данных *Scopus* и *Web of Science*.

Выносимые на защиту результаты получены лично соискателем. В публикациях, написанных в соавторстве, личный вклад автора заключается в: обосновании актуальности темы, постановке цели и формулировке задачи на исследование, анализе предметной области [4], [5], [10], [12], [13], [14], [16], [17], [18], создании модели РПП и алгоритма ее формирования [8], [15], [19]; описанию АПК, организации и проведения натурного эксперимента [1], [2], [15]; анализе результатов исследования [10], [15], [19].

Структура и объём работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, который содержит 127 наименований, и четырех приложений. Объём диссертации составляет 137 страниц основного текста и 21 страницы приложений. Основной текст диссертации включает 58 рисунков и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертации, оценку состояния проработанности темы диссертации, цель исследования, содержание научной задачи, описание научной новизны результатов, и их теоретической и практической значимости, научные положения, выносимые на защиту, информацию о личном вкладе автора в публикациях в соавторстве. Во введении также приведено краткое описание глав диссертации.

Первая глава посвящена анализу технических каналов утечек речевой информации в помещениях офисного типа, особенностям построения и функционирования акустовибрационного канала, применяемых сегодня средств активной защиты и параметров помеховых сигналов для защиты информации от утечек по акустовибрационному каналу. Отмечено, что в существующих сегодня способах и средствах активной защиты применяются преимущественно шумовые помехи, а также речеподобные помехи, формируемые путем смещения заблаговременно записанных фрагментов речи нескольких субъектов переговоров. При этом не учитывается, во-первых, что состав субъектов (мужчин, женщин) и язык переговоров может меняться, во-вторых, в процессе переговоров может не только варьироваться громкость речи субъектов переговоров, но и меняться тембр, высота тона и даже язык переговоров. Следствием отсутствия учета параметров речи субъектов переговоров является снижение эффективности защиты речевой информации. Все это обуславливает необходимость применения адаптивной РПП, создаваемой в ходе проведения переговоров из акустических сигналов речи субъектов переговоров. Кроме того, отмечено также, что в соответствии с действующими стандартами, в частности, стандартом ИСО 3382 2009 «Измерение параметров акустики помещений», ГОСТ 30494-2011 «Акустика. Звукоизоляция помещений зданий», СНиП 23.03.2003 «Защита от шума» установлены предельные значения зашумленности помещений, то есть значение предельно допустимый интегральный уровень помехового сигнала не должен превышать 45-55 дБ.

Таким образом, имеет место практическое противоречие между необходимостью повышения эффективности активной защиты речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу путем применения адаптивной РПП и отсутствием средств для ее создания. Практическое противоречие обусловило

подлежащее разрешению научное противоречие, суть которого состоит в том, что в интересах разработки технических решений по созданию адаптивной речеподобной помехи требуется их теоретическое обоснование и оценка эффективности использования адаптивной РПП, что невозможно без, отсутствующей сегодня, соответствующей математической модели.

Вторая глава содержит описание модели адаптивной РПП, учитывающей меняющиеся параметры речевых сигналов субъектов переговоров в помещении при ограничениях, накладываемых требованиями условий труда по уровню шума в рамках решения первой частной научной задачи.

Постановка задачи и краткое описание математической модели сводится к следующему. Пусть в офисном помещении субъекты переговоров производят обмен речевыми сигналами. Злоумышленник принимает смесь сигналов, состоящей из речевого сигнала $S(t)$, компенсирующей помехи $S'(t)$, обеспечивающей за счет сложения в противофазе с защищаемым сигналом снижение его амплитуды, адаптивной РПП $S^{(РПП)}(t)$ и помехового сигнала $g(t)$, обусловленного сторонними источниками акустического сигнала. После аналогово-цифровых преобразований, совокупность речевого и помеховых сигналов в виде их гармонических моделей с дискретным представлением во времени может быть записана следующим образом:

$$z_d(i \cdot \Delta t) = S_d(i \cdot \Delta t) + S'_d(i \cdot \Delta t) + S_d^{(РПП)}(i \cdot \Delta t) + g_d(i \cdot \Delta t), \quad (1)$$

где $S_d(i \cdot \Delta t)$, $S'_d(i \cdot \Delta t)$, $S_d^{(РПП)}(i \cdot \Delta t)$ и $g_d(i \cdot \Delta t)$ – дискретное представление защищаемого речевого сигнала, компенсирующей помехи, РПП и помехового сигнала от сторонних источников в момент времени $t = i \cdot \Delta t, i = \overline{1, I}, I = \frac{T}{\Delta t}$, T – время наблюдения сигнала, Δt – интервал дискретизации, с которым осуществляется аналогово-цифровое преобразование сигналов в ЭВМ,

$$S_d(i \cdot \Delta t) = \sum_{k=1}^K A_k(i \cdot \Delta t) \cdot \cos[\varphi_k(i \cdot \Delta t)]; \quad (2)$$

$$S'_d(i \cdot \Delta t) = \sum_{k=1}^K B_k(i \cdot \Delta t) \cdot \cos[\varphi_k(i \cdot \Delta t) + \varphi_k(0) + \pi + \delta]; \quad (3)$$

$$S_d^{(РПП)}(i \cdot \Delta t) = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K C_{kn}(i \cdot \Delta t) \cdot \cos[\varphi_k(i \cdot \Delta t) + \varphi_k(0) + \varphi_{kn}(i \cdot \Delta t)] + \sum_{n=1}^N r_n(i \cdot \Delta t); \quad (4)$$

$$g_d(i \cdot \Delta t) = \sum_{k=1}^K G_k(i \cdot \Delta t) \cdot \cos[\varphi_k(i \cdot \Delta t)], \quad (5)$$

где $A_k(i \cdot \Delta t)$, $B_k(i \cdot \Delta t)$, $G_k(i \cdot \Delta t)$ – амплитуды k – й гармоники соответственно защищаемого речевого сигнала, компенсирующей помехи и помехи от сторонних

источников в момент времени, равном $i \cdot \Delta t$; $C_{kn}(i \cdot \Delta t)$ – амплитуды k -ой гармоники в n -м канале ($n = \overline{1, N}$) генератора РПП в момент времени, равном $i \cdot \Delta t$; $\varphi_k(i \cdot \Delta t)$ – фаза k -ой гармонической составляющей звука, нарастающая с течением времени, в дискретном виде,

$$\varphi_k(i \cdot \Delta t) = \sum_{i=1}^I 2\pi f_k(i \cdot \Delta t) + \varphi_k(0), \quad (6)$$

где $f_k(i \cdot \Delta t)$ – значение частоты k -ой гармоники; $\varphi_k(0)$ – значение фазы k -ой гармонической составляющей звука в начальный момент времени; $\varphi_{kn}(i \cdot \Delta t)$ – набег фазы k -ой гармонической составляющей звука, обусловленный распространением сигнала в n -ом канале генератора РПП; δ – параметр фазы, учитывающий задержку компенсирующей помехи относительно исходного сигнала, обусловленную различным пространственным положением генераторов компенсирующей помехи в помещении; $r_n(i \cdot \Delta t)$ – значение амплитуды шума дискретизации речевого сигнала в n -м канале генератора РПП, обусловленного аналогово-цифровым преобразованием сигнала; K – количество энергетически значимых (с ненулевой амплитудой) гармонических составляющих звука;

РПП формируется на основе речевых сигналов, приходящих на вход СЗИ от каждого субъекта переговоров с различной фазовой задержкой ($\varphi_{kn}(i \cdot \Delta t)$).

Таким образом, целевая функция адаптации параметров помехового сигнала средства защиты информации к параметрам речевого сигнала заключается в снижении интегрального уровня помехового сигнала на интервале существования речевого сигнала:

$$J(S'_d(i \cdot \Delta t) + S_d^{(\text{РПП})}(i \cdot \Delta t)) \xrightarrow{T} \min, \quad (7)$$

при следующих ограничениях: обеспечение требуемого (заданного) уровня словесной разборчивости в контрольной точке приема речи – $W(z_d(i \cdot \Delta t)) \leq w_{\text{треб}} = 35 \%$; наличие полезного речевого сигнала $S_d(i \cdot \Delta t) > 0$, где $w_{\text{треб}}$ – требуемый уровень словесной разборчивости.

Таким образом, разработанная модель адаптивной речеподобной помехи, представленная выражениями (1)-(6), реализует два параллельных процесса: формирование компенсирующей помехи и формирование речеподобной помехи (РПП). Модель адаптивной РПП обеспечивает подстройку параметров сигнала СЗИ в соответствии с изменениями параметров речи субъектов переговоров.

Для оценки эффективности применения, в частности компенсирующей помехи использовано значение показателя сигнала рассогласования как индикатора качества процесса активной маскировки речевого сигнала. Сигнал рассогласования определялся как сумма исходного речевого сигнала и компенсирующей помехи. Своевременный мониторинг сигнала рассогласования позволяет изменять параметры компенсирующей помехи в процессе работы СЗИ. Эта процедура мониторинга сигнала рассогласования положена в основу контроля качества процесса адаптации параметров помехового сигнала к изменению параметров речевого сигнала субъекта переговоров.

Анализ результатов моделирования показал, что перехват результирующего сигнала, складывающегося из речевого сигнала и адаптивной РПП (компенсирующей помехи и собственно РПП) не позволит выделить злоумышленнику конфиденциальную речевую информацию. Это достигается и за счет того, что адаптация помехового сигнала к параметрам речи субъектов переговоров делает процесс применения адаптивной РПП инвариантным, в отличие от использования предварительной записи речи, к количеству говорящих и языку ведения переговоров.

Таким образом, была решена первая частная научная задача исследования.

В третьей главе содержит описание алгоритма формирования адаптивной речеподобной помехи к изменениям параметров речи субъектов переговоров и речевой обстановки в офисном помещении с прерыванием генерации помехового сигнала. Алгоритм реализует процессы формирования речеподобной помехи и формирование компенсирующей помехи.

Процесс формирования РПП представлен следующими этапами:

- на микрофон подаются речевые сигналы субъектов переговоров $S(t)$;
- из речевого сигнала, после аналого-цифрового преобразования, формируется речеподобная помеха $S_d^{(РПП)}(i \cdot \Delta t)$ в соответствии с выражением (4) путем наложения фрагментов скрываемого речевого сигнала, поступающих с N каналов (достаточное количество каналов определено экспериментально);
- организуется процедура прерывания излучения помехового сигнала при отсутствии речевого сигнала;

– речеподобная помеха $S_d^{(РПП)}(i \cdot \Delta t)$ подается на звуковую карту ЭВМ, с линейного выхода которой она поступает или на звуковую колонку, или на внешний вход генератора шума СЗИ.

В процессе исследования доказано, что увеличение количества каналов преобразования приводит к изменению, как спектра генерируемой помехи, так и ее амплитуды. В результате вычислительного эксперимента установлено, что увеличение каналов больше шести не приводит к существенным изменениям спектра генерируемой помехи.

Основным отличием предложенного алгоритма формирования речеподобной помехи от реализованного, например, в генераторе шума «Барон», является то, что вместо генерирования звуков речи и их записи в библиотеку звуков непосредственно использовались речевые сигналы субъектов переговоров. На рисунке 1 представлена схема генератора РПП, построенного на базе типовой ЭВМ.

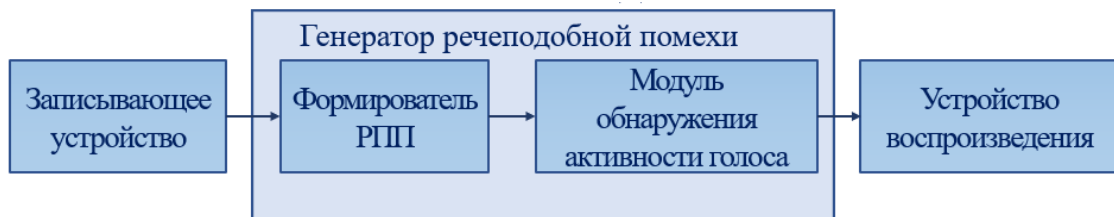


Рисунок 1 – Схема генератора речеподобной помехи

На практике реализация данной схемы организована следующим образом. В офисном помещении (рисунок 2) размещается микрофон (МК) для приема акустических колебаний, возникающих при разговоре. Сигнал с микрофона поступает на генератор РПП и воспроизводится посредством акустической системы, установленной в виде динамиков около стены, окон и двери (Д1, Д2, Д3 и Д4). За дверью, стеной и окнами располагаются контрольные точки съема информации (КТ1, КТ2, КТ3, КТ4). В состав генератора входят: формирователь РПП и акустомат, обеспечивающий прерывание излучения РПП в паузах разговора. В результате сформированная таким образом РПП, сохраняет все особенности речевого сигнала субъекта переговоров (рис. 3).

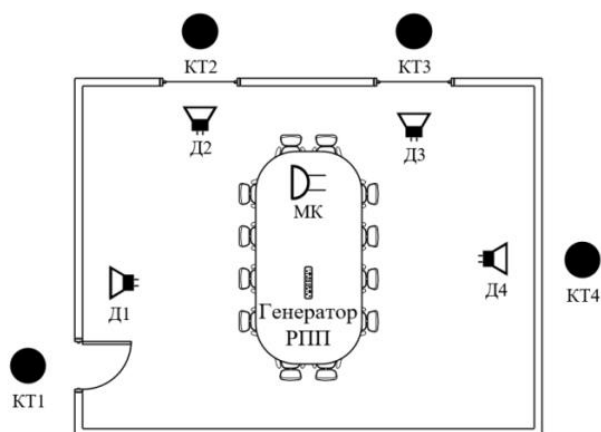


Рисунок 2 – Положение контрольных точек съема информации и генератора речеподобной помехи

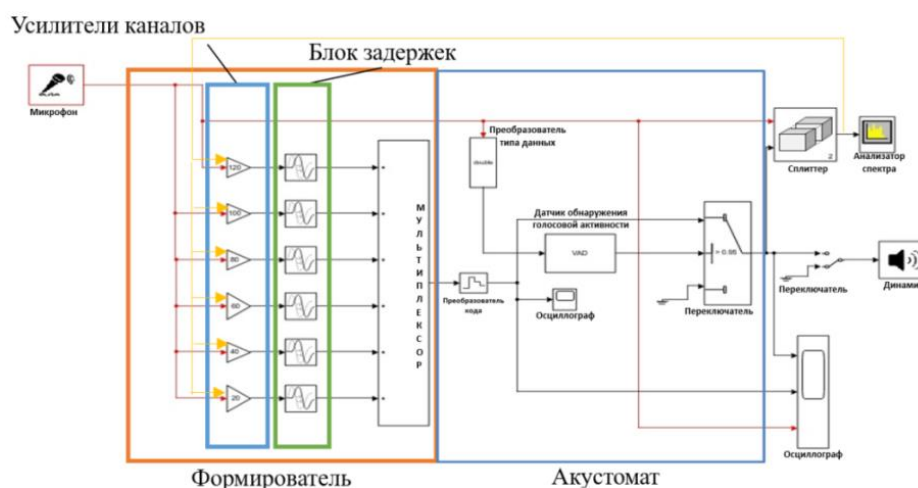


Рисунок 3 – Генератор речеподобной помехи с шестью каналами формирователя

Результаты исследования по определению времени задержки в каналах и количества каналов преобразования показали, что в линиях задержки каналов формирования РПП для устранения пауз между фоноабзацами, фразами и синтагмами время задержки должно составлять 0.3, 0.5, 0.8, 1.1, 1.3 и 1.5 секунд в каждом канале соответственно. В ходе исследования (рис. 4) получены спектры речевого сигнала (нижний спектр (желтый цвет)) и синтезированной генератором РПП (верхний спектр (голубой цвет)), а также временные диаграммы РПП и ее смеси с исходным речевым сигналом (рис. 5). Результаты моделирования показали достаточную схожесть данных спектров. Также подтверждено, что спектральный состав речи в значительной степени зависит от пола, возраста и индивидуальных особенностей говорящего, а для

различных людей отклонение уровней сигналов, измеренных в октавных полосах, от типовых уровней составило до 6 дБ.

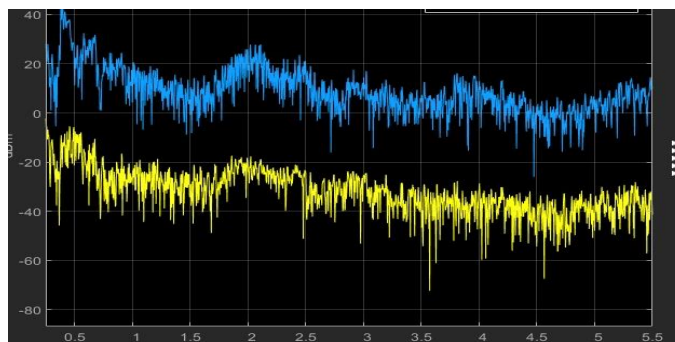


Рисунок 4 – Спектры речевого сигнала и речеподобной помехи

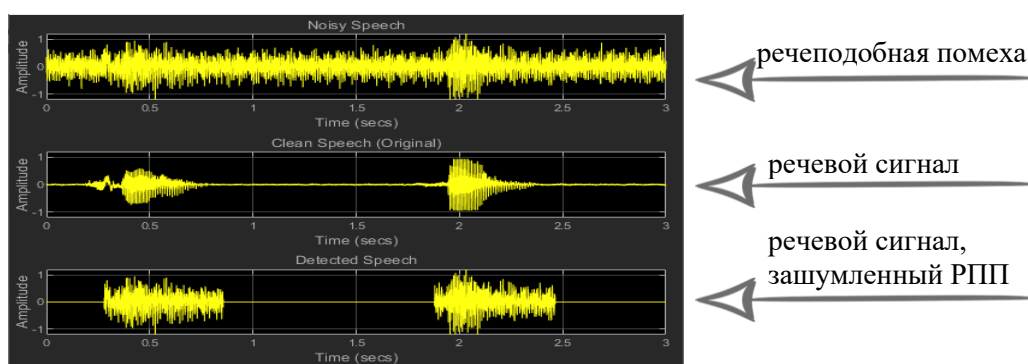


Рисунок 5 – Результаты работы генератора речеподобной помехи

Процесс формирования компенсирующей помехи представлен следующими этапами:

- на микрофон подается речевой сигнал субъекта переговоров $S(t)$;
- речевой сигнал, после аналого-цифрового преобразования, поступает на фазовращатель, в котором происходит инверсия с учетом задержки (формирование компенсирующей помехи), $S'_d(i \cdot \Delta t)$ (в соответствии с выражением 3), после чего этот сигнал подается на звуковую карту ЭВМ, с линейного выхода которой компенсирующая помеха $S'(t)$ излучается в пространство;
- в контрольных точках съема информации речевой сигнал $S(t)$ складывается с компенсирующей помехой $S'(t)$ в пространстве помещения. При одновременном излучении собственно РПП и компенсирующей помехи в контрольных точках съема информации принимается смесь речевого сигнала, компенсирующей помехи, речеподобной помехи и помехового сигнала от сторонних источников, представленная выражением (1).

Разработанная схема формирования компенсирующей помехи в СЗИ представлена на рисунке 6.

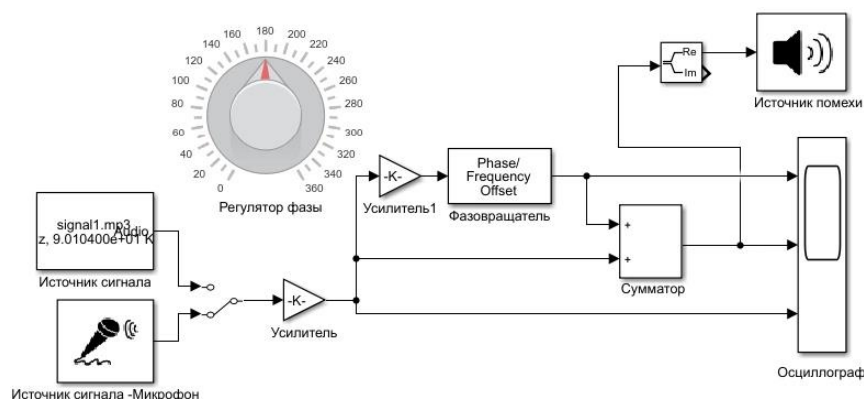


Рисунок 6 – Схема реализации процесса формирования компенсирующей помехи

В офисном помещении устанавливается СЗИ (например, Соната АВ), излучатели которого устанавливаются в места, определенные методикой применения (рис. 2). В процессе проведения натурного эксперимента установлено и учтено, что за счет разности хода волн исходного сигнала и помехи, наблюдается небольшой сдвиг по фазе, вследствие чего возможна погрешность в 2-3 градуса. На рисунке 7 представлены временные диаграммы речевого сигнала, компенсирующей помехи и сигнал рассогласования. Из графиков видно, что сигнал рассогласования практически равен нулю, что свидетельствует о том, что компенсирующая помеха практически подавляет речевой сигнал.

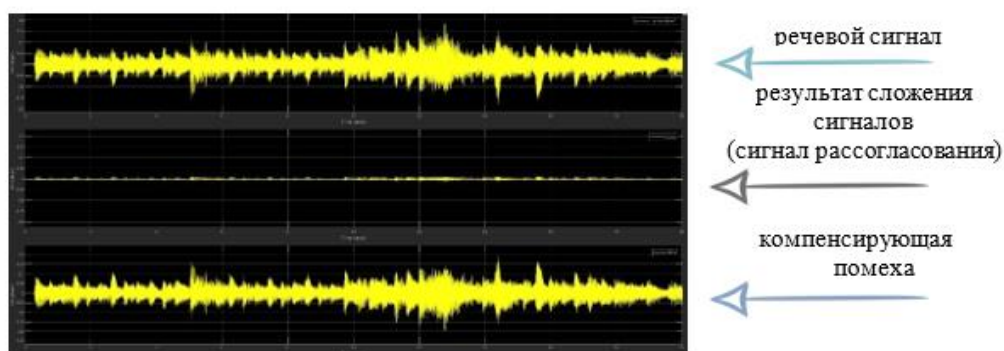


Рисунок 7 – Результат моделирования при установке фазы 180 градусов

Разработанный алгоритм отличается тем, что сформированная адаптивная речеподобная помеха сохраняет все оттенки речи определенного субъекта переговоров

и ее весьма сложно отличить от информационных сигналов этого же человека. Проведенное исследование показало, что увеличение количества каналов генератора больше шести не дает существенного прироста результатов, но при этом усложняет и увеличивает стоимость реализации СЗИ.

Таким образом, решена вторая частная научная задача исследования.

Четвертая глава содержит результаты оценки эффективности применения разработанных модели и алгоритма, описание структуры прототипа АПК и интерфейса основных окон его программного обеспечения.

Прототип АПК построен на основе ЭВМ (ПЭВМ). Основной особенностью аппаратной части АПК является наличие двух звуковых выходов. Специальное программное обеспечение реализует генератор РПП и фазовращатель. В модуле генератора РПП происходит формирование РПП с учетом прерывания, и сформированная таким образом речеподобная помеха выводится на устройство воспроизведения. В модуле генератора компенсирующей помехи происходит инверсия речевого сигнала за счет работы фазовращателя и сформированный сигнал компенсирующей помехи выводится на устройство воспроизведения. Подробное описание структуры прототипа АПК защиты конфиденциальной речевой информации представлено в диссертации.

Для проведения эксперимента реализована лабораторная установка, разработанная в рамках исследования, проведенного по гранту РФФИ № 20-37-90146 «Методология построения научно-исследовательских комплексов мониторинга характеристик защищенности конфиденциальной информации на основе системного подхода», включающая: прототип АПК (ПЭВМ с установленным специальным программным обеспечением генерации РПП, акустическая система); анализатор спектра; шумомер и цифровой диктофон (рис. 8).

Контрольная точка съема располагалась за дверью, в месте возможной установки средства акустической разведки. Дверной проём не был оборудован тамбуром, уплотнителем и резиновыми проставками. Звукоизоляция проема на частоте 1000 Гц составила 33 дБ. Интегральный уровень тестового сигнала выбран организацией-лицензиатом равным типовой речи со средним уровнем громкости. В качестве генератора белого шума использовано СЗИ «Соната – АВ».



Рисунок 8 – Схема лабораторной установки

Показателем эффективности выбран уровень словесной разборчивости, который измерялся по методу Покровского Н.Б. с учетом изменений Железняк Я.И., Макарова Ю.К. и Хорева А.А. При проведении эксперимента получены сравнительные оценки использования белого шума и адаптивной РПП артикуляционным и инструментально-расчетным методами (рис. 9). Анализ результатов эксперимента показал эффективность применения адаптивной РПП. Ожидаемый результат проведения эксперимента получил практическое подтверждение – применение прототипа АПК обеспечивает сохранение заданного уровня словесной разборчивости на границе контролируемой зоны офисного помещения. Это свидетельствует о том, что при использовании адаптивной РПП защищенность конфиденциальной речевой информации остается на заданном уровне, но и требования условий труда по уровню шума не нарушаются.

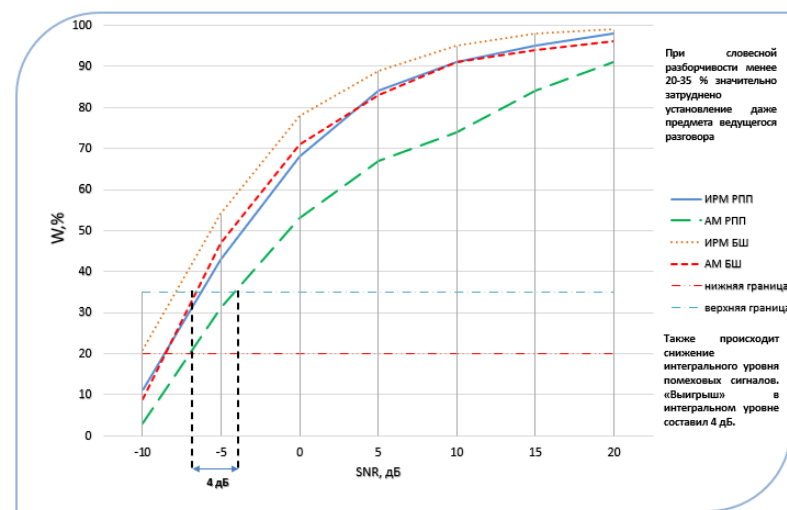


Рисунок 9 – Энергетические характеристики адаптивной РПП и белого шума

Адаптивная РПП обладает большей эффективностью, чем уже существующие речеподобные помехи, формируемые из записи звуков, так как процесс ее формирования не зависит от количества и языка субъектов переговоров. Кроме того, происходит снижение интегрального уровня помеховых сигналов, «выигрыш» в интегральном уровне составил 4 дБ. Участникам переговоров удобно их вести, и это не сказывается на условиях труда.

Границы значений уровня словесной разборчивости определялись в соответствии с нормативными актами и информацией, содержащейся в открытых источниках. Составление подробной справки о содержании перехваченного разговора невозможно при уровне словесной разборчивости (W) менее 60-70 %, а краткой справки-аннотации – при словесной разборчивости менее 40-50 %. При словесной разборчивости менее 20-35 % значительно затруднено установление даже предмета ведущегося разговора, а при словесной разборчивости менее 10 % это практически невозможно даже при использовании современной техники фильтрации помех.

Исследование зависимости количества субъектов переговоров от уровня словесной разборчивости для 1, 3 и 5 субъектов переговоров показало, что увеличение количества субъектов переговоров больше 5 приводит к ухудшению качества адаптации РПП. Результаты эксперимента представлены в диссертации.

Практическая значимость результатов вычислительного и натурного экспериментов заключается в подтверждении целесообразности применения модели адаптивной речеподобной помехи для защиты конфиденциальной речевой информации от утечки по акустовибрационному каналу в офисном помещении. Применение полученных результатов позволит повысить эффективность СЗИ, при этом обеспечив соблюдение условий труда по уровню помехового сигнала.

По результатам проведенных экспериментов разработаны организационные мероприятия и рекомендации по применению АПК при защите конфиденциальной информации в офисном помещении, ведении в нем переговоров, совещаний и т.п., в том числе и с использованием мультимедийных средств. Таким образом, в главе представлено решение третьей и четвертой частных научных задач.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Анализ современного состояния теории и практики защиты конфиденциальной речевой информации от утечки по акустовибрационному каналу показал, что применение пассивных способов защиты речевой информации в офисных помещениях не всегда обеспечивает заданный уровень защищенности и при этом их применение является достаточно затратным. Альтернативным способом защиты конфиденциальной речевой информации от утечки по акустовибрационному каналу является активная маскировка речевого сигнала. На сегодняшний день средств защиты конфиденциальной речевой информации от утечек по акустовибрационному каналу, в которых адаптивно меняется уровень и частотный диапазон генерируемого помехового сигнала в зависимости от изменения параметров речевого сигнала субъекта переговоров нет. Не уделяется также исследователями внимание целесообразности учета требований условий труда по уровню создаваемого СЗИ интегрального помехового сигнала в офисном помещении. Следовательно, построение моделей средств противодействия угрозам утечки конфиденциальной информации по акустовибрационному каналу, разработка технических, математических и организационных решений их реализации, экспериментальной оценки эффективности систем (комплексов) обеспечения информационной безопасности конфиденциальной информации является актуальной научной задачей. К таким задачам относится и задача разработки моделей, алгоритмов, аппаратно-программных средств защиты конфиденциальной речевой информации в офисных помещениях от утечек по акустовибрационному каналу на основе применения адаптивной РПП при обеспечении соответствия интегрального уровня помехового сигнала требованиям условий труда по уровню создаваемого шума.

2. Разработана математическая модель адаптивной РПП, состоящая из собственно РПП и компенсирующей помехи, применение которой в прототипе АПК защиты конфиденциальной речевой информации от утечки по акустовибрационному каналу обеспечивает требуемое значение уровня словесной разборчивости на границе контролируемой зоны при минимальном значении интегрального уровня помеховых

сигналов по сравнению с аналогами на 4 дБ и, следовательно, обеспечивает выполнение требований условий труда по уровню шума.

3. Построенный алгоритм формирования адаптивной РПП обеспечивает ее генерацию из речевого сигнала субъектов переговоров только при его наличии, что повышает маскирующие признаки помехи. Проведенное исследование показало, что увеличение количества каналов генератора больше шести не дает существенного выигрыша при защите речевой информации, но при этом усложняет и увеличивает стоимость реализации СЗИ. В результате эксперимента установлены значения временной задержки в каналах формирователя РПП, обеспечивающие устранение пауз между фоноабзацами, фразами и синтагмами. Эти значения должны составлять 0.3, 0.5, 0.8, 1.1, 1.3 и 1.5 секунд соответственно.

4. Применение прототипа АПК защиты конфиденциальной речевой информации в офисном помещении обеспечивает требуемое значение уровня словесной разборчивости на границе контролируемой зоны. Учитывая, что в частных и государственных учреждениях и организациях используются различные операционные системы, программное обеспечение разработано с учетом требования кроссплатформенности комплекса, к его реализации не предъявляются специальные системные требования, а применение не требует специальной подготовки персонала. То есть предложенные решения реализуемы практически во всех современных и перспективных средствах акустовибрационной защиты.

Оценка эффективности применения полученных результатов проведена с использованием артикуляционного и инструментально-расчетного методов, а именно:

- результаты оценки эффективности применения прототипа АПК артикуляционным и инструментально-расчетным методами показали, что они существенно отличаются (при отношении сигнал/помеха равном 5 дБ, словесная разборчивость, полученная артикуляционным методом, составляет 42 %, а, полученная инструментально-расчетным методом – 32 %). Данное различие обусловлено, вероятно, тем, что методика, примененная для расчета значений уровня словесной разборчивости речи, не учитывает особенностей восприятия человеком речи в условиях помехи, формируемой из звуков этой же речи;

- адаптивная РПП обладает лучшими маскирующими свойствами по сравнению с аналогами за счет адаптации частотного диапазона и уровня речеподобной помехи к

изменениям уровня и тембра речевого сигнала, что повышает схожесть спектров помехового и речевого сигналов. Результаты эксперимента показали схожесть спектров речевого сигнала и адаптивной РПП;

- сравнительный анализ результатов эксперимента с результатами, полученными другими авторами, показал, что применение адаптивной РПП эффективнее РПП, применяемых в существующих СЗИ более чем на 20 %.

- применение прототипа АПК при одинаковом уровне словесной разборчивости оказывает менее раздражающее воздействие на слух человека, по сравнению с современными СЗИ.

Таким образом, в диссертации решена научная задача – разработка математической модели, алгоритма формирования адаптивной РПП и технических решений по созданию средства активной защиты конфиденциальной речевой информации на основе использования РПП, адаптирующейся к особенностям речи субъектов переговоров при соблюдении требований к условиям труда по уровню шума. Цель диссертации достигнута.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Разработанные модель, алгоритм и АПК целесообразно применять в средствах активной защиты речевой информации от утечки по акустовибрационному каналу в соответствии с организационными мероприятиями и рекомендациями по применению АПК, представленными в четвертой главе.

Дальнейшее развитие темы исследования связано с совершенствованием разработанной модели, а также проведением дополнительных вычислительных и натурных экспериментов по оценке эффективности ее применения в различных условиях и ситуациях, в том числе и для других каналов утечки речевой информации, в частности для акустооптического канала.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Волчихина, М. В. Оценка уровня словесной разборчивости на границе контролируемой зоны офисного помещения артикуляционным методом [Текст] / Волчихина М.В. // Вестник Воронежского института МВД – 2022. – № 2. – С. 95-103.
2. Волчихина, М. В. Метод адаптации параметров средств защиты информации на основе дискретного изменения амплитуды и тембра субъектов переговоров [Текст] / М.В. Волчихина // Вестник ТГТУ – 2022. – Том 28. – № 2. – С. 226-234.
3. Волчихина, М. В. Модель адаптации параметров средства защиты информации к параметрам речи субъектов переговоров в помещении офисного типа [Текст] / М. В. Волчихина, А. В. Фурсова // Вестник Воронежского института МВД. – 2024. – № 1. – с.108-115
4. Волчихина М.В. Алгоритм формирования адаптивной речеподобной помехи для защиты конфиденциальной речевой информации в офисных помещениях // Труды учебных заведений связи. 2025. Т. 11. № 5. С. 21–27. DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-5-21-27. EDN:IRBHCD

Публикации в изданиях, входящих в международные базы цитирования

5. Alekseev, V.V. Model of a speech-like interference generator for speech information protection / V.V. Alekseev, A.V. Yakovlev, M.V. Moiseeva, A.A. Tikhomirova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – P. 183 –196.
6. Moiseeva, Maria V. The Concept of a Hardware and Software Complex for Monitoring the Security Characteristics of Confidential Information During Negotiations in the Office. Alexey V. Yakovlev, Maria V. Moiseeva, Alexey P. Ryzhkov and Kristina A. Merkusheva. ASSEDU-II 2021: II International Conference on Advances in Science, Engineering and Digital Education»P.4001.
7. Maria Moiseeva, Hardware and Software Complex for the Formation of Speech-Like Noise// CEUR Workshop Proceedings – 2021 P.284-288
8. Vladimir Alekseev, Dmitry Polyakov, Aleksey Eliseev, Maria Moiseeva, Konstantin Kolegov «The model and algorithm for ensuring the survivability of control systems of dynamic objects in conditions of uncertainty». – 2019 - 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA) P.41-45.

9. Al Maamari G. An Access Control System Based on Multimodal Approach. operator / V. V. Alekseev, D. V. Lakomov, A. G. Maamari, M. V. Moiseeva // Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies: (CAMSTech-II 2021). MS ID: AIPCP22-AR-CAMSTECH2021-00129, V. 2467.

Монография

10. Теоретические основы построения и применения научно-исследовательского комплекса мониторинга характеристик защищенности конфиденциальной информации : монография / В. В. Алексеев, В. А. Гриднев, М. В. Моисеева, А. П. Рыжков, А. В. Яковлев ; под общ. ред. В. В. Алексеева. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022 – 100 с.

Свидетельства о результатах интеллектуальной деятельности

11. Волчихина, М.В. Программный комплекс защиты конфиденциальной информации от утечки по акустовибрационному каналу / М.В. Волчихина // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025687371, 09.10.2025. Заявка № 2025686733/69 от 06.10.2025.

Публикации в других изданиях и сборниках научных трудов и конференций

12. Моисеева М.В. Сравнительная характеристика методов разборчивости речи / В.В. Алексеев, А.В. Яковлев, М.В. Моисеева // XXVIII Международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». – М: Изд. «НИЯУ «МИФИ», 2019. – С. 85 – 86.

13. Моисеева М.В. Оценка акустического канала утечки информации в помещениях офисного типа / В. В. Алексеев, А. В. Яковлев, М. В. Моисеева, А.С. Дерябин // Информатика: проблемы, методы, технологии: сб. материалов международной научно-практической конференции. –Воронеж: Изд-во ООО «ВЭЛБОРН». – 2021. С. 669-674.

14. Моисеева М.В. Классификация акустических каналов утечки информации в помещениях офисного типа / В. В. Алексеев, А. В. Яковлев, М. В. Моисеева // Информатика: проблемы, методы, технологии: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Воронеж: Изд-во ООО «ВЭЛБОРН». – 2021. С. 665-669.

15. Моисеева М.В. Система защиты информации от утечки по акустическим каналам на основе речеподобной помехи / М.В. Моисеева, А.В. Фурсова // Инновационные процессы в научной среде: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Нефтекамск: Изд-во НИЦ «Мир науки». – 2021. – С. 78-84.

16. Моисеева М.В. Анализ активных способов защиты от утечки по акустическим каналам / М.В. Моисеева, А.В. Фурсова // Инновационная наука в современном мире: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Нефтекамск: Изд-во НИЦ «Мир науки». – 2021. – С. 51-56.

17. Моисеева М.В. Защита от утечки информации по акустическому каналу / М.В. Моисеева, Е.А. Попова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ». – 2021. – С. 279-282.

18. Фурсова, А. В., Яковлев, А. В., Волчихина, М. В. Влияние параметров светопрозрачных поверхностей на акустооптический канал утечки информации / А. В. Фурсова, А. В. Яковлев, М. В. Волчихина [Текст] // Информатика: проблемы, методы, технологии: сборник материалов XXIV международной научно-практической конференции. – Воронеж: под редакцией Д.Н. Борисова, 2024.– С. 814-820.

19. Волчихина, М. В. Подход к обеспечению защиты речевой информации при управлении элементами агропромышленных комплексов. Материалы IV Международной научно-практической конференции «Цифровизация АПК», 23-25 октября 2024 г., г. Тамбов, Россия. С.47-54.