

# ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

4  
(119)

Москва  
2017

Основан  
в 1974 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

#### Управление доступом

Щеглов К. А., Щеглов А. Ю. Защита обрабатываемых в информационной системе данных от целевых атак ..... 3

Смирнов Н. Я., Чаус Е. А. Обзор результатов анализа протоколов зашифрованной передачи данных в рамках голосовой связи (Обзор) ..... 13

Борисов К. В., Панасенко С. П. Об уязвимостях в средствах виртуализации на примере связки QEMU-KVM ..... 17

Хуснулин Р. Г. Критерии оценки безопасности информационных технологий при разработке интегрированной автоматизированной системы управления в защищенном исполнении ..... 21

#### Доверенная среда

Былинкин А. А. Двухканальная компенсация помехи на основе вычисления одного весового коэффициента ..... 25

Ложников П. С., Сулавко А. Е., Жумажанова С. С. Методы распознавания человека по особенностям лица (Обзор) ..... 32

Гришачев В. В., Казарин О. В., Калинина Ю. Д. Физические методы оценки эффективности угроз утечки речевой информации через технические каналы на объекте информатизации ..... 44

Елькин В. М., Счастный Д. Ю. Гарантированное отключение периферии: общая постановка задачи ..... 55

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ И ОБЪЕКТОВ

Захаров Д. Н. Эффективность функционирования ситуационного центра ..... 58

Пышкин Н. Б., Скворцов В. Э., Василец В. И. Информационно-методические аспекты обеспечения защиты информации, характеризующей ее материальные носители ..... 62

Главный редактор **В. Г. Матюхин**,  
д-р техн. наук, первый заместитель генерального  
директора, научный руководитель ОАО "НИИАС"

Заместитель главного редактора **В. А. Коняевский**,  
д-р техн. наук, акад. РАЕН, зам. директора  
по НИР ФГУП "ВНИИПВТИ"

Ответственный секретарь **К. В. Трыкина**,  
начальник отдела научных и информационных  
изданий ФГУП «НТЦ оборонного комплекса  
«Компас»

#### Редакционный совет:

**А. Л. Бальбердин**, зам. директора Административного  
департамента аппарата Правительства РФ;  
**Ю. Н. Лаврухин**, канд. техн. наук, зам. генерального  
директора службы корпоративной защиты  
ОАО "Газпром"; **М. П. Сычёв**, д-р техн. наук,  
проф., дир. РУНЦ "Безопасность" МГТУ  
им. Н. Э. Баумана

#### Редакционная коллегия:

**М. М. Грунтович**, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
руководитель обособленного подразделения  
ОКБ "Сапр"; **С. В. Дворянкин**, д-р техн. наук,  
проф., акад. РАЕН, декан факультета кибернетики  
и информационной безопасности МИФИ;  
**И. Г. Назаров**, канд. техн. наук, советник дирек-  
тора ОКБ "Сапр"; **С. П. Панасенко**, канд. техн.  
наук, зам. генерального директора по науке и  
системной интеграции ООО Фирмы "АНКАД";  
**Г. В. Росс**, д-р техн. наук, д-р эконом. наук, проф.,  
зам. директора по учебно-методической работе  
ФГУП "ВНИИПВТИ"; **А. А. Стрельцов**, д-р техн.  
наук, д-р юр. наук, начальник департамента  
аппарата Совета безопасности РФ; **А. Ю. Стусен-  
ко**, канд. юр. наук, зам. директора по безопасно-  
сти, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Ком-  
пас»; **А. М. Сычёв**, канд. техн. наук, доц., зам.  
начальника Главного управления безопасности  
и защиты информации ЦБ РФ; **Ю. С. Харин**,  
д-р физ.-мат. наук, чл.-кор. НАН Белоруси,  
директор НИИ прикладных проблем математики  
и информатики БГУ; **И. Б. Шубинский**, д-р  
техн. наук, проф., генеральный директор ЗАО  
"ИБТранс", советник генерального директора  
ОАО "НИИАС".

*Козловский А. Т., Мармушев Н. Ю., Тараскин М. М.* Аналитическое описание функционирования системы сбора и обработки информации подразделений мониторинга на основе теории массового обслуживания..... 67

*Коваленко А. П., Тараскин М. М.* Подходы к формированию словаря признаков, используемого при распознавании ситуаций в системах защиты информации..... 73

Вопросы защиты информации: Науч.-практ. журн. / ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2017.  
Вып. 4 (119). С. 1—80.

Редактор *О. А. Константинова*  
Компьютерная верстка: *Н. В. Ильина, К. В. Трыкина*

Подписано в печать 30.11.2017. Формат 60x84 1/8.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,3. Уч.-изд. л. 9,6.  
Тираж 400 экз. Заказ 1899. Свободная цена.  
Адрес редакции: 125424, Москва,  
Волоколамское ш., 77. ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».  
<http://ntskompass.ru>  
Отпечатано в ООО "Макси-Медиа".  
127051, Москва, Малая Сухаревская пл., д. 6, стр. 1.  
Индекс 79187.

## Физические методы оценки эффективности угроз утечки речевой информации через технические каналы на объекте информатизации

В. В. Гришачев, канд. физ.-мат. наук; О. В. Казарин, д-р техн. наук; Ю. Д. Калинина  
Институт информационных наук и технологий безопасности Российского государственного гуманитарного университета, Москва, Россия

*Формирование модели угроз безопасности информации от утечки по техническим каналам определяется физическими характеристиками информативного сигнала при прохождении от источника до нарушителя. На основе аналогии канала утечки с системами передачи информации и измерительными системами предлагается система физических оценок, которая позволяет эффективно характеризовать различные каналы утечки и проводить их сравнение. В качестве оценок канала утечки предполагается использовать коэффициенты эффективности, шума, модуляции, чувствительности, которые имеют простую физическую интерпретацию и легко вычисляются. Введенные параметры используются для оценки эффективности речевых каналов утечки через волоконно-оптические коммуникации, в которых показана высокая опасность данного вида утечки для обеспечения информационной безопасности объекта.*

**Ключевые слова:** технические каналы утечки информации, оценка эффективности каналов утечки, физические характеристики каналов утечки.

Важным элементом формирования модели угроз безопасности информации является достоверная и однозначная оценка возможностей технических каналов утечки информации (ТКУИ), реализуемых в принимаемой модели, которая должна позволять сравнивать каналы утечки различных видов для одного типа информации [1—3]. Для ТКУИ такими свойствами могут обладать исключительно физические методы, объективность и достоверность которых неоспоримы, но для этого необходимо связать физические характеристики носителей информации, свойства среды распространения и параметры регистрирующей аппаратуры с некоторыми числовыми величинами, однозначно понимаемыми всеми специалистами. Авторами на основе проведенных экспериментальных исследований предложен ряд числовых характеристик ТКУИ, которые могут отвечать подобным требованиям.

### Физические характеристики утечки информации по техническим каналам

Техническим каналом утечки информации является "совокупность объекта разведки, физиче-

ской среды и средств технической разведки, которыми добываются разведывательные данные" [1—5]. В обобщенном виде (рис. 1) технический канал утечки информации графически можно представить в виде источника информации 1 в контролируемой зоне 2, от которого через различные виды физической среды 3 с помощью информативных сигналов/носителей информации 4 информация выходит за пределы контролируемой зоны, достигает нарушителя 5 и регистрируется техническими средствами разведки (ТСР). При этом на различных участках канала утечки прохождение носителя информации подвергается воздействию помех и искажениям 6, в результате чего информативность снижается.

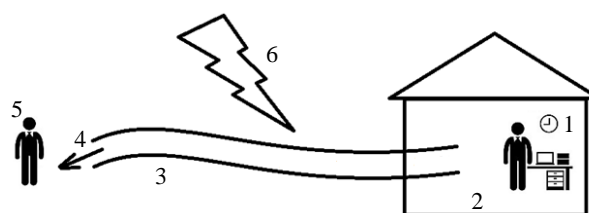


Рис. 1. Структура технического канала утечки информации:

- 1 — источник информации; 2 — контролируемая зона;  
3 — физическая среда; 4 — информативный сигнал;  
5 — нарушитель с ТСР; 6 — шум

Количественные характеристики для ТКУИ можно определить из целей злоумышленника: получить несанкционированный доступ к информации, циркулирующей на объекте разведки, путем вывода информации за пределы контролируемой зоны. Если  $H_{in}$  — объем информации на входе в

Гришачев Владимир Васильевич, доцент.

E-mail: grishachev@mail.ru

Казарин Олег Викторович, и. о. заведующего кафедры "Комплексная защита информации".

E-mail: okaz2005@yandex.ru

Калинина Юлия Дмитриевна, аспирантка.

E-mail: abarakedavra@gmail.com

Статья поступила в редакцию 7 июля 2017 г.

© Гришачев В. В., Казарин О. В., Калинина Ю. Д., 2017

канал утечки, то до нарушителя доходит только  $H_{out} < H_{in}$ . Сокращение объема информации при прохождении по каналу утечки на  $H_{in} - H_{out} > 0$  связано с ее рассеиванием (утратой, искажениями и другими подобными процессами). Если цель злоумышленника — получить информацию в полном объеме, то цель служб безопасности — не допустить ее выход за пределы контролируемой зоны. Поэтому можно ввести понятие *защищенности объекта от утечки информации по техническим каналам*:

$$CPL = \frac{H_{in} - H_{out}}{H_{in}}. \quad (1)$$

В данное понятие включаются не только физические возможности передачи информации, но и действия по предотвращению утечки в виде организационных, технических и других мероприятий, т. е. оно характеризует финальное состояние системы информационной безопасности по защите от данной угрозы.

При составлении модели угроз безопасности информации требуются предварительное описание угрозы, проведение экспериментальных исследований, построение математической и физической модели, в которых использование понятия защищенности некорректно. В этом случае удобно использовать понятие *эффективности канала утечки*:

$$CEL = 1 - CPL = \frac{H_{out}}{H_{in}}, \quad (2)$$

которое связано с понятием защищенности, но не предполагает завершенности модели и показывает возможный уровень угрозы, исходящей от нарушителя.

В соответствии с предлагаемой структурой (рис. 1) по виду носителя информации все ТКУИ можно разделить на *вещественные*, в которых информация записана на твердотельном носителе (текст на бумаге, карта памяти, оптический диск и т. д.), и на *полевые*, в которых носителями являются физические поля (акустическое, электромагнитное, оптическое и другие излучения и сигналы, определяющие информативный сигнал). Хотя их общие характеристики одинаковы, описания вещественного и полевого каналов утечки имеют свои особенности, которые в общем случае не позволяют составить общую модель угроз. Поэтому обсудим только один тип — *полевые ТКУИ*. В полевых каналах утечки носителем информации является информативный сигнал. Егохождение от источника до нарушителя безопасности

информации можно разделить на три основных этапа: формирование путем модуляций, наводок и т. д.; прохождение в физической среде; регистрация техническими средствами разведки.

Основной характеристикой информативного сигнала является отношение среднеквадратичной мощности сигнала к шуму информационного сигнала на входе ( $\langle S_{in} \rangle$ ;  $\langle N_{in} \rangle$ ) и на выходе ( $\langle S_{out} \rangle$ ;  $\langle N_{out} \rangle$ ) технического канала утечки, т. е.

$$SNR_{in} = \frac{\langle S_{in} \rangle}{\langle N_{in} \rangle} \text{ и } SNR_{out} = \frac{\langle S_{out} \rangle}{\langle N_{out} \rangle}. \quad (3)$$

Фактически данные соотношения практически полностью характеризуют информационный сигнал на объекте и информативный сигнал в системе регистрации с позиций информативности (т. е. возможности декодирования с максимальной точностью).

Среднеквадратичная мощность сигнала  $\langle S \rangle$  сравнивается со среднеквадратичной мощностью шумов  $\langle N \rangle$  — мощностью внешних помех, внутренних искажений, любых других случайных сигналов, которые не когерентны с информативным сигналом и не позволяют провести его декодирование без потерь объема переносимой информации. Величина  $\langle N \rangle$  может характеризовать минимальную погрешность измерения сигнала, а величина, обратная отношению сигнал/шум, стремится к точности измерения ( $1/SNR = \langle N \rangle / \langle S \rangle$ ). На основе отношения сигнал/шум можно ввести понятие *информативности канала утечки*

$$CIL = 10 \lg(1 + SNR) \quad (4)$$

как величину, определяющую отношение (шум + сигнал)/шум, выраженную в логарифмических единицах (дБ, битах, неперах), которая показывает, какой средний объем информации может быть доступен нарушителю с помощью ТСП при измерении параметров информативного сигнала. В каналах связи с шумом она вместе с полосой пропускания определяет пропускную способность (информационную емкость) канала в соответствии с формулой Шеннона, которая может быть использована и для канала утечки.

Знание отношений сигнала к шуму определяет общую информативность сигнала, снижающуюся при прохождении физической среды канала утечки по мере неизбежного увеличения доли шума. Зашумление исходного информационного сигнала с  $SNR_{in}$  на этапе модуляции несущей, распро-

странения по физической среде канала и при декодировании в системе регистрации, происходит до величины  $SNR_{out} < SNR_{in}$  на выходе канала утечки. Уменьшение отношения сигнал/шум ниже некоторого критического значения, близкого к единице, приводит к разрушению канала утечки. Таким образом, обобщенную характеристику физической среды можно описать *коэффициентом шума канала утечки*

$$CNL = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \geq 1, \quad (5)$$

который показывает во сколько раз уменьшилось  $SNR_{in}$  в ТКУИ. Изменение коэффициента CNL происходит на каждом этапе прохождения информативного сигнала в канале утечки, так что

$$CNL = CNL_m CNL_t CNL_d, \quad (6)$$

где каждый сомножитель (не менее 1) характеризует во сколько раз увеличилась доля шума в сигнале при прохождении соответствующего элемента: в модуляции при преобразованиях ( $CNL_m$ ), при прохождении среды канала ( $CNL_t$ ) и при детектировании в системе регистрации ( $CNL_d$ ). Разделение CNL на этапы позволяет выделить участки, где величина коэффициента минимальна и максимальна, и провести мероприятия по защите элементов канала, где множитель максимален.

Коэффициент CNL можно выразить в логарифмических единицах. Тогда его общее значение представляется в виде суммы коэффициентов шума на каждом из этапов ТКУИ (модуляции, прохождения и регистрации).

Информативный сигнал в канале утечки представляет собой паразитную модуляцию несущего физического поля, т. е. неконтролируемое аналоговое (непрерывное) изменение параметров физического поля под действием информационных сигналов при первичном преобразовании и возможных последующих преобразованиях. Способность сохранять наведенную модуляцию несущего поля при распространении сигнала определяется долей, занимаемой информативным сигналом в общей мощности несущего физического поля, которая для амплитудной модуляции может меняться от 0 до 100 %. Чем выше эта доля, тем менее сигнал подвержен внешним помехам и тем на большее расстояние он может распространиться с возможностью детектирования без потерь информативности. Таким образом, еще одной характеристикой ТКУИ можно считать *коэффициент модуляции несущей в канале утечки*

$$0 \leq CML \leq 1, \quad (7)$$

который определяется как отношение размаха информативного сигнала к общей величине параметра несущего поля.

Еще одним важным элементом ТКУИ является система регистрации, т. е. элементы ТСП, в которых информативный сигнал принимается, обрабатывается и фиксируется. Для ее характеристики введем понятие *чувствительности канала утечки* (системы регистрации ТСП), которая определяется как отношение выходного сигнала (как правило, это напряжение  $\Delta U$  на выходе) к изменению измеряемого параметра  $\Delta X$  информативного сигнала на входе канала утечки:

$$CSL = \frac{\Delta U}{\Delta X}, \quad (8)$$

по которому можно оценить возможности ТСП.

Характеристика CSL является важным понятием, поскольку любой ТКУИ можно представить в виде датчика измерительной системы, построенной на паразитных модуляциях, с несколькими преобразователями и длинной линией связи. Как у любой измерительной системы, ее основной характеристикой является чувствительность к измеряемому полю. Исходя из значения CSL можно сравнивать данный канал утечки с другими.

Введенные характеристики ТКУИ — коэффициенты информативности (CIL), шума (CNL), модуляции (CML), чувствительности (CSL) — связаны между собой и определяют общие характеристики всего канала — эффективность (CEL) и защищенность (CPL). Конкретные связи между характеристиками могут быть определены при сужении понятия ТКУИ до более конкретного формата, что и будет сделано далее.

### Физические характеристики технических каналов утечки речевой информации

Одной из наиболее информативных для злоумышленника является утечка речевой информации по техническим каналам [4, 5]. Основное назначение канала — регистрация акустических сигналов в речевом диапазоне в выделенных помещениях или других местах с циркулирующими в них конфиденциальными переговорами.

*Цели и задачи оценки эффективности технического канала утечки речевой информации.* По своей структуре речевой ТКУИ во многом совпадает с речевым (голосовым) каналом связи. Отличительные особенности связаны со скрытностью первого по сравнению со вторым. Создание речевого ТКУИ определяется паразитными модуляциями и наводками, формирующими информативный сигнал со значительными искажениями и

шумами, снижение которых всегда связано с большими трудностями для нарушителя, в то время как в речевом канале связи сигнал формируется с минимальными искажениями и помехами, которые контролируются эксплуатационными службами.

Некоторое совпадение функций позволяет использовать принципы контроля качества передачи речи в штатных каналах связи для оценки эффективности речевых ТКУИ и их защищенности. Качество голосовой связи является важнейшей характеристикой любых штатных каналов. Для его измерения применяется широкий набор методов, основными из которых являются артикуляционные методы измерения разборчивости речи [6], т. е. определение частоты неправильно понятых элементов речи (слов, фраз и т. д.). Все виды разборчивости связаны между собой, измерение одного позволяет рассчитать другие.

Основное назначение речевого ТКУИ — понять смысл перехватываемой речи. Главную здесь роль играет разборчивость произнесенных слов  $W$ , поэтому из артикуляционных методов предпочтение отдается измерению  $W$ . Если оценивать объем перехватываемой информации по числу перехватываемых слов, то эффективность речевого ТКУИ

$$CEL \approx W. \quad (9)$$

Величина словесной разборчивости зависит от отношения сигнал/шум, причем эта зависимость определяется не только величиной SNR, но и типом шума. Практически установленная связь  $W(SNR)$  представляет собой нелинейно возрастающую зависимость с переходными значениями в области SNR от 0,1 до 5, где словесная разборчивость растет с 0 до 100 %. Условно в качестве критического значения можно принять  $SNR = 1$ , при котором происходят критические изменения разборчивости речи. Существуют упрощенные зависимости  $W(SNR)$ , позволяющие оценить значение  $W$  по простым аналитическим выражениям [1, 4—6].

В работе [7] на основе анализа цифровых систем связи по определению частоты появления ошибочного бита предложено использовать приближение на основе функции ошибок (интеграл вероятности)  $\text{erf}(x)$ , которая дает грубую нижнюю оценку для CEL. Анализ других оценок, выполненных по методам Покровского, Быкова, Сапожкова и Калинцева для различных видов шума [8], позволяет предложить приближенное аналитическое выражение (рис. 2) для оценки связи между словесной разборчивостью  $W$  и отношением сигнал/шум SNR в виде

$$CEL \approx W = \text{erf}(SNR). \quad (10)$$

Сравнивая зависимость  $W = \text{erf}(SNR)$  с другими оценками (рис. 2), можно наблюдать хорошее совпадение между ними. Для более точного совпадения можно использовать смещение по оси SNR (в нашем случае на +4 дБ) и сжатие/расширение по оси  $W$  (путем введения множителя перед SNR). Подобные преобразования легко вычисляются через функцию ошибок, представленную во всех математических пакетах обработки данных.

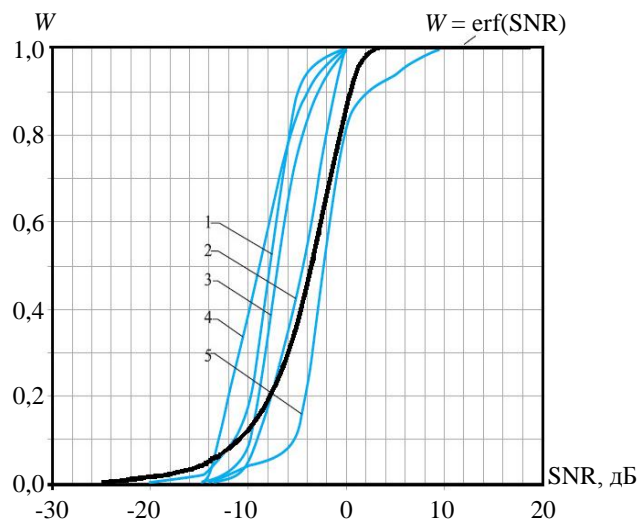


Рис. 2. Аппроксимация зависимости  $W(SNR)$  функцией ошибок  $W = \text{erf}(SNR)$  в сравнении с зависимостями словесной разборчивости  $W$  от интегрального соотношения сигнал/шум (SNR) в полосе частот 90—11 200 Гц для разных видов помех:

1 — речеподобный шум; 2 — речевая помеха; 3 — розовый шум; 4 — белый шум; 5 — формантоподобная помеха [8]

Таким образом, прямое экспериментальное или косвенное расчетное измерение отношения сигнал/шум SNR позволяет оценить эффективность CEL и защищенность CPL для исследуемого речевого ТКУИ.

*Речевой сигнал и его характеристики.* Возможности канала утечки во многом определяются источником информации — речевым сигналом, который является акустической волной в воздушной среде в спектральном диапазоне  $f = 100—4000$  Гц при уровне звукового давления  $SPL = 40—70$  дБ для стандартных ситуаций. Речевой сигнал обладает сложным спектром с выделенными по интенсивности частотами-формантами, сопровождаемыми гармониками (высота и тембр голоса). Хотя весь спектр определяет объем переносимой информации, для физических оценок голосового тракта можно выбрать характеристические величины  $f = 1$  кГц и  $SPL = 60$  дБ, которые будут использоваться для числовых оценок прохождения речевого сигнала в канале утечки. При распро-

странении акустической волны ее параметры зависят от свойств среды (табл. 1). Для сравнения в табл. 2 приведены основные параметры волны: физические характеристики акустического тонального сигнала на частоте  $f=c/\lambda=1$  кГц интенсивностью  $I=u^2 z_a=10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup> ( $SPL=60$  дБ), в различных средах с плотностью  $\rho$ ; скоростью звука  $c$  и акустическим сопротивлением  $z_a=c\rho$ , которые включают длину волны  $\lambda$ ; акустическое смещение частиц  $\xi$ ; акустическую скорость частиц  $u=2\pi f\xi$ ; акустическое ускорение частиц  $a=4\pi^2 f^2 \xi$ ; акустическое давление в жидкостях и газах  $p$ ; напряжение в твердых телах  $\sigma$  в упругой волне. Видно, что длина волны в твердых телах увеличивается в 10 раз по сравнению с воздухом, но при этом на два порядка уменьшаются смещение, скорость и ускорения частиц среды при распространении акустической волны, а механические напряжения растут на те же два порядка. Из этих данных можно определить характерные параметры акустических преобразователей в воздушной (микрофоны) и

в твердых (вибродатчики) средах, которые для эффективного преобразования должны соответствовать следующим требованиям: характерные размеры преобразователя много меньше длины волны; предельные смещения мембраны приемника порядка смещения частиц; инерционные свойства определяются ускорениями частиц в волне.

*Модель угроз утечки речевой информации через технические каналы: понятие, структура и общая характеристика.* Обобщенная структура речевого ТКУИ (рис. 3) включает сам источник информации (переговорщиков) 1 и нарушителя 5, между которыми распространяется информативный сигнал, формируемый первичным преобразователем 2 и передаваемый по каналу связи до системы регистрации 4. Информативный сигнал может иметь различную природу (акустическую, электромагнитную, оптическую и т. д.), распространяется по свободному пространству (воздушная, водная и другие среды) или по волноводным каналам (кабель, природные волноводы).

Таблица 1

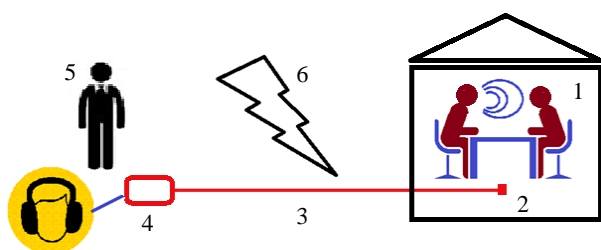
Акустические свойства материалов

Среда	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Скорость звука для продольных волн $c$ , м/с	Удельное акустическое сопротивление ( $z_a=c\rho$ ) $z_{ак}$ , кг/м <sup>2</sup> с
Воздух сухой (20 °С)	1,20	343	413
Вода пресная (15 °С)	999	1430	1,43·10 <sup>6</sup>
Дерево (сосна)	500	5030	2,77·10 <sup>6</sup>
Кирпич (красный)	1500	3600	5,4·10 <sup>6</sup>
Бетон (тяжелый)	4100	2200	9,0·10 <sup>6</sup>
Металлы (железо)	7800	5850	45,6·10 <sup>6</sup>

Таблица 2

Физические характеристики акустического тонального сигнала

Среда	$\lambda$ , м	$\xi$ , нм	$u$ , мкм/с	$a$ , мм/с <sup>2</sup>	$p$ , Па	$\sigma$ , Н/м <sup>2</sup>
Воздух сухой (20 °С)	0,34	7,70	48,4	304,1	0,02	—
Вода пресная (15 °С)	1,43	0,13	0,8	5,0	1,2	—
Дерево (сосна)	5,03	0,09	0,6	3,8	—	1,7
Кирпич (красный)	3,60	0,07	0,4	2,6	—	2,3
Бетон (тяжелый)	2,20	0,05	0,3	2,0	—	3,0
Металлы (железо)	5,85	0,02	0,14	0,9	—	6,8



*Рис. 3. Обобщенная структура речевого ТКУИ:*  
 1 — источник речевой информации; 2 — первичный преобразователь; 3 — канал связи; 4 — система регистрации; 5 — нарушитель; 6 — шумы

В структуре канала утечки существует первичный преобразователь акустического давления волны в механическое движение твердой поверхности — мембраны. Кроме первичного, в канале связи возможно существование других преобразователей, связанных с преобразованием информативного сигнала в другие виды полей. При каждом преобразовании, как и при распространении в канале связи, отношение сигнал/шум уменьшается. Особенно это относится к первичному преобразователю, в котором преобразование акустического поля происходит вследствие паразитных модуляций и наводок, что увеличивает долю шума, вызываемого искажениями информативного сигнала (мультипликативная помеха); кроме того, в канале связи происходит накопление внешних случайных сигналов (аддитивные шумы). И последнее увеличение доли шума в информативном сигнале дает сама система регистрации. Как правило, из трех элементов наибольший вклад вносит первичный акустический преобразователь.

Первичный акустический преобразователь, как правило размещаемый в воздушной среде, представляется в виде мембраны, модулирующей другие физические поля и формирующей информативный сигнал в канале утечки.

В общем случае мембрана (рис. 4) — это механическая колебательная система со своими резонансными частотами  $\{f_i\}$ , со своей массой  $m = \rho_m S d$ , где  $\rho_m$  — плотность материала мембраны,  $S$  — площадь,  $d$  — толщина мембраны.

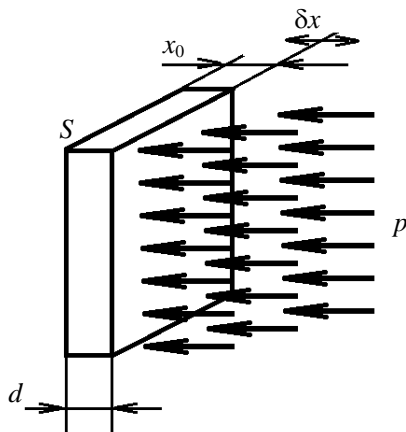


Рис. 4. Принципиальная структура первичного преобразователя волны с акустическим давлением  $p$  на мембране толщиной  $d$ , площадью  $S$ , вызывающей смещение поверхности мембраны на  $\delta x$  при невозмущенном положении  $x_0$

При воздействии плоской акустической волны с уровнем звукового давления  $L$  и акустическим давлением  $p$  на мембрану действует сила  $Sp$ , которая вызывает смещение мембраны на  $\delta x$  относи-

тельно невозмущенного положения  $x_0 \geq \delta x$  с ускорением  $Sp/m$ . Для неискаженного отклика мембраны на плоскую акустическую волну требуется, чтобы ускорение движения мембраны было не меньше ускорения движения частичек среды, т. е.  $Sp/m \geq a$ . Отсюда получаем условие неискаженного преобразования звука:

$$d \leq \frac{\rho}{\rho_m} \frac{c}{2\pi f} = \frac{\rho}{\rho_m} \frac{\lambda}{2\pi}, \quad (11)$$

где  $c$  — скорость волны на частоте  $f$  с длиной волны  $\lambda$  в среде распространения с плотностью  $\rho$ . С помощью полученного выражения можно определить параметры мембраны для характерных параметров звука (на частоте  $f = 1$  кГц):

- $d \leq 50$  мкм в воздухе, если принять  $\rho_m / \rho \approx 1000$ ;
- $d \leq 50$  см в твердых телах, если принять  $\rho_m / \rho \approx 1$ .

Таким образом, характерные параметры мембраны определяются длиной области взаимодействия вдоль направления распространения акустической волны. В воздухе эта область много меньше 1 мм, а в твердых телах достигает полуметра. Поперечный размер области, который должен быть меньше длины волны, не влияет на инерционные свойства мембраны.

Спектр возбуждаемых колебаний мембраны сильно зависит от ее резонансных свойств. На резонансных частотах отклик должен значительно возрастать в зависимости от добротности колебательной системы, превышая на порядки амплитудные колебания в самой волне. При наличии у мембраны нескольких резонансов в области частот речевого сигнала наводимые паразитные модуляции и наводки создают микрофонный эффект в канале утечки.

В первичном преобразователе колебания мембраны преобразуются в электрические сигналы (микрофон) или модулируют другие поля. Эффективность преобразования и глубина модуляции зависят от смещения мембраны  $\delta x$  относительно невозмущенного положения  $x_0 \geq \delta x$ , так что коэффициент модуляции можно представить в виде разложения по степеням глубины модуляции:

$$\text{CML} = a \left( \frac{\delta x}{x_0} \right) + b \left( \frac{\delta x}{x_0} \right)^2 + c \left( \frac{\delta x}{x_0} \right)^3 + \dots, \quad (12)$$

где  $|a| \gg |b| \gg |c|$  — постоянные коэффициенты, зависящие от частоты акустического поля и типа конкретного преобразователя.



С глубиной паразитных модуляций связано понятие чувствительности ТКУИ к акустическому полю. Если чувствительность первичного преобразователя к смещению  $\delta x$  мембраны соответствует  $\eta_d$ , то общая чувствительность канала утечки к акустическому полю сводится к выражению

$$\text{CSL} = \frac{\Delta U}{P} = \left( \frac{x_0 \eta_d}{P} \right) \text{CML}. \quad (13)$$

Данный параметр в сравнении с типичными характеристиками микрофонов и датчиков вибрации позволяет определить уровень опасности исследуемого канала утечки.

### Практическая оценка эффективности технических каналов утечки речевой информации

Представленные физические характеристики элементов речевого ТКУИ позволяют выделить набор физических величин, объективно характеризующих канал утечки, и методик их измерения. Такие характеристики позволяют сравнивать различные типы каналов утечки, определять их уровни опасности. Опишем основные характеристики и проведем сравнение с ранее выполненными исследованиями волоконно-оптического канала утечки речевой информации [7, 9, 10]. Все практические исследования проводились на экспериментальной установке (рис. 5) на прохождение света по оптоволокну, соединяемому через оптический адаптер.

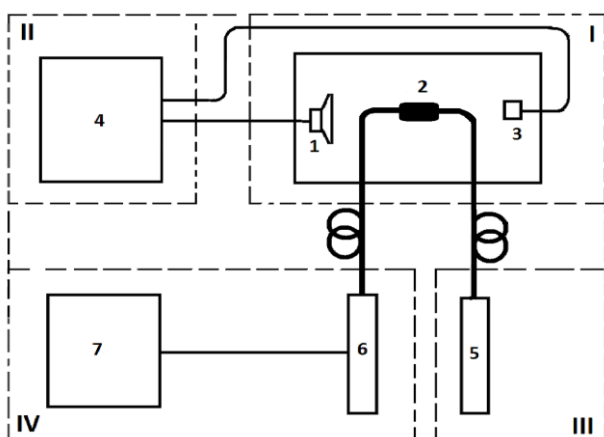


Рис. 5. Блок-схема установки:

- I — акустический звукоизолированный малогабаритный бокс (1 — акустическая система; 2 — волоконно-оптическая линия с адаптером типа SC-SC; 3 — микрофон контроля);
- II — блок управления (4 — персональный компьютер);
- III — волоконно-оптический источник света (5 — лазер);
- IV — блок регистрации информативного сигнала (6 — фотодиод; 7 — селективный нановольтметр)

Установка состояла из источника зондирующего излучения — гелий-неонового лазера ЛГ-72 (длина волны 632 нм) с волоконно-оптическим выходом, подключаемого к волоконно-оптической линии с адаптером и соединяемого с системой регистрации на фотодиоде ФД-21КП. Глубина модуляции проходящего света измерялась фотодиодом, присоединяемым в фотогальваническом режиме к селективному нановольтметру типа UNIPAN. Все исследования паразитного влияния акустического поля на волоконно-оптическую линию проводились на основе адаптера типа SC-SC на одном и том же оборудовании, что позволяет непосредственно сравнивать результаты различных экспериментов.

*Оценка эффективности по словесной разборчивости речи W.* Артикуляционные методы — основной способ оценки качества речевых каналов связи. Перенос этих методик на оценку речевых каналов утечки наиболее полно описывает их эффективность. Однако каналы связи и утечки имеют значительные различия в формировании и функционировании, что приводит к существенному отличию влияния внешних условий. Если каналы связи сохраняют свои параметры в широком диапазоне изменений температур, механических воздействий, шумов, что определяется их монтажом, то в случае каналов утечки даже малые изменения внешних воздействий могут привести к полному прекращению функционирования. Стабильность функционирования, долговечность, надежность каналов связи являются одними из наиболее важных параметров, которые не достижимы для каналов утечки. Поэтому артикуляционные измерения не смогут полностью их характеризовать при изменении внешних условий, особенно при исследованиях новых каналов утечки.

Еще одна трудность переноса методик связана с трудоемкостью и продолжительностью измерений, для которых требуется подготовка дикторов для чтения и операторов для прослушивания. В этих условиях оперативно проводить исследование каналов утечки невозможно, тем более что в ТКУИ возможно использование систем записи с последующей обработкой сигнала системами шумочистки, что может существенно повысить разборчивость речи.

Все это приводит к избыточности требований артикуляционных измерений, используемых для оценки качества речевых каналов связи, для оценки эффективности речевых каналов утечки. В работе [9] предложена упрощенная методика артикуляционных измерений, связанная с необходимостью в первую очередь выявить возможность существо-

вания речевого ТКУИ и только потом определить его опасность. В действующем речевом канале утечки на основе прослушивания любым оператором для выбранной системы регистрации устанавливаются три уровня опасности:

- I (красный) — микрофонный эффект соответствует хорошей слышимости речи и словесной разборчивости выше 10 %, т. е.  $SNR > -10$  дБ; это означает существование устойчивого канала утечки с высокой эффективностью, трудно нейтрализуемого техническими средствами защиты;

- II (желтый) — соответствует слышимой речи, но с плохой словесной разборчивостью, менее 10 %, т. е.  $SNR < -10$  дБ; это означает, что для полноценного подслушивания переговоров требуется применение систем шумочистки, а для нейтрализации возможно использование помех, в том числе речеподобных;

- III (зеленый) — соответствует состоянию, при котором нарушитель не может определить существует или нет данный канал утечки.

*Процедура упрощенных артикуляционных измерений* состоит, во-первых, из выбора технических средств разведки, используемых для регистрации электрического информативного сигнала в речевом диапазоне с требуемыми чувствительностью и селективностью по частоте и аналоговым выходом на мониторные наушники. Выбранная аппаратура определяет уровень опасности канала утечки. Следующим шагом является включение в исследуемом помещении речевого сигнала, в том числе в виде речеподобного шума, с уровнем громкости от шепота (40 дБ) до громкого разговора (70 дБ), и оператор начинает прослушивание. Далее на слух оператора определяется сама возможность прохождения речевого сигнала: на уровне шумов — III уровень опасности; слышимость плохо различимой речи — II уровень опасности; слышимость хорошо различимой речи с распознаваемыми словами, слогами — I уровень опасности.

Преимущества упрощенных артикуляционных измерений состоят в простоте, оперативности, надежности измерения эффективности речевого ТКУИ. По данной методике через волоконно-оптические коммуникации было проведено сравнение речевых каналов утечки, формируемых на различных элементах [9]. На экспериментальной установке (рис. 5) при одной и той же системе регистрации исследовались различные элементы (разъемы, свободное и скрученное оптическое волокно), на которые воздействовал один и тот же речевой сигнал. Было определено, что наибольшую опасность (красный уровень) представляют

разъемные соединения в пластиковом адаптере типа LC-LC, SC-SC, а наименьшую (зеленый уровень) — свободное волокно.

*Оценка эффективности по коэффициенту шума.* Следующей характеристикой речевого ТКУИ является коэффициент шума CNL. Измерение этого коэффициента позволяет вычислить  $W$  и CEL, например по упрощенной формуле связи  $W = \text{erf}(SNR)$  или другим, более точным выражениям. Если отношение SNR в выделенном помещении при проведении переговоров обычно составляет 15—25 дБ, то для словесной разборчивости получаем

$$W = \text{erf}(SNR/CNL), \quad (14)$$

что однозначно характеризует уровень опасности исследуемого канала утечки.

Задача сводится к определению CNL, значение которой разбивается на произведение трех сомножителей,  $CNL_m$ ,  $CNL_t$  и  $CNL_d$ , больших 1. Каждый сомножитель может быть определен из отдельных измерений или оценок. Коэффициент  $CNL_d$  вычисляется из технических параметров системы регистрации и путем выбора может быть сведен к значениям, меньшим, чем два других, т. е. можно считать  $CNL_d = 1$ . Случай близости оставшихся двух коэффициентов маловероятен, что позволяет свести вычисления к оценке только одного коэффициента в зависимости от состояния канала утечки. Оценка минимального вносимого шума физической среды канала утечки определяется фоном вблизи преобразователя, который может быть измерен непосредственно ( $SPL_p$ ). Как правило, основной вклад в коэффициент шума вносят первичный и последующие преобразователи ( $CNL_m$ ).

*Процедура измерения коэффициента шума CNL* сводится к сравнению с эталонным сигналом. Для этого параллельно исследуемому речевому каналу утечки создается речевой канал связи, для чего в выделенном помещении размещается микрофон, его сигнал выводится и детектируется системой регистрации канала утечки. В помещении создаются два состояния: все источники звука выключены (для контроля фона); источник звука включен (для измерения сигнала с шумом). Для каждого состояния в системе регистрации измеряются среднеквадратичные напряжения  $U_1$ ,  $U_2$  информативного сигнала из канала утечки и среднеквадратичные напряжения  $E_1$ ,  $E_2$  эталонного сигнала из канала связи. Первые значения определяют уровень шума, а вторые — сигнал + шум в каждом из каналов, так что отношения сигнал/шум

на входе и выходе можно аппроксимировать выражениями

$$\text{SNR}_{\text{in}} = \frac{E_2^2 - E_1^2}{E_1^2}; \quad \text{SNR}_{\text{out}} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{U_1^2}. \quad (15)$$

Отсюда можно найти коэффициент шума:

$$\text{CNL} = \frac{(E_2^2 - E_1^2)/E_1^2}{(U_2^2 - U_1^2)/U_1^2}, \quad (16)$$

или оценить словесную разборчивость:

$$W = \text{erf} \left( \frac{U_2^2 - U_1^2}{U_1^2} \right). \quad (17)$$

По данной процедуре можно проводить измерение CNL как всего речевого канала утечки, так и его элементов по отдельности.

Экспериментальный анализ CNL в волоконно-оптическом канале утечки речевой информации позволил считать, что данный канал обладает микрофонным эффектом [9], т. е. коэффициент шума всего канала полностью определяется коэффициентом шума первичного преобразователя акустического сигнала, в нашем исследовании — адаптера SC-SC. В целях определения CNL изменялись шумы системы регистрации путем использования фотодиодов с различными темновым током и экранировкой, изменения типа соединительных кабелей между фотодиодом и нановольтметром. Длина оптического волокна сокращалась до минимума для уменьшения влияния внешних акустических шумов. Сам адаптер помещался в звукоизолирующую камеру. В результате экспериментов было обнаружено существенное влияние шумов системы регистрации. Для плохо экранированного фотодиода речевой сигнал не прослушивался, а при помещении фотодиода в экранированный корпус и соединении его с нановольтметром радиочастотным кабелем малой длины речевой сигнал прослушивался со словесной разборчивостью вплоть до 100 %. Это показывает, что шумы преобразователя незначительны и путем выбора системы регистрации можно достичь микрофонного эффекта.

*Оценка эффективности по коэффициенту модуляции.* Гармонический сигнал на частоте  $\Omega$  с амплитудой  $A_0$  и несущей на частоте  $\omega \gg \Omega$  модулируется с коэффициентом  $\text{cml}$ , так что ампли-

туда модулированного информативного сигнала вычисляется:

$$A = A_0(1 + \text{cml} \cdot \sin \Omega t). \quad (18)$$

В первичном преобразователе глубина модуляции  $\text{cml}$  зависит от величины внешнего информационного речевого сигнала, который определяется связанными между собой акустическим давлением  $p_s$ , интенсивностью звука  $I_s$  и уровнем звукового давления сигнала  $L_s$ :  $I_s \sim (p_s)^2$ ;  $L_s = 10 \lg(I_s/I_0)$ , где  $I_0$  — интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости.

Силовое воздействие звука определяется акустическим давлением  $p_s$  в волне, поэтому в линейном приближении коэффициент модуляции  $\text{cml}$  линейно пропорционален акустическому давлению  $p_s$  с коэффициентом  $k'(k)$ :

$$\text{cml} = \text{cml}_0 + k'p_s = \text{cml}_0 + k\sqrt{I_s}. \quad (19)$$

В представленном приближении коэффициент модуляции  $\text{cml}_0$  соответствует внешней помехе и шумам приемника, когерентным с информативным сигналом, имеющим близкие частоты. Интенсивность информативного сигнала  $I_s$  и интенсивность шума  $I_n$  определяются выражениями

$$I_s = \left( \frac{\text{cml} - \text{cml}_0}{k} \right)^2; \quad I_n = \left( \frac{\text{cml}_0}{k} \right)^2. \quad (20)$$

Отношение сигнала к шуму на выходе технического средства разведки определяется выражением

$$\text{SNR} = \left( \frac{\text{cml} - \text{cml}_0}{\text{cml}_0} \right)^2. \quad (21)$$

Полученное выражение справедливо для узкополосных акустических сигналов, для которых информативный сигнал и помеха имеют близкие к  $\Omega$  частоты.

При сложении двух и более некогерентных широкополосных сигналов необходимо произвести квадратичное усреднение по спектру. Тогда интенсивности сигнала и шума будут определяться выражениями

$$I_s = \left( \frac{\text{CML}}{k} \right)^2 - \left( \frac{\text{CML}_0}{k} \right)^2; \quad I_n = \left( \frac{\text{CML}_0}{k} \right)^2, \quad (22)$$

где, в отличие от  $\text{cml}$ , введенного для узкополосного акустического сигнала и шума,  $\text{CML}$  и  $\text{CML}_0$  —

среднеквадратичные значения коэффициента модуляции информативного сигнала в канале утечки. Следовательно, получаем отношение сигнал/шум

$$\text{SNR} = \left( \frac{\text{CML}^2 - \text{CML}_0^2}{\text{CML}_0^2} \right). \quad (23)$$

Отсюда можно оценить словесную разборчивость речи на выходе канала утечки.

*Процедура измерения SNR* широкополосного акустического сигнала состоит в измерении  $\text{CML}_0$  при выключенном акустическом сигнале, когда измеряются паразитные модуляции, наводимые случайными акустическими сигналами в исследуемом помещении, всеми видами шумов среды канала утечки и собственными шумами системы регистрации, и  $\text{CML}$  при включенном акустическом сигнале. Сама величина коэффициента  $\text{CML}$  определяется как отношение среднеквадратичного напряжения  $U_x$  нановольтметра с дифференциальным входом к среднеквадратичному напряжению  $U_0$  вольтметра с интегральным входом:

$$\text{CML} = U_x / U_0. \quad (24)$$

Оценка минимального значения  $\text{CML}_0$  проводится путем линейной аппроксимации зависимости  $\text{CML}(p)$ , которая позволяет оценить только собственные шумы системы регистрации.

Измерение параметров прохождения узкополосного акустического сигнала в канале утечки проводится тем же способом путем сужения полосы пропускания селективного нановольтметра до требуемых значений.

По данной схеме проводились основные исследования волоконно-оптического канала утечки речевой информации [10]. С помощью селективного нановольтметра типа UNIPAN в полной спектральной полосе в фотогальваническом режиме проводились измерения напряжения  $U_x$  фото диода, генерируемого потоком света в оптическом волокне под действием модулированного акустического поля с контролируемым SPL в исследуемой области. Полученные зависимости показывают высокую чувствительность оптических адаптеров к внешним акустическим полям, причем чувствительность максимальна при минимальных SPL (до 40 дБ и менее), с ростом которых она сохраняет свою величину до 70 дБ и затем падает. Это согласуется с измерениями словесной разборчивости, которая начинает падать после превышения уровня звукового давления в 70 дБ. Такое поведение объясняется нелинейным откликом механической колебательной системы в виде тор-

цевого соединения волокон в тонкой трубке адаптера при превышении критических значений акустического давления в волне.

В работе не проводилась оценка CEL. Однако используя полученные выражения, можно получить оценку максимального значения сигнал/шум для речевого сигнала с SPL = 60 дБ при аппроксимации до минимальной мощности шума, которая превышает SNR = 20 (наблюдается 100%-я разборчивость). Реальное значение SNR имеет порядок 10 дБ, если принять за уровень звукового давления шума минимально достижимое значение фона на уровне 40 дБ. Исследования белым шумом позволяют поднять оценку максимального значения SNR в несколько раз. Приведенные оценки еще раз подтверждают предположение о микрофонном эффекте для данного канала утечки с минимальными шумами оптического адаптера как преобразователя.

*Оценка эффективности по чувствительности.* Еще одной оценкой эффективности функционирования речевого ТКУИ является измерение его чувствительности к акустическому полю. Фактически чувствительность есть выражение коэффициента модуляции через другие понятия, но вводимое понятие позволяет сравнивать речевой ТКУИ со стандартными детекторами акустического поля — микрофонами и вибродатчиками, что значительно расширяет понимание опасности текущего речевого канала утечки.

Выражение для чувствительности CSL в В/Па в канале утечки с несколькими преобразованиями можно представить в виде

$$\text{CSL} = \text{CML} \frac{x_0}{p} (\eta_1 \times \dots \times \eta_n), \quad (25)$$

где в скобках стоит произведение  $(\eta_1 \times \dots \times \eta_n)$  чувствительностей преобразователей в среде канала утечки.

*Процедура измерения CSL* повторяет действия по измерению коэффициента модуляции и сводится к снятию зависимости напряжения  $U$  на выходе системы регистрации (в Вольтах) от уровня звукового давления SPL (в Паскалях) и ее линеаризации, т. е. представлению в виде  $U(\text{SPL}) = U_0 + \text{CSL} \cdot \text{SPL}$ , откуда

$$\text{CSL} = \left\langle \frac{U - U_0}{\text{SPL}} \right\rangle. \quad (26)$$

Подобные измерения, проведенные для волоконно-оптического канала утечки речевой инфор-

мации [10], позволили оценить его чувствительность в 1—2 мкВ/Па при использовании канала утечки с акустооптическим преобразованием на адаптере SC-SC и фотоэлектрическим преобразованием на фотодиоде ФД-21КП и регистрации с помощью селективного нановольтметра UNIPAN. Полученное значение CSL может быть значительно повышено при использовании фотоприемников, более чувствительных по сравнению с фотодиодом ФД-21КП (интегральная токовая чувствительность которого составляет всего 3,3 мА/лм).

### Заключение

В работе представлена методика оценки эффективности ТКУИ, в том числе речевых, на основе измерения физических параметров информативного сигнала. Введенные параметры полностью согласуются с параметрами, используемыми для оценки характеристик измерительных систем, оценки качества систем голосовой связи. Использование экспериментально определенных физических параметров для оценки эффективности функционирования волоконно-оптического канала утечки речевой информации показывает высокий уровень его опасности.

### Литература

1. Железняк В. К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учеб. пособие. — СПб.: ГУАП, 2006. — 188 с.
2. Меньшаков Ю. К. Защита объектов и информации от технических средств разведки. — М.: РГГУ, 2002. — 399 с.
3. Зайцев А. П., Шелупанов А. А., Мецераков Р. В. и др. Технические средства и методы защиты информации: учеб. для вузов. — М.: Машиностроение, 2009. — 508 с.
4. Халяпин Д. Б. Вас подслушивают? Защищайтесь! — М.: НОУ ШО "Баярд", 2004. — 432 с.
5. Герасименко В. Г., Лаврухин Ю. Н., Тупота В. И. Методы защиты акустической речевой информации от утечки по техническим каналам. — М.: РЦИБ "Факел", 2008. — 256 с.
6. Сапожков М. А. Электроакустика. — М.: Связь, 1978. — 272 с.
7. Гришачев В. В., Косенко О. А. Количественная оценка эффективности канала утечки информации по техническим параметрам каналов связи // Вопросы защиты информации. 2010. № 4. С. 9—17.
8. Козлячков С. Б. Методические аспекты оценки защищенности речевой информации // Спецтехника и связь. 2011. № 2. С. 44—47.
9. Гришачев В. В., Калинина Ю. Д., Тарасов А. А. Артикуляционный анализ акустических каналов утечки информации на основе оптических кабельных систем // Вопросы защиты информации. 2015. № 1. С. 48—55.
10. Гришачев В. В., Калинина Ю. Д., Тарасов А. А., Шапкова О. А. Анализ волоконно-оптических каналов утечки речевой информации по физическим параметрам информационного сигнала. // Вопросы защиты информации. 2015. № 4. С. 34—42.

## Physical methods for efficiency estimation of speech information leakage threats through technical channels of information object

V. V. Grishachev, O. V. Kazarin, Ju. D. Kalinina

Institute for Information Sciences and Security Technologies of Russian State University of the Humanities, Moscow, Russia

*Formation model of information security threats against leakage through technical channels is determined by the physical characteristics of the informative signal as it travels from the source to the offender. Based on analogy of leakage channel with systems of information transmission and measuring systems is proposed a system of physical assessments, which allows you to effectively characterize and make a comparison between different leakage channels. As a leakage channel estimates is supposed to use efficiency, noise, modulation, sensitivity coefficients, that are simple physical interpretation and easily calculated. Entered parameters are used for assessing the effectiveness of speech leakage channel through the fiber optic communication, which shows a high risk of this type of leakage to ensure the information security of the object.*

**Keywords:** technical channel information leaks, efficiency estimation of leakage channels, physical characteristics leakage channels.

Bibliography — 10 references.

Received July 7, 2017