

# ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

3  
(122)

Москва  
2018

Основан  
в 1974 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

#### Управление доступом

- Ерин Ф. М.* Построение шаблонов для решения задачи контроля целостности конфигурации на основе атрибутной модели контроля доступа ..... 3
- Марков И. В.* Обзор средств контроля целостности отчужденных вычислений (Обзор)..... 7
- Чадов А. Ю.* Выработка требований к децентрализованной системе разграничения доступа ..... 13
- Чаус Е. А.* Основные преобразования метода двойного соответствия образцу, обеспечивающего защиту от атак на основе глубокого анализа сетевого трафика ..... 17
- Чумаков И. В.* Механизмы контроля целостности в системе контейнеризации Docker ..... 23
- Шарапов Р. А.* Система распространения полномочий и сертификатов открытых ключей на базе корпоративного блокчейна..... 26
- Журов П. М.* Особенности контроля взаимодействия клиента VMware vSphere 6.5 с vCenter ..... 31

#### Доверенная среда

- Гришачев В. В., Казарин О. В., Калинина Ю. Д.* Физическая модель угрозы утечки акустической (речевой) информации через волоконно-оптические коммуникации..... 35
- Рыбальская Е. А.* Особенности применения систем обнаружения вторжений ..... 52
- Былинкин А. А.* Двухканальное когерентное обнаружение сигнала технического средства на фоне помехи неизвестной структуры ..... 55

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ И ОБЪЕКТОВ

- Скворцов В. Э., Василец В. И.* Прикладные аспекты метрологического обеспечения в информационной сфере деятельности промышленного объекта ..... 63
- Рекунков И. С., Новиков В. К.* Правовые основы мониторинга средств массовой информации в интересах информационного противоборства (войны) ..... 69

**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, зав. кафедрой МФТИ

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

#### 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, профессор кафедры Финансового университета; **С. М. Климов** д-р тех наук, проф., начальник управления 4 ЦНИИ МО; **В. П. Лось,** д-р воен. наук, проф., зав. кафедрой МТУ; **И. Г. Назаров,** канд. техн. наук, генеральный директор 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., профессор кафедры МТУ; **В. Ю. Скиба,** д-р тех наук, первый зам. начальника Главного управления информационных технологий ФТС России; **А. А. Стрельцов,** д-р техн. наук, д-р юр. наук, проф., зам. директора Института проблем информационной безопасности МГУ им. М. В. Ломоносова; **А. Ю. Стушенко,** канд. юр. наук, зам. директора по безопасности, ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»; **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 Беларуси, 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"; **Ю. К. Язов,** д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник управления ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России.

## Физическая модель угрозы утечки акустической (речевой) информации через волоконно-оптические коммуникации

*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

*Предложена подробная модель угроз конфиденциальности речевой информации, циркулирующей на объекте информатизации с волоконно-оптическими коммуникациями, связанной с паразитными акустическими модуляциями и наводками на оптические потоки в оптическом кабеле. На основе качественного физического описания процессов формирования, прохождения и регистрации информативных сигналов акустической и оптической природы показана опасность реализации волоконно-оптического канала утечки речевой информации. Описаны возможные схемы реализации канала, определены места и произведены оценки размеров зон разведывательной доступности, которая может достигать сотни километров. Представлен возможный обобщенный сценарий реализации угрозы.*

*Ключевые слова:* модель угроз конфиденциальности речевой информации, волоконно-оптический канал утечки речевой информации, акустический информативный сигнал, оптический информативный сигнал, паразитные акустические модуляции и наводки, зона разведывательной доступности.

Эффективное и безопасное функционирование современного объекта информатизации невозможно без построения модели угроз информационной безопасности (ИБ), полнота которой должна постоянно контролироваться с учетом появления новых технических каналов утечки информации (ТКУИ), развития средств технической разведки (ТР), общего прогресса техники передачи, обработки и хранения информации. Важным элементом модели угроз являются угрозы конфиденциальности проведения переговоров в выделенных помещениях из-за утечки информации по техническим каналам [1]. Задача данного исследования — предложить модель угрозы конфиденциальности речевой информации при использовании волоконно-оптического канала утечки речевой информации [2, 3], опасность которой в открытых источниках должным образом не обсуждается, и оценить возможные технические решения по созданию технических систем защиты информации (ТСЗИ).

Построение модели угрозы ИБ можно произвести различными способами, но наиболее эффектив-

ным является физический подход к описанию основных процессов в ТКУИ, который позволяет не только пояснить принципы функционирования, но и оценить потенциал развития угрозы в будущем. Физика процессов преобразования, распространения и регистрации информативных сигналов хорошо изучена, но применение физического описания к конкретным техническим каналам утечки всегда затруднено в силу значительного разброса условий их протекания, влияния большого числа факторов и эффектов. Поэтому построение модели угроз ограничивается описаниями физических явлений на качественном уровне и оценками для наиболее распространенных условий протекания процессов. Далее предлагается новый комплексный подход в описании угрозы безопасности речевой информации.

### Волоконно-оптический канал утечки речевой информации

Модель конкретного технического канала утечки информации в первую очередь включает описание защищаемого информационного сигнала, т. е. физического носителя, используемого для обмена информацией между пользователями в пределах контролируемой зоны объекта с помощью штатных средств, описание информативных сигналов, т. е. модулированных информационным сигналом физических полей, общее представление о структуре канала утечки и принципах его функционирования.

---

**Гришачев Владимир Васильевич**, доцент.

E-mail: grishachev@mail.ru

**Казарин Олег Викторович**, заведующий кафедрой "Комплексная защита информации".

E-mail: okaz2005@yandex.ru

**Калинина Юлия Дмитриевна**, аспирантка.

E-mail: abarakedavra@gmail.com

---

Статья поступила в редакцию 30 мая 2018 г.

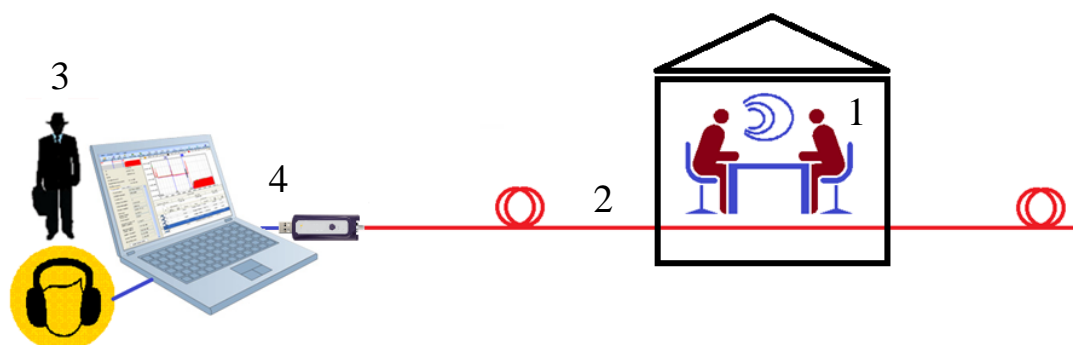
© Гришачев В. В., Казарин О. В., Калинина Ю. Д., 2018

*Модель информационного сигнала.* Речь является одним из базовых объектов угроз ИБ. Подлежащая защите речь циркулирует на объекте информатизации в виде информационного сигнала, являющегося аналоговым акустическим сигналом в воздушной среде защищаемого помещения (комнаты переговоров, совещаний, кабинет руководителя, служебные помещения, в том числе являющиеся выделенными помещениями, оснащенными ТСЗИ). Уровень угроз ИБ зависит от технических параметров помещения. Для оценки возьмем некоторое усредненное помещение в здании высотой не более 100 м с длиной периметра по основанию порядка 400 м. Объем помещения  $3 \times 10 \times 20 \text{ м}^3$ , материал стен — бетон, толщина стен 0,25 м, звукопоглощение стен 0,3. Речь рассмотрим как диффузный однородный по помещению акустический сигнал в воздухе в частотном диапазоне 100—4000 Гц с постоянным по помещению уровнем звукового давления (SPL) от 40 дБ (тихий шепот) до 75 дБ (крик) и отношением среднеквадратичной мощности информационного сигнала к фоновому шуму (SNR) не менее 10 дБ. Выбранные усредненные параметры защищаемого помещения и информационного сигнала позволяют сделать объективные оценки эффективности исследуемого технического канала утечки информации.

*Обобщенная структура волоконно-оптического канала утечки речевой информации* строится на основе большого объема проведенных ранее исследований [2—14], которые позволяют определить его особенности. Высокий уровень угроз связан с тем, что современные волоконно-оптические технологии находят широкое применение на объекте информатизации в системах передачи, обработки и хранения информации, а также в системах измерения и контроля. Основой таких систем является оптическое волокно, используемое как среда для получения и передачи информации, выступающее за-

меняемой электрическим (медным) кабелям. В оптическом кабеле возможна конвергенция (смещение) функций, таких, как измерения и передача информации, что приводит к возникновению новых ТКУИ, циркулирующей на объекте информатизации в виде различных физических полей. Чувствительность светового потока к механическим воздействиям используется в волоконно-оптических датчиках акустического поля, механического давления и т. д., в частности в системах охраны периметра, волоконно-оптических микрофонах и гидрофонах. В таких системах появляется возможность скрытного прослушивания переговоров. Утечка речевой информации происходит вследствие паразитных акустических модуляций и наводок на световые потоки в штатных оптических кабельных системах. Структура (рис. 1) канала утечки включает штатный оптический кабель в кабель-канале, распределенный по всему объекту информатизации, имеющий различное назначение (от систем передачи информации до распределенных измерительных систем) и находящийся в акустическом контакте с источником речи через воздушную среду или конструкции здания. Нарушитель получает доступ к оптическому кабелю и проводит оптическое зондирование, регистрируя оптический информативный сигнал.

Построение модели угроз ИБ включает определение средств технической разведки, возможных схем их применения, физических принципов формирования информативных сигналов, оценку размеров зоны разведывательной доступности и другие вопросы, обсуждение которых составляет основу представляемого анализа. В структуре канала необходимо выделить типы информативных сигналов, т. е. физические поля, выходящие за пределы защищаемого помещения и несущие информацию, места локализации первичного преобразователя.



*Рис. 1. Обобщенная структура волоконно-оптического канала утечки речевой информации:*  
 1 — источник речевой информации на объекте информатизации; 2 — штатная оптическая система;  
 3 — нарушитель; 4 — средства технической разведки

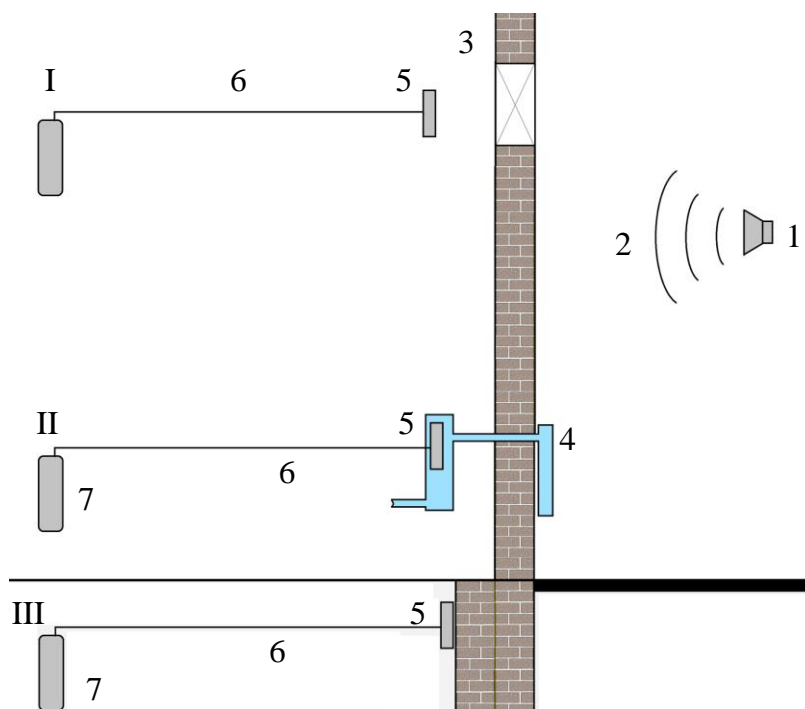
*Формула волоконно-оптического канала утечки речевой информации.* Получение скрытного доступа к конфиденциальной речевой информации, циркулирующей на объекте информатизации в выделенных помещениях, таких, как комнаты переговоров, кабинеты руководителя, служебные помещения, через волоконно-оптические кабельные системы объекта внутренним или внешним нарушителем происходит путем прямого подключения к штатной оптической сети или зондирования в оптических схемах на прохождение или отражение от выделенных участков сети с оптическими неоднородностями, в которых формируется оптический информативный сигнал вследствие паразитных акустических модуляций и наводок на световые потоки, вызванных воздействием воздушного или структурного акустического информативного сигнала от источника речевой информации.

### Информативные сигналы канала утечки

В структуре канала утечки можно выделить два вида информативных сигналов: первичные сопровождающие речь акустические поля и вторичные

модулированные ими световые потоки в оптическом кабеле. Каждый тип информативного сигнала имеет свои особенности распространения и преобразования.

*Акустический информативный сигнал.* Первичным информативным сигналом, сопровождающим речь, является выходящее за пределы защищаемого помещения акустическое поле (рис. 2), которое может быть представлено в виде звука в воздухе (воздушный канал утечки), звука в конструкциях здания (структурный канал утечки) и звука в водных коммуникациях (гидроакустический канал утечки). Эффективность функционирования утечки речевой информации по техническим каналам во многом определяется физикой процессов генерации, распространения и преобразования звуковых волн. Речевой сигнал — упругая волна речевого диапазона частот в воздухе (звуковая волна), при распространении достигающая конструкций здания и преобразующаяся в упругие волны в твердых телах (структурный звук). Условия распространения упругих волн в воздухе и твердом теле существенно различаются по типу, скорости, поглощению, рассеянию. Эти различия между звуковой



**Рис. 2. Обобщенная структура технических каналов утечки речевой информации:**

I — воздушный акустический (прямой) речевой ТКУИ; II — гидроакустический речевой ТКУИ (структурный) речевой ТКУИ; 1 — источник звука, речи в выделенном помещении; 2 — воздушная среда выделенного помещения; 3 — стена и другие конструкции выделенного помещения; 4 — водные коммуникации выделенного помещения; 5 — первичный преобразователь канала утечки речевой информации в воздушной среде (микрофон в канале I), в жидкости (гидрофон в канале II), на поверхности твердого тела (вибродатчик в канале III); 6 — линия связи преобразователя; 7 — техническое средство разведки (система регистрации)

волной и структурным звуком при распространении и регистрации позволяют выделить два способа формирования наводок на оптическом информативном сигнале: воздушные (прямые) и вибрационные (структурные) акустические паразитные модуляции.

По типу информативного акустического сигнала ТКUI имеют свои физические особенности функционирования [15]. В частности, различия по распространению [16] состоят в следующем:

- звуковая волна в воздухе — это объемная упругая продольная волна в ограниченном пространстве (комната) или в воздушном волноводе (воздуховод кондиционирования);
- структурный звук [17] — это волны Лэмба, т. е. нормальные симметричные и асимметричные упругие волны в тонких пластинах (стены здания), а также упругие волны в стрелках (арматура стен, трубы водоснабжения и отопления).

Значительно различаются способы регистрации упругих волн в разных средах [5, 17, 18]:

- для регистрации звуковых волн используются микрофоны с преобразованием механических колебаний легких мембран под действием звуковых колебаний с амплитудой смещения частиц воздуха порядка 10 нм в электрические колебания на основе индукционных, пьезоэлектрических, акустооптических и других эффектов;
- для регистрации структурного звука используются датчики вибраций поверхности конструкций здания с амплитудой смещения частиц среды менее 0,1 нм, функционирующие на тех же физических эффектах, но имеющие свои отличия по конструкции.

Существенные различия физических принципов функционирования воздушного и структурного ТКUI приводят к значительным различиям в методах и технике защиты речевой информации. Для нейтрализации воздушного акустического канала утечки требуется контролировать ход потоков воздуха в защищаемом помещении и вблизи него, для нейтрализации структурного — контролировать прохождение упругих волн по конструкциям здания (структурного звука), что значительно сложнее. Использование активных систем защиты в виде излучателей шума для первого канала утечки проще, чем для второго. Возможные потоки воздуха определяют местоположение устройств защиты, которое для структурного звука трудноопределимо. Из общих физических представлений о распространении звука можно сделать вывод о более высоком уровне угрозы от вибрационно-акустического канала утечки по сравнению с воздушно-акустическим.

*Оптический информативный сигнал.* Средой распространения оптического излучения в волокне является высокоочищенный от примесей плавленый кварц с низким коэффициентом поглощения, что позволяет создавать кабель с потерями порядка 0,16 дБ/км в окне прозрачности вблизи длины волны 1,55 мкм и реализовывать прямую передачу сигнала на расстояния до 300 км без промежуточных усилителей при оптическом бюджете линии порядка 50 дБ. Малые потери позволяют реализовывать системы связи объектов информатизации по технологии пассивных оптических сетей (ПОС или PON), т. е. осуществлять связь между пользователями без промежуточных активных элементов и преобразования оптического сигнала. Безразрывная оптическая среда в виде оптического кабеля охватывает весь объект информатизации. Соответствующая реализация регламентируется стандартами структурированных кабельных систем (СКС) [19]. Конвергенция функций передачи информации и измерительного преобразования в оптическом волокне создает возможность представить штатную оптическую информационную сеть как нештатную измерительную сеть, и наоборот. Одной из возможностей является построение на основе штатной информационной сети объекта информатизации нештатной распределенной измерительной акустической системы, превосходящей по размеру сам объект информатизации.

*Паразитные акустические модуляции и наводки на оптические потоки в волокне.* Акустический информативный сигнал, сопровождающий речь, оказывает механическое воздействие на пассивные элементы оптической сети, такие, как волокно оптического кабеля, разъёмные и неразъёмные соединения, разветвители, ответвители и другие части. Изменение геометрических и оптических параметров волокна вызывает акустические модуляции проходящего по нему светового потока, которые являются паразитными по своей природе, т. е. нежелательными, побочными, случайными и неконтролируемыми. Формируемые паразитные акустические модуляции и наводки на световые потоки являются вторичными оптическими информативными сигналами относительно первичного акустического информативного сигнала, непосредственно связанного с речевым информационным сигналом.

Эффективность оптического информативного сигнала определяется глубиной модуляции световых потоков, вызываемой акустическим информативным сигналом. В свою очередь, глубина модуляции зависит от среды, через которую осуществляется воздействие. Воздушный звук вызывает большие по величине механические смещения при меньшей воздействующей силе, чем воздействие

структурного звука на той же частоте и при той же интенсивности. Акустический импеданс, определяемый отношением акустического давления к акустической скорости, у воздуха на четыре порядка меньше, чем у твердых тел. Поэтому при равных интенсивностях и на одних и тех же частотах звука амплитуда акустического давления в воздухе будет меньше механических напряжений в твердом теле на четыре порядка, а амплитуды акустических скоростей, соответственно, на четыре порядка больше при амплитуде смещений частиц (деформаций) на два порядка больше. Подобное различие приводит к тому, что воздушный звук эффективно преобразуется легкими мембранами преобразователя, вызывая большие смещения (порядка десятков нм на частоте 1 кГц при уровне звукового давления, соответствующем спокойной речи) в воздухе, а структурный звук при меньших смещениях (порядка десятых долей нм) более инерционными преобразователями [5]. Различие преобразования воздушного и структурного звука в структуре волоконно-оптического канала утечки акустической информации проявляется в том, что для эффективной паразитной акустической модуляции света в волокне достаточно малых механических деформаций (меньших нм; структурный звук), а большие деформации (более нм; воздушный звук) могут вызывать нелинейные эффекты и достижение ограничивающих деформаций (насыщение).

В общем случае паразитные акустические модуляции и наводки не создают значительных проблем в системах передачи информации, что связано с малыми величинами глубины паразитных модуляций, не превышающими 0,3 % для проходящих световых потоков [13] на отдельных пассивных элементах (разъемные соединения) локальных оптических сетей. В отраженном и обратно рассеянном оптическом излучении паразитные модуляции могут достигать 100 %. Это не влияет на передачу информации, но может оказывать влияние на работу приемо-передающего оборудования, создавая аналоговые обратные связи.

*Оптические неоднородности в структуре канала.* На эффективность функционирования канала утечки большое влияние оказывают внутренние оптические неоднородности волокна, к которым можно отнести исходные и привнесенные оптические отклонения в структуре волокна и сети [10, 11]. При производстве, инсталляции и эксплуатации оптической сети внутри волокна формируются неоднородности. Первые связаны с внутренней структурой в виде локальных рассеивающих центров, внутренних трещин, внутренних напряжений, неидеальностью формы волокна и т. д. Вторые связаны с общей конструкцией кабельной сети (коммутационные узлы, разъемные и сварные соединения, угловые изгибы, скрутки кабеля, монтажные

крепления кабеля и кабельных коробов и т. д.). Третьи вызваны внешним естественным или искусственным воздействием на оптическую сеть в виде механических воздействий и воздействий внешних физических полей.

Отличительная особенность любой оптической неоднородности состоит в образовании повышенного уровня оптических потерь в виде прямых потерь на прохождение и возвратных потерь на отражение, которые могут превышать 0,1 дБ на одну неоднородность и локализованы в малых элементах сети от долей микрометра (сварное и разъемное соединение) до метров (скрученный кабель). В оптической сети объекта информатизации число таких неоднородностей может достигать тысяч элементов, каждый из которых может быть использован в канале утечки речевой информации как эффективный акустический преобразователь (датчик).

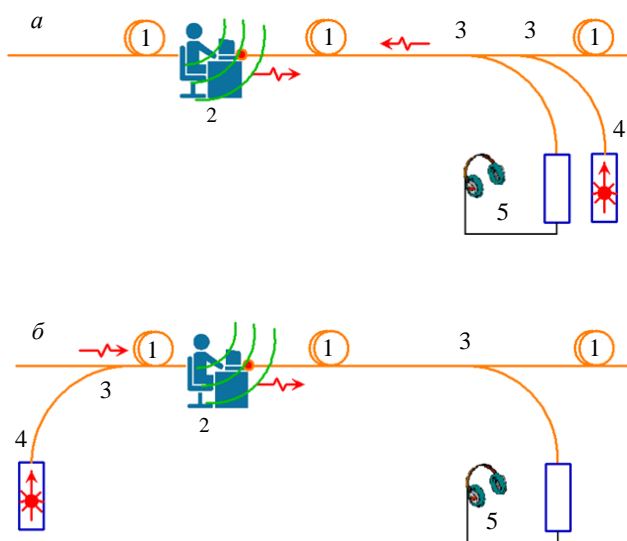
Еще одной особенностью является повышенная чувствительность локализованных оптических неоднородностей к внешним воздействиям, в том числе и к акустическим полям, что связано с их структурой. Любая оптическая неоднородность внутри оптического канала, диаметр которого не превышает 10 мкм для одномодового волокна и 60 мкм для многомодового волокна, чувствительна к любым малым изменениям (в том числе порядка долей нанометров) геометрических параметров. При этом механические и тепловые воздействия оказывают наибольшее влияние. Однако поскольку изменение температуры более инерционно относительно звука, акустические информативные сигналы легко отделяются от модуляций, вызванных температурными изменениями. Все эти особенности приводят к возможности формирования канала утечки речевой информации с микрофонным эффектом.

### **Средства технической разведки канала утечки**

Реализация канала утечки требует прямого оптического подключения к штатной сети для ввода зондирующих излучений и вывода информативного сигнала. Подобное требование связано с высокими шумами, сопровождающими процесс преобразования акустического сигнала в оптический в не предназначенных для этого штатных элементах оптической сети. Подключение к оптической сети можно произвести путем установки специальной волоконно-оптической вставки через штатные разъемные соединения или в разрыв кабеля. Такие вставки в виде ответвителей и разветвителей являются штатными пассивными элементами оптической

ских сетей, используемыми для их масштабирования. В некоторых случаях при зондировании на небольшие расстояния в несколько километров могут быть применены приспособления для ввода-вывода оптического излучения на изгибе волокна без его разрыва (типа устройства ввода-вывода сигнала на изгибе волокна Haktronics Photom 550, ответвления-прищепки FOD-5503).

**Схемы зондирования.** В систему зондирования включаются два основных элемента: источник и приемник оптического излучения, подключенные к оптической сети. Различают две схемы зондирования (рис. 3) [14]. В схеме на прохождение (рис. 3, а) источник информационного сигнала размещается между источником и приемником света в оптическом кабеле. Зондирующее оптическое излучение проходит по оптическому кабелю и собирает все паразитные модуляции, в том числе вызванные акустическим воздействием. Данная техника используется для контроля потерь в оптической линии, применяется в волоконно-оптических точечных датчиках. Недостатком данной схемы зондирования является необходимость превышения глубиной паразитной модуляции информативного сигнала остальных шумовых модуляций, что ограничивает дальность зондирования.



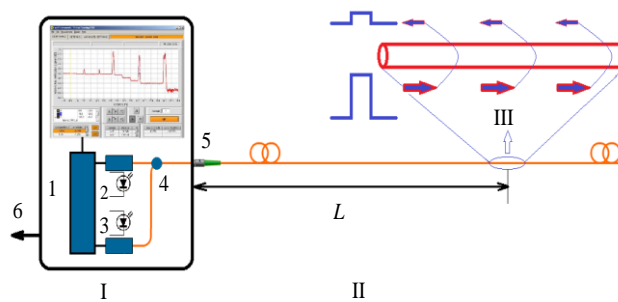
**Рис. 3.** Принципиальная оптическая схема зондирования в канале утечки речевой информации: 1 — штатная оптическая сеть; 2 — источник конфиденциальной речевой информации; 3 — ответвитель; 4 — источник света (лазер); 5 — приемник с наушниками

В схеме на отражение (рис. 3, б) источник и приемник света размещены с одной стороны от источника информации и могут быть совмещены в одном устройстве. Зондирующее излучение доходит до

определенного участка кабеля, где формируется рассеянное или отраженное излучение, и возвращается обратно к источнику и приемнику света. Такое зондирование называется оптической рефлектометрией. Оно позволяет различными методами выделить информативный сигнал от определенного участка оптической сети, значительно уменьшив помехи от других, например методом импульсной или частотной рефлектометрии. Данная техника широко применяется для контроля состояния оптических сетей в распределенных измерительных волоконно-оптических сетях.

При зондировании могут быть использованы оптические излучения как штатных источников (передатчиков), применяемых для передачи информации, так и сторонних, подключаемых нарушителем к сети. Преимущество первого способа заключается в скрытности зондирования, а второго — в широком выборе параметров зондирующего излучения. Методом подбора параметров зондирующего излучения, таких, как мощность, длина волны, поляризация и когерентность, можно значительно повысить эффективность конкретного канала утечки. Возможность использования штатного излучения для зондирования в канале утечки речевой информации связана со значительной разницей частоты модуляции штатного оптического излучения в системе передачи информации (более 100 МГц) и частоты паразитных акустических модуляций того же излучения (менее 4 кГц).

**Оптическая рефлектометрия** [20—22]. Наиболее эффективным методом зондирования в канале утечки является оптическая рефлектометрия, в котором источник и приемник оптического излучения объединены вместе с системой управления и обработки (компьютером) в отдельный прибор — оптический рефлектометр (рис. 4), имеющий выход в информационную сеть (Интернет).



**Рис. 4.** Обобщенная схема зондирования с помощью рефлектометра (I) оптической сети (II) с выделенным участком (III) на расстоянии  $L$ :

- 1 — система управления и обработки (компьютер);
- 2 — управляемый источник света; 3 — фотоприемник;
- 4 — циркулятор; 5 — волоконно-оптический разъем;
- 6 — выход в Интернет

Оптический рефлектометр — это оптоэлектронный прибор, используемый для измерения параметров оптического волокна и являющийся оптическим эквивалентом электронных рефлектометров. Принцип его работы состоит в введении при тестировании в волокно одного или серии оптических импульсов и регистрации света, который рассеивается обратно (обратное рассеяние Рэлея, Рамана, Мандельштама—Бриллюэна) или отражается от оптических неоднородностей вдоль волокна. Рассеянный или отраженный свет, возвращающийся обратно, используется для определения параметров оптического волокна. Интенсивность возвращающегося оптического излучения измеряется как функция времени, которая представляется на графике в виде рефлектограммы как функция длины по волокну до места рассеяния.

Преимущество данного метода в виде возможности выделения отклика от локализованных участков оптической сети (локализации событий) широко используется в системах мониторинга состояния сети в реальном времени, при выявлении нарушений работы при обрывах, увеличениях потерь и других отклонениях, а также в распределенных системах измерения вибраций, температуры и т. д.

Техника оптической рефлектометрии позволяет проводить зондирование сети длинными импульсами большой энергии на расстояния более 500 км с пространственным разрешением порядка нескольких метров и короткими импульсами на расстояния в несколько десятков километров с пространственным разрешением порядка нескольких сантиметров с разрешением по величине потерь менее 0,01 дБ. С их помощью выявляются внутренние оптические неоднородности сети различной природы, вызванные механическим, акустическим, тепловым и другими воздействиями, определяются их характеристики.

Оптические рефлектометры делятся по способу локализации отклика (события) на непрерывные (рефлектометр непрерывного оптического излучения, Optical Continuous-Wave Reflectometry, OCWR), импульсные (оптические рефлектометры во временной области, Optical Time Domain Reflectometer, OTDR), с частотным сканированием (оптические рефлектометры в частотной области, Optical Frequency Domain Reflectometer, OFDR) и корреляционные (корреляционные оптические рефлектометры во временной области, Correlation Optical Time Domain Reflectometer, COR-OTDR).

Использование в OCWR постоянного по мощности оптического излучения для зондирования ограничивается исследованием сети, в которой выделя-

ются одиночные оптические неоднородности с изменяющимся во времени повышенным откликом. Метод позволяет проводить интегральные измерения оптических возвратных потерь (Optical Return Loss, ORL) в сети, выявлять разрывы и другие события.

Наибольшее применение находит метод импульсной оптической рефлектометрии OTDR, в котором зондирование производится одним или несколькими оптическими импульсами малой длины и измеряется отклик сети только на прохождение этого импульса, что позволяет получить распределенный по длине волокна отклик в виде рефлектограммы, т. е. зависимость мощности возвратного оптического излучения от длины волокна или от времени. При этом существует прямая связь между расстоянием до локализованного события  $x$  и временем задержки отклика от него  $t$ , определяемая через скорость света  $c$  и показатель преломления  $n$  среды волокна:  $t = 2nx/c$ . Для зондирования в OTDR можно использовать за один цикл несколько импульсов на разных длинах волн, получив для каждой из них свою рефлектограмму. Такое совместное зондирование повышает информативность, достоверность и точность измерения.

В частотной рефлектометрии OFDR для зондирования используется непрерывное сканирование длины волны на всем временном цикле измерения с выделением возвращающихся излучений по длине волны, т. е. зондирование производится светом постоянной мощности с линейным изменением длины волны на одном цикле, что позволяет разделить отклики на разных длинах волн и получить локализацию событий с пространственным разрешением порядка нескольких микрон на расстояниях в тысячи метров.

В COR-OTDR используется псевдослучайный зондирующий оптический сигнал с автокорреляционной функцией, близкой к дельта-функции, что позволяет путем свертки с регистрируемым возвращающимся сигналом получить отклик от исследуемого участка сети.

Информативность и достоверность оптической рефлектометрии определяются физикой формирования отклика (события) на локальном участке оптического волокна. Основой являются рассеяние Рэлея на малых неоднородностях и отражение на больших поперечных дефектах. Кроме того, возможно влияние других оптических явлений. Например, рассеяние Мандельштама—Бриллюэна используется в бриллионовской рефлектометрии (Brillion-OTDR), а рассеяние Рамана — в рамановской рефлектометрии (Raman-OTDR) для распределенного по волокну измерения температуры по



измененному спектру рассеяния; влияние состояния материала оптического волокна на поляризацию рэлеевского рассеяния применяется в поляризационной рефлектометрии (Polarization-OTDR) для измерения поляризованной модовой дисперсии (polarization mode dispersion, PMD); когерентность рэлеевского рассеяния используется в когерентной рефлектометрии (Coherent-OTDR) для контроля вибраций. Существуют и другие типы, например рефлектометрия с малой длиной когерентности (LC-OTDR) и с фотоприемником, работающим в режиме счета фотонов (PC-OTDR).

Метод оптической рефлектометрии применяется как при наладке, так и при эксплуатации оптической сети. В последнем случае это автономная система мониторинга сети с возможностью дистанционного управления и передачи измерительной информации на диспетчерский пункт. Основные технические параметры некоторых оптических рефлектометров приведены в таблице. Эффективность оптического рефлектометра определяется характеристиками источника излучения (спектр, мощность и длительность импульса), приемника (чувствительность, динамический диапазон) и оптической сети (показатель преломления, потери). Высокая точность измерения параметров событий по потерям достигается путем усреднения по большому числу циклов зондирования (выборке). Например, при зондировании с частотой 1 кГц в течение 6 мин, точность повышается в 600 раз.

Использование оптического рефлектометра в канале утечки речевой информации имеет свои особенности, связанные с выбираемым участком сети для зондирования, обладающего повышенной акустической чувствительностью при максимальной близости к источнику, с требованием непрерывного измерения параметров локализованных собы-

тий в течение длительного времени, определяемого длительностью переговоров, на частоте порядка 1 кГц с выходом на внешние информационные сети (Интернет) для передачи собранной информации. Такие изменения не являются значительными и укладываются в изменение программного обеспечения рефлектометра. В случаях применения оптических рефлектометров для охраны периметров подобные изменения вообще не требуются, так как возможность прослушивания интегрального звукового сигнала предусмотрена их конструкцией (например, в когерентном рефлектометре "Дунай" [23, 24]).

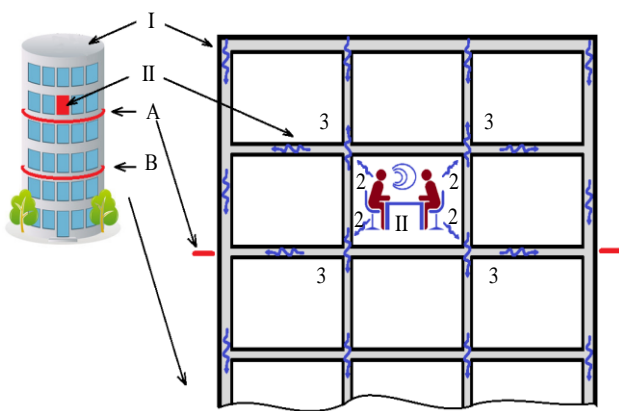
### Особенности функционирования канала утечки

*Особенность модели угроз конфиденциальности речевой информации в современном офисе.* Современный офис крупной компании, банка или государственного учреждения, как правило, представляет собой отдельно стоящее высотное здание с периметром контролируемой зоны вблизи других общедоступных зданий. Основные архитектурно-конструктивные несущие (фундаменты, стены, каркасы, перекрытия и покрытия) и ограждающие (наружные и внутренние стены, полы, перегородки, заполнения оконных и дверных проемов) элементы зданий выполнены из железобетона, кирпича, металлоконструкций. Современное офисное здание является объектом информатизации с развитой инфраструктурой для ведения интенсивной работы с конфиденциальной информацией с помощью технических средств, в котором существуют выделенные помещения для проведения конфиденциальных переговоров, а также помещения с ограниченным допуском сотрудников, где также может циркулировать подлежащая защите речевая информация [1].

Основные технические параметры оптических рефлектометров

Тип рефлектометра	OTDR (импульсный)	P-OTDR (поляризационный)	C-OTDR (когерентный)	OFDR (частотный)
Производитель	EXFO Corp.	EXFO Corp.	Anritsu Group	Luna Inc.
Модель	MAX-730C	P-OTDR-1100	MW90010A	OBR 4200
Рабочие длины волн, нм	1310 ± 20/1550 ± 20/ 1625 ± 10	1410/1490/1625	1535,03—1565,08 (±0,2)	1270—1340/ 1525—1610
Динамический диапазон, дБ	39/38/39	20	>17	70
Диапазон расстояний, км	0,1—400	2,5—120	500—12 000	0,03—2
Длина импульса, мкс	0,003—20	0,030—0,500	3000—100 000	—
Разрешение по потерям, дБ	0,001	—	0,02	0,05
Пространственное разрешение, м	0,04—10	500	10	0,00001—0,001
Назначение	Мониторинг оптических сетей	Измерение степени поляризации	Мониторинг телекоммуникаций	Лабораторные измерения

Наиболее опасным речевым ТКУИ для защищаемого помещения является вибрационно-акустический канал утечки речевой информации (рис. 5), основанный на структурном звуке, формирующемся в стенах здания. Если выделенное помещение можно полностью закрыть от свободного прохождения воздуха, тем самым исключив воздушный канал утечки, то предотвратить формирование информативного сигнала в виде структурного звука очень трудно. При проведении переговоров звуковые волны будут распространяться в ограниченном пространстве выделенного помещения до тех пор, пока не поглотятся стенами и интерьером комнаты. Время реверберации  $RT_{60}$ , в течение которого мощность звуковой волны уменьшается на шесть порядков, т. е. звук практически полностью исчезает, является важной характеристикой помещения, влияющей на комфортабельное ведение переговоров [1, 18]. Величина  $RT_{60}$  может превышать секунду и быть намного продолжительнее инерционности слуха человека, т. е. способности сводить разнесенные по времени звуки в единое звуковое восприятие (более 50 мс). За время реверберации звук может проходить расстояние более 350 м в воздухе и более 3 500 м в материале стен здания без существенного изменения качества восприятия речи.



**Рис. 5. Структурная схема формирования вибрационно-акустического (структурного) канала утечки речевой информации в современных зданиях (I) из выделенных помещений (II) — с поперечными сечениями A и B:**  
 1 — источник речевой информации; 2 — акустическая волна в воздухе; 3 — структурные волны в стенах здания

Энергия звуковой волны при распространении как в воздухе, так и в твердых телах слабо поглощается [18, 25]. По порядку величины коэффициент поглощения в однородных средах составляет такое значение, при котором интенсивность звука на некоторых частотах падает в три раза на рассто-

яниях в сотни километров, поэтому преобразованием энергии звуковой волны в тепло можно пренебречь. Основными механизмами ослабления звука можно считать расхождение и рассеяние, которые неэффективны для звука в ограниченном пространстве и в волноводах. В выделенном помещении пока звук из воздушной среды полностью не перейдет в структурный звук в стенах, он будет слышен с эффектом реверберации, а затем в виде эха. В архитектурной акустике снижение  $RT_{60}$  достигается путем повышения звукопоглощения стен комнаты, которое по большей части переводит звук из воздуха в конструкции здания, т. е. в структурный звук (шум). При распространении звука в воздухе при взаимодействии со стенами и интерьером помещения часть энергии звуковой волны переходит в тепло. Эту часть нельзя считать значительной в помещениях без специального звукопоглотителя, как в реверберационных комнатах, студиях звукозаписи и т. д.

Со структурным звуком при распространении происходит рассеяние на неоднородностях стен, конструктивных элементах здания, но при этом волна сохраняет свою полную энергию, увеличивая время реверберации. Если учесть время задержки ( $RT_{60} \approx 1$  с) между рассеянными частями волны, то проходимые расстояния должны составить более 3 км, что на порядки превосходит размеры всего здания. Структурный звук заполняет все пространство конструкций здания, и его интенсивность сохраняется неизменной во всех горизонтальных сечениях стен здания с постоянной толщиной несущих элементов (рис. 5). Основные потери энергии структурного звука могут происходить при излучении внешними поверхностями здания в окружающее воздушное пространство (для современных офисных зданий с теплоизоляцией внешних поверхностей этими потерями можно пренебречь) или через фундамент здания в окружающую земную среду — грунт. Таким образом, структурные волны могут потерять основную часть своей энергии при распространении в фундаменте здания вследствие расхождения упругой волны в земляной среде. При этом остается возможность их регистрации в грунте вблизи здания.

Произведем оценку интенсивности информативного сигнала в виде структурного звука в стенах на уровне вплоть до фундамента современного офисного здания высотой  $H$ , общей этажной площадью (площадь застройки здания)  $S$  и поперечной площадью сечения стен  $\eta$  от общей площади этажа, т. е. площадью  $\eta S$ . При проведении переговоров в выделенном помещении уровень звукового давления  $L_0$  на расстоянии  $R = 1$  м от переговорщи-

ков имеет величину порядка 60 дБ (спокойный разговор). Данному уровню громкости соответствуют интенсивность звуковой волны  $I=10^6 I_0=1$  мкВт/м<sup>2</sup>, где  $I_0$  — порог слышимости, и общая мощность источника звука  $P=4\pi R^2 I=4\pi$  мкВт. Из общей мощности звука в воздухе в мощность структурного звука переходит только некоторая часть  $k$ . Примем её равной приблизительно  $1/\pi$  (остальное преобразуется в тепло). Оценка в 32 % несколько занижена для стандартных железобетонных стен, а для стен со специальными покрытиями несколько завышена. Оценим этажную площадь здания как  $S=l^2/16=10^4$  м<sup>2</sup>, а площадь сечения стен офисного здания как  $\eta S=4ld=400$  м<sup>2</sup>, где  $l\approx 400$  м — периметр здания,  $d\approx 0,25$  м — толщина стен, т. е. примем  $\eta=4$  %. При высоте здания  $H < 100$  м потерями энергии звука можно пренебречь, тогда средняя интенсивность структурных волн в стенах здания вплоть до фундамента составит  $(kP/\eta S)=10^4 I_0=0,01$  мкВт/м<sup>2</sup>. Данное значение интенсивности структурных волн соответствует уровню звукового давления в воздухе равное  $L=L_0+\Delta L\approx 40$  дБ, где ослабление  $\Delta L=L-L_0=10\lg(kP/\eta SI)\approx -20$  дБ. Таким образом, уровень громкости отвечает уровню для слушателя на расстоянии 10 м от переговорщиков в свободном пространстве, что соответствует прямому подслушиванию нарушителем у полностью звукопоглощающей стенки выделенного помещения.

Представленные оценки относятся к случаю конструкции здания с однородными по структуре стенами. Конечно, неоднородности конструкции, такие, как хозяйственные коммуникации, лестничные пролеты, лифтовые шахты, монолитные несущие каркасы и т. д., создают условия для перераспределения энергии структурных волн и появления особо опасных участков здания для формирования вибрационно-акустического канала утечки.

Построенная модель угрозы безопасности речевой информации в современных технических системах защиты информации решается путем установки вибрационно-акустических излучателей шума вблизи выделенного помещения. Подобная система защиты может эффективно нейтрализовать любой вибрационно-акустический речевой ТКУИ при простейших схемах реализации угрозы, но она неэффективна при использовании более сложных схем "подслушивания" с современными системами выделения информативного сигнала.

*Роль волоконно-оптического канала утечки акустической (речевой) информации.* Существование информативного структурного звука, распространяющегося по конструкциям здания совместно со

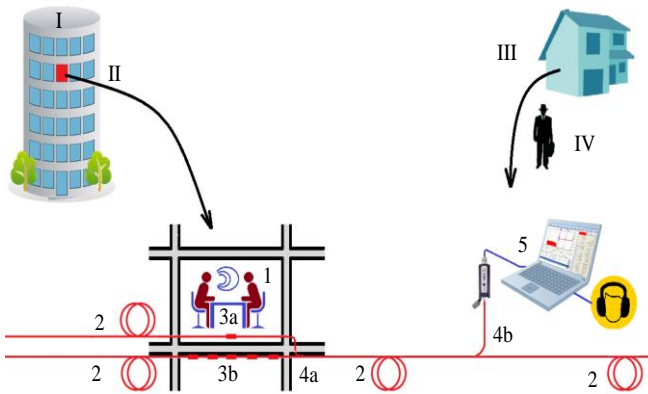
структурным шумом, в принципе позволяет реализовать сложную схему угрозы несанкционированного доступа к речевой информации, циркулирующей в выделенном помещении, путем фильтрации шума. Предлагаемая модель угрозы строится на основе волоконно-оптического канала утечки речевой информации. Суть ее заключается в конвергенции функций в информационных и измерительных оптических сетях объекта [2—14].

Наличие оптических сетей различного назначения в современном офисе является объективной необходимостью. Кроме основной функции передачи информации различного вида, они также эффективно реализуют и функцию измерения физических полей. Оптическое волокно используется в телекоммуникационных и локальных системах связи, применяется в волоконно-оптических удлинителях различных интерфейсов, в соединении отдельных элементов разветвленных систем управления и контроля, таких, как системы видеонаблюдения. С другой стороны, оптическое волокно является базой для построения измерительных систем физических полей объекта, к которым можно отнести волоконно-оптические системы охраны периметра, системы охранно-пожарной сигнализации. Все это приводит к широкому распространению волоконно-оптических технологий на объекте информатизации, причем для передачи и измерения может быть использовано волокно одного и того же типа, что приводит к возможности использования любого оптического кабеля как в качестве распределенной измерительной системы акустических полей, так и для передачи информации.

Размещение оптического кабеля в современном офисе производится по технологии структурированных кабельных систем, когда кабельные каналы для информационного и силового кабеля проходят по всему зданию, охватывая и соединяя между собой все его части. Предоставление информационных услуг для пользователей внутри объекта и для связи с внешними пользователями осуществляется по технологии пассивных оптических сетей, в которых физически реализована технология связи без промежуточных активных элементов, т. е. свет от одного пользователя до другого проходит напрямую без преобразования. Дальность такой прямой связи зависит от используемого стандарта сети и доходит до 60 км (для технологии GPON) и более.

Оптическое волокно и кабель штатных оптических сетей полностью охватывают весь объект информатизации и выходят за пределы контролируемой зоны. Оптический кабель может быть проложен вблизи объекта. Данная оптическая кабельная система, по отдельности выполняющая различные

штатные функции, может быть использована как стационарная распределенная волоконно-оптическая фазированная пространственная решетка акустических приемников (микрофонов/вибродатчиков), роль которых выполняют оптические неоднородности, случайно распределенные по кабельной системе [26, 27]. Таким образом, в пространстве офисного здания вокруг источника звука имеем распределенную структуру акустических волоконно-оптических датчиков (рис. 6), образующих 3D-решетку вибродатчиков, которую нарушитель может использовать для формирования речевого ТКУИ.



**Рис. 6. Формирование волоконно-оптического канала утечки речевой информации на основе паразитных воздушных и вибрационных акустических модуляций светового потока в оптических кабельных системах для современного учреждения (I) с выделенным помещением (II) со зданием (III) вблизи волоконно-оптических коммуникаций с нарушителем (IV):**

- 1 — источник речевой информации; 2 — волоконно-оптические коммуникации; 3 — оптические неоднородности кабельной системы при воздушном (а) и вибрационном (б) формировании паразитных модуляций света; 4 — оптический разветвитель штатный (а) и нештатный (б); 5 — технические средства разведки нарушителя

Эффективность функционирования построенного на данных физических принципах технического канала утечки речевой информации зависит от многих условий: числа используемых волокон и их разветвленности, близости к выделенному помещению, неоднородностей оптического кабеля, точности настройки фазированной пространственной структуры и т. д. Отметим способность описанного ТКУИ обойти системы активной защиты выделенного помещения путем фильтрации принимаемого сигнала по фазе. Такая фильтрация может быть эффективна вследствие разнесённости в пространстве источника речевого сигнала и устройства виброакустического шума, которые будут иметь различные фазы при регистрации в 3D-решетке акустических приемников. Еще одна опасность связана с не-

возможностью обнаружить функционирующий канал и нейтрализовать его известными техническими системами защиты.

*Эффективность распределенных измерений с фазовой селекцией полезного сигнала.* Проведем оценку объема информации для получения приемлемой эффективности функционирования разведывательной сети, т. е. оценим число контролируемых точек  $m$  в оптической сети, необходимых для достижения интегрального уровня мощности сигнала, равной мощности шума (интегральное отношение сигнал/шум измерительной системы  $SNR = 1$ ), если в среднем для каждой контролируемой точки сети уровень сигнала меньше уровня шума в 1000 раз (эффективное отношение сигнал/шум одного измерения  $SNR_0 = 0,001$ ). Пусть в каждой контролируемой точке  $i$  сети из общего числа точек  $m$  мощность информативного сигнала равна  $S_i$ , а мощность фонового шума —  $N_i$  тогда среднее значение мощности сигнала  $\langle S_i \rangle = ISI$  равно характерной мощности информативного сигнала, введенной ранее, а среднее значение мощности шума  $\langle N_i \rangle = BNI$  равно характерной мощности фонового шума. Таким образом,  $SNR_0 = ISI/BNI$ .

Селекция информативного сигнала на фоне шума приводит к тому, что измеренные параметры информативного сигнала когерентны между собой, а вклады шумов являются не связанными между собой случайными величинами. Поэтому интегральная мощность  $S$  информативного сигнала, регистрируемая всей измерительной сетью, будет пропорциональна квадрату суммы измеренных амплитуд ( $\sim \sqrt{S_i}$ ), а интегральная мощность  $N$  фонового шума будет равна среднему квадратичному отдельных составляющих  $N_i$ . Таким образом, регистрируемая интегральная мощность информативного сигнала

$$P = S + N = \left( \sum_{i=1}^m \sqrt{S_i} \right)^2 + \sqrt{\sum_{i=1}^m N_i^2}.$$

Следовательно, интегральное отношение сигнал/шум измерительной системы определится как

$$SNR = \left( \sum_{i=1}^m \sqrt{S_i} \right)^2 / \sqrt{\sum_{i=1}^m N_i^2}.$$

Для оценки числа контролируемых точек сети перейдем к характерным значениям информативного сигнала  $ISI$  и шума  $BNI$ . Тогда

$$SNR = m^{3/2} SNR_0.$$

Это позволяет сделать оценку для общего числа требуемых контролируемых точек сети  $m = 100$ , для получения приемлемого  $SNR = 1$  при реальном значении  $SNR_0 = 0,001$ . Полученное значение показывает высокую эффективность волоконно-оптического канала утечки речевой информации в режиме фазовой селекции.

### Места и зона разведдоступности

Зону разведдоступности можно определить как окружающее источник информации пространство, размещение в котором средств технической разведки позволяет надежно регистрировать информативный сигнал. Размеры зоны определяются соотношениями между возможностями применяемых средств технической разведки, уровнями интенсивности информативного сигнала и фонового шума. Технические средства разведки как адаптированная к специальным целям измерительная система (датчик) характеризуются точностью, разрешающей способностью, чувствительностью, собственными шумами и другими параметрами. Для оценки зоны разведдоступности наиболее подходит разрешающая способность по интенсивности регистрируемого поля, которую можно определить как минимальное значение интенсивности физического поля носителя информативного сигнала, регистрируемого средствами технической разведки (Technical Intelligence Sensitivity, TIS). TIS является интегральным универсальным параметром для оценки возможностей технических средств разведки, который связан и с точностью измерения, и с собственными шумами системы измерения. Наиболее важным параметром является интенсивность информативного сигнала (Informative Signal Intensity, ISI), которая определяет саму возможность функционирования канала утечки. ISI уменьшается при удалении от источника информации вследствие поглощения, рассеяния и других видов ослабления физического поля носителя информативного сигнала. Еще одним параметром, влияющим на эффективность функционирования канала утечки, является окружающая обстановка вокруг места размещения средств технической разведки, которую можно характеризовать интенсивностью фоновых шумов (Background Noise Intensity, BNI). Все три величины, TIS, ISI и BNI, выражаются в Вт/м<sup>2</sup>. Соотношение между ними определяет расстояние, с которого возможна регистрация информативного сигнала. Если TIS и BNI являются техническими и физическими постоянными, то  $ISI(R)$  зависит от расстояния  $R$  от источника информации, что позволяет оценить размеры зоны разведдоступности по соотношениям  $ISI(R) = TIS$  или

$ISI(R) = BNI$  в зависимости от условий функционирования канала утечки.

В частности, размеры зоны разведдоступности для побочных электромагнитных излучений и наводок рассчитываются по соотношению информативного сигнала и шумов ( $ISI(R) = BNI$ ) и определяются как радиус зоны R2. В системе подслушивания с помощью направленного микрофона зона разведдоступности определяется дальностью действия, оцениваемого по соотношению между интенсивностью информативного сигнала и разрешающей способностью микрофона ( $ISI(R) = TIS$ ). В принципе для любого технического канала утечки информации по соотношениям  $ISI(R) = TIS$  и  $ISI(R) = BNI$  можно оценить размеры зоны разведдоступности.

Используем данную методику для оценки зоны разведдоступности волоконно-оптического канала утечки речевой информации в виде распределенной структуры акустических волоконно-оптических датчиков с фазовой селекцией информативного сигнала от шума (рис. 7). В этом случае фоновый шум имеет второстепенное значение и основным параметром является соотношение  $ISI(R) = TIS$ . Структура волоконно-оптического канала утечки речевой информации включает две самостоятельные части: зона акустической разведдоступности, определяемая дальностью распространения информативного акустического сигнала в газовой, твердой и жидкой средах, генерируемого источником речевой информации; зона волоконно-оптической разведдоступности, определяемая дальностью распространения информативного оптического сигнала в волоконно-оптических коммуникациях, генерируемого паразитными акустическими модуляциями и наводками на световые потоки.

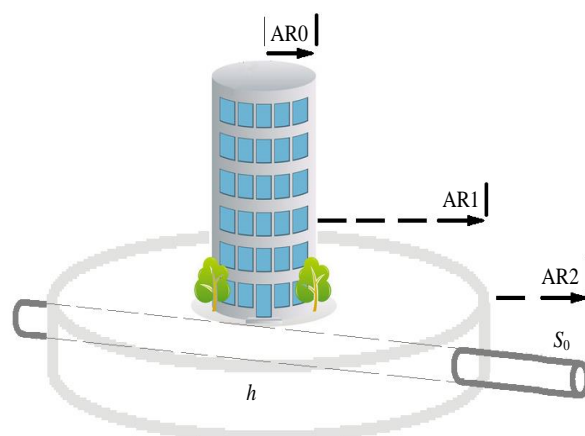


Рис. 7. Схематическое изображение зон акустической разведдоступности по структурному звуку: AR0 — характерный размер здания; AR1 — область распространения структурного звука в грунте толщиной  $h$  вокруг здания; AR2 — область распространения структурного звука в хозяйственных и инженерных коммуникациях с поперечным сечением  $S_0$

В случае обсуждаемого структурного канала утечки информации средой распространения являются конструкции здания, фундамент здания, поверхностный слой (грунт) вокруг здания и хозяйственные коммуникации. Оценка размеров зоны акустической разведдоступности сводится к определению дальности распространения структурного звука. Как уже было показано, во всем здании уровень структурного звука можно приблизительно принять одинаковым, что позволяет считать все здание зоной разведдоступности одинаковой угрозы. Обозначим размеры зоны как AR0, любое размещение технических средств разведки внутри защищаемого здания создает максимальную угрозу.

Следующая зона разведдоступности образуется фундаментом здания и приповерхностным слоем вокруг здания. Так как приповерхностный слой (техногенный грунт) является более уплотненной средой, чем более глубокие слои поверхности земли, структурный звук распространяется не во все стороны от здания вглубь земли, а в некотором приповерхностном слое. Толщина слоя  $h$  зависит от степени обработки поверхности, размеров фундамента, времен года и других условий, но в среднем ее можно оценить в несколько метров. Примем  $h=5$  м. Распространение звука в приповерхностном слое сопровождается его ослаблением вследствие потерь свободного пространства и поглощения. Характеристики техногенного грунта варьируются в широких пределах в зависимости от его состояния (плотности, состава, пористости, влажности, температуры) и частоты звука. В общем случае можно принять плотность грунта 2500—3500 кг/м<sup>3</sup>, скорость звука 3000—7000 м/с, коэффициент потерь 0,1—0,03 м<sup>-1</sup> в области звуковых частот [28, 29].

В плотно утрамбованных грунтах вблизи фундамента здания коэффициент потерь может принимать малые значения. Тогда в приближении малого поглощения за малые промежутки времени основное ослабление звука будет определяться потерями свободного пространства, т. е. расхождением волны с цилиндрическим фронтом, при котором уменьшение интенсивности происходит обратно пропорционально пройденному расстоянию. Определим размер зоны разведдоступности как AR1 из условия  $ISI(AR1) = TIS$ . Так как регистрируемая интенсивность информативного акустического сигнала  $ISI(AR1) = kP / 2\pi h AR1$ , получаем

$$AR1 = \frac{kP}{2\pi h TIS},$$

где  $kP$  — введенная ранее мощность структурного звука в стенах здания.

Еще одна зона разведдоступности образуется хозяйственными, инженерными коммуникациями, которые формируют акустические волноводы вблизи защищаемого здания и контролируемой зоны. При размещении средств ТР на подобных конструкциях возможна регистрация информативного структурного звука. Дальность распространения звука по волноводным каналам определяется поглощением в материалах коммуникаций (тяжелый бетон, сталь). Определим размер зоны разведдоступности как AR2 из условия  $ISI(AR2) = TIS$ . Если  $\alpha$  — поглощение материала коммуникации, а доля проникновения энергии звуковой волны в коммуникации с площадью поперечного сечения  $S_0$  соответствует  $g$ , то

$$AR2 = \frac{1}{\alpha} \ln \left( \frac{gkP}{S_0 TIS} \right).$$

Разрешающую способность TIS технических средств разведки по интенсивности информативного поля для волоконно-оптического канала утечки информации можно оценить на основе ранее проведенных экспериментальных исследований. Например, при паразитных акустических модуляциях и наводках на световые потоки, проходящие через оптический адаптер типа SC—SC, регистрируемая глубина модуляции составляет менее 0,01 % при максимальном значении 0,3 % [13]. Если принять максимальное изменение ширины зазора между стыкуемыми волокнами равным удвоенной амплитуде смещений частиц вещества материала адаптера проникающего в него структурного звука, то амплитуда упругой волны составит от невозмущенного зазора между стыкуемыми волокнами менее 1/4 глубины модуляции, т. е. порядка 0,00002. Соединение полированных волокон в адаптере может иметь зазор 0,1 мкм. Тогда минимальная амплитуда акустических смещений структурного звука составит  $2 \cdot 10^{-12}$  м, а минимальная интенсивность структурного звука, вызывающая регистрируемые смещения волокон, для используемой в эксперименте системы регистрации составит порядка  $TIS=10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> на частоте звуковой волны 1 кГц в материале с акустическим сопротивлением  $5 \cdot 10^6$  кг/м<sup>2</sup>·с. По оценке TIS можно оценить радиус акустической зоны AR1=100 км и AR2=230 км при проникновении  $g=0,1$  %, сечении  $S_0=0,4$  м<sup>2</sup> и коэффициенте поглощения звука (сталь)  $\alpha=40 \cdot 10^{-6}$  м<sup>-1</sup>.

Размеры зоны волоконно-оптической разведдоступности OR1 определяются по дальности действия систем контроля на основе оптической рефлектометрии, которая составляет сотни километров для наилучших систем контроля (см. таблицу).

В измерительных системах дальность оказывается несколько ниже и ограничивается десятками километров, поэтому примем значение  $OR1 = 50$  км. Таким образом, оценка радиуса общей зоны разведдоступности для канала утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации составит 250 км.

### Сценарий угрозы

*Возможный сценарий реализации угрозы безопасности речевой информации.* Сценарий угрозы — это способ реализации угрозы безопасности информации в виде описания последовательности наиболее вероятных действий нарушителя, направленных на достижение поставленной цели с помощью исследуемого (технического) канала утечки информации. Любой сценарий угрозы можно разбить на следующие обобщенные этапы:

- *исследование/подготовка* — анализ возможных способов формирования канала утечки, выбор средств технической разведки, построение структуры канала утечки, оценка препятствий и возможного эффекта;
- *настройка/испытание* — практические работы по формированию, наладочные работы, настройка технических средств разведки для повышения эффективности канала утечки;
- *практическая работа* — фактически реализуется работа (технического) канала утечки информации.

В соответствии с представленным обобщенным сценарием составим поэтапный план действий нарушителя для формирования канала утечки речевой информации на основе штатных оптических сетей, объединенных в нештатную распределенную волоконно-оптическую измерительную систему с фазовой селекцией информативного речевого сигнала от сопровождающего шума.

*Первый этап сценария.* Основным средством технической разведки является оптический рефлектометр с дополнительными функциями. Базовая функция — снятие рефлектограммы, т. е. зависимости отклика среды волоконно-оптического канала от расстояния. Она представляется в виде непрерывной зависимости интенсивности обратно рассеянного оптического излучения от расстояния по волокну, усредняемой по выборке при частоте зондирования порядка 10 Гц и выше с различной длительностью, мощностью зондирующего светового импульса в зависимости от дальности. Нарушителю для зондирования требуется регистрация обратного рассеянного излучения только от конкретных участков волокна с частотой порядка 1000 Гц.

Для этого необходима перестройка программного кода драйвера. Получаемый функционал назовем режимом датчика в отличие от основного — режима рефлектометра.

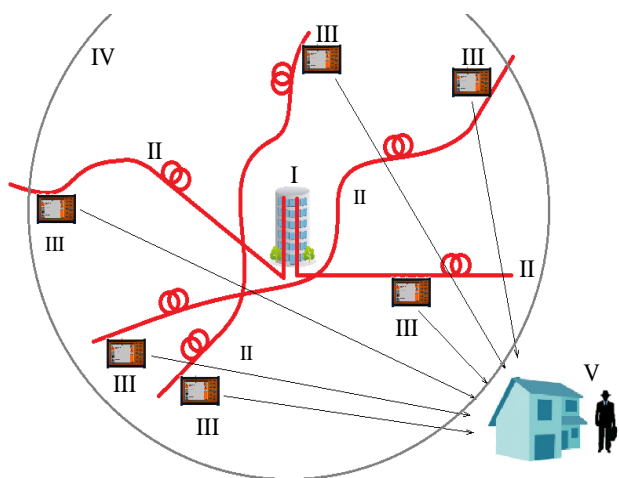
Надо отметить, что оптическая рефлектометрия используется не только для контроля состояния волоконно-оптического канала сети, но и в волоконно-оптических распределенных измерительных системах и сетях [27]. Примером такого применения являются волоконно-оптические системы охраны периметра, в которых на основе оптической рефлектометрии реализуются распределенные измерения вибраций в окружающей защищаемый объект среде на частотах, меньших и больших 1000 Гц [23, 24]. В некоторых устройствах реализуется дистанционное прослушивание регистрируемых виброакустических сигналов оператором в реальном времени. В других измерительных системах на основе оптической рефлектометрии, таких, как волоконно-оптические распределенные измерительные системы температуры, напряжений и т. д., возможна реализация виброакустических измерений с частотами порядка 1000 Гц, что также дает возможность использовать их для акустической технической разведки.

В качестве эффективных паразитных акустических модуляций и наводок в волоконно-оптическом канале световых потоков в оптических сетях выступают штатные (естественные) и нештатные (искусственные) неоднородности оптических сетей, такие, как разъёмные и неразъёмные соединения волокон, крепления, скрутки и изгибы кабеля, тепловые и механические внешние воздействия, другие неоднородности, индуцированные естественным или искусственным образом в штатных оптических сетях вокруг и внутри защищаемого объекта.

Основной эффект применения оптической рефлектометрии для селекции информативного акустического сигнала в виде структурного звука от постороннего вибрационного и акустического шума достигается путем большого числа локализованных измерений, распределенных в пространстве вокруг защищаемого объекта в пределах зоны разведдоступности и фиксированных непрерывно во времени. Все современные оптические рефлектометры имеют выход в информационную сеть, что позволяет синхронизировать все их измерения в реальном времени и передавать полученные данные нарушителю в аналитический центр для сбора, обработки и хранения.

Таким образом, для реализации волоконно-оптического канала утечки речевой информации требуется наличие оптических сетей внутри или вне

объекта информатизации, подключенных к оптическим сетям рефлектометров, объединенных в единую виртуальную информационную разведывательную сеть через те же штатные или другие, специально созданные сети (рис. 8).



**Рис. 8. Принципиальная схема нелегальной распределенной измерительной оптической сети на основе штатных оптических сетей:**

I — объект информатизации; II — штатные оптические сети внутри и вблизи объекта; III — оптические рефлектометры; IV — зона разведывательной доступности; V — нарушитель

*Второй этап сценария.* Практическая реализация канала утечки и его настройка могут осуществляться по схеме наименьших затрат (рис. 8). Во-первых, к оптическим сетям подключается максимальное число штатных или нештатных, специально подготовленных оптических рефлектометров в любом удобном месте в радиусе 200 км от объекта с выбором направления зондирования в его сторону. Во-вторых, оптические рефлектометры объединяются в виртуальную информационную разведывательную сеть с единым центром управления далеко от защищаемого объекта. В-третьих, проводится независимый анализ каждой из оптических сетей на наличие оптических неоднородностей методами рефлектометрии, для каждой неоднородности фиксируется относительное время отклика, т. е. время прохождения сигнала от рефлектометра до неоднородности и обратно. На этом завершается формирование канала утечки. Следующим шагом является настройка всей разведывательной сети по синхронизированному с сетью тестовому вибрационному сигналу внутри или вблизи защищаемого помещения. Использование ультразвукового монохроматического сигнала позволяет, с одной стороны, скрыть настройку, а с другой — выявить максимально чувствительные к информативному структурному звуку оптические неоднородности. Результатом настройки является

определение весового множителя (чувствительности) каждой оптической неоднородности, используемой для зондирования, и абсолютного времени информативного сигнала (т. е. времени прохождения тестового структурного звука от источника до данной оптической неоднородности).

Таким образом, на втором этапе сценария формируется разведывательная сеть, для каждого места измерения определяются относительное и абсолютное время, а также весовой множитель отклика.

*Третий этап сценария.* Работа разведывательной сети проводится по схеме непрерывного сбора данных со всех рефлектометров по всем зондируемым неоднородностям в реальном времени. Селекция информативного сигнала осуществляется в центре обработки по алгоритму, соответствующему избранному месту прослушивания на объекте.

Особенность обсуждаемого канала утечки речевой информации — абсолютная опасность. Он не является обнаруживаемым, так как по одному или нескольким выявленным рефлектометрам разведывательной сети невозможно установить, кто и кого прослушивает: местоположение источника прослушивания определяется алгоритмом обработки всех данных. Он не нейтрализуем, так как невозможно контролировать все части штатных оптических сетей в такой широкой зоне разведывательной доступности, а нейтрализация части разведывательной сети не может быть причиной прекращения функционирования.

## Заключение

В предлагаемой модели угроз безопасности речевой информации на объекте информатизации с волоконно-оптическими коммуникациями анализ проводится на основе последовательного качественного описания основных физических явлений по схеме:

- задание параметров информационного сигнала, подлежащего защите, и общее описание ТКУИ;
- описание всех информативных сигналов, формирующих канал утечки;
- описание средств ТР с выделением применяемых схем зондирования и предоставления данных по общедоступному оборудованию для этих целей;
- выделение особенностей описываемого канала утечки с указанием возможных методов селекции сигнала для повышения отношения мощности информативного сигнала к шуму;



- оценка размеров зоны доступности;
- описание обобщенного сценария реализации угрозы.

По мнению авторов, предлагаемая схема представления модели угроз наиболее полно раскрывает принципы функционирования и уровень опасности исследуемого канала утечки и позволяет осуществлять последующее её развитие. Также схема моделирования канала утечки позволяет перейти к разработке моделей и методов по защите объектов информатизации от утечки речевой информации.

## Литература

1. *Халяпин Д. Б.* Защита информации. Вас подслушивают! Защищайтесь! – М.: НОУШО "Баярд", 2004. — 432 с.
2. *Гришачев В. В., Халяпин Д. Б., Шевченко Н. А.* Анализ угроз утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации // Вопросы защиты информации. 2008. № 4. С. 12—17.
3. *Гришачев В. В., Халяпин Д. Б., Шевченко Н. А., Мерзликин В. Г.* Новые каналы утечки конфиденциальной речевой информации через волоконно-оптические подсистемы СКС // Специальная техника. 2009. № 2. С. 2—9.
4. *Гришачев В. В., Казарин О. В., Калинина Ю. Д.* Демонстрационная модель угрозы утечки акустической (речевой) информации через волоконно-оптические коммуникации // Вопросы защиты информации. 2018. № 1. С. 49—58.
5. *Гришачев В. В., Казарин О. В., Калинина Ю. Д.* Физические методы оценки эффективности угроз утечки речевой информации через технические каналы на объекте информатизации // Вопросы защиты информации. 2017. № 4. С. 44—54.
6. *Гришачев В. В.* Модель угроз конфиденциальности речевой информации в современном офисе на основе конвергенции функций оптических сетей // Фотоника. 2017. № 2 (62). С. 90—103.
7. *Гришачев В. В., Калинина Ю. Д., Тарасов А. А.* Оценка глубины паразитной модуляции света в оптической кабельной системе с неоднородностями // Вопросы защиты информации. 2016. № 1. С. 62—73.
8. *Гришачев В. В., Калинина Ю. Д., Тарасов А. А., Шашкова О. А.* Анализ волоконно-оптических каналов утечки речевой информации по физическим параметрам информационного сигнала // Вопросы защиты информации. 2015. № 4. С. 34—42.
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.* Канал утечки информации на основе паразитных наводок (модуляций) в оптическом волокне. Ч. 1 // Фотоника. 2014. № 6 (48). С.44—55; Ч. 2 // Фотоника. 2015. № 1(49). С. 70—81.
11. *Grishachev V. V.* Detecting threats of acoustic information leakage through fiber-optic communication // International J. of Information Security. 2012. V. 3, № 2.
12. *Гришачев В. В.* Выявление угроз утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации // Фотоника. 2011. № 4. С. 32—39.
13. *Гришачев В. В., Косенко О. А.* Практическая оценка эффективности канала утечки акустической (речевой) информации через волоконно-оптические коммуникации // Вопросы защиты информации. 2010. № 2. С.18—25.
14. *Гришачев В. В., Халяпин Д. Б., Шевченко Н. А.* Волоконно-оптический телефон в акусто-оптоволоконном канале утечки конфиденциальной речевой информации // Вопросы защиты информации. 2009. № 3. С. 22—30.
15. *Хорев А. А.* Техническая защита информации. Т. I. Технические каналы утечки информации. — М.: НПЦ "Аналитика". 2008. — 436 с.
16. *Красильников В. А., Крылов В. В.* Введение в физическую акустику. — М.: Наука, 1984. — 403 с.
17. *Cremer L., Heckl M., Petersson B. A. T.* Structure-Borne Sound. Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies. 3rd edition. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. — 607 p.
18. *Сапожков М. А.* Электроакустика. — М.: Связь, 1978. — 272 с.
19. *Семенов А. Б.* Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. — М.: Академия АйТи; ДМК Пресс, 2007. — 632 с.
20. *Anderson D. R., Johnson L., Bell F. G.* Troubleshooting Optical-Fiber Networks. Understanding and Using Your Optical Time-Domain Reflectometer. Second Edition — San Diego, London: Elsevier Academic Press. 2004. — 437 p.
21. *Листвин А. В., Листвин В. Н.* Рефлектометрия оптических волокон. — М.: ЛЕСАРпт, 2005. — 208 с.
22. *Айбатов Д. Л., Морозов О. Г., Польский Ю. Е.* Основы рефлектометрии: учеб. пособие // — Казань: ЗАО "Новое знание", 2008. — 116 с.
23. *Горбуленко В. В., Леонов А. В., Марченко К. В., Трещиков В. Н.* Волоконно-оптическая система мониторинга "Дунай" // Фотон-Экспресс. 2014. № 5 (117). С. 12—15.
24. *Марченко К. В., Наний О. Е., Нестеров Е. Т., Озеров А. Ж., Трещиков В. Н.* Защита ВОЛС распределенным акустическим датчиком на основе когерентного рефлектометра // Вестник связи. 2011. № 9. С. 17—19.
25. *Физические величины: справочник / под ред. Григорьева И. С., Мейлихова Е. З.* — М.: Энергоатомиздат. 1991. — 1232 с.
26. *Гордиенко В. А., Захаров Л. Н., Ильичев В. И.* Векторно-фазовые методы в акустике. — М.: Наука, 1989. — 224 с.
27. *Кульчин Ю. Н.* Распределенные волоконно-оптические измерительные системы. — М.: Физматлит, 2001. — 272 с.
28. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): справочник геофизика. Изд. 2-е, перераб. и доп. / под ред. Дортмана Н. Б.* — М.: Недра, 1984. — 455 с.
29. *Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А.* Петрофизика — М.: Нефть и газ, 2004. — 368 с.

# Physical threat model of acoustic (speech) information leakage through fiber-optic communications

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

*A detailed threat model of the speech information confidentiality circulating on the informatization object with a fiber-optic communications was proposed which is associated with spurious acoustic modulation and crosstalk on optical streams in an optical cable. A danger of the implementation of a fiber optic channel of the speech information leakage is shown on the basis of a qualitative physical description of the processes of formation, transmission and recording of informative signals of acoustic and optical nature. Possible channel implementation schemes are described. It are identified places and it are made estimates for the size of the reconnaissance access zones, which can reach hundreds of kilometers. A possible generalized scenario of threat realization is also presented.*

*Keywords:* threat model of the speech information confidentiality, fiber optic channel of the speech information leakage, acoustic informative signal, optical informative signal, spurious acoustic modulation and crosstalk, reconnaissance access zones.

Bibliography — 29 references.

*Received May 30, 2018*

Вопросы защиты информации: Науч.-практ. журн. / ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2018.  
Вып. 3 (122). С. 1—72.

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

Подписано в печать 28.08.2018. Формат 60x84 1/8.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,4. Уч.-изд. л. 8,7.  
Тираж 400 экз. Заказ 1914. Свободная цена.  
Адрес редакции: 125424, Москва,  
Волоколамское ш., 77. ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».  
<http://ntckompas.ru>  
Отпечатано в ООО "РАПИТОГРАФ".  
117342, Москва, ул. Бултерова, д. 17Б.  
Индекс 79187.