

ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

1
(108)

Москва
2015

Основан
в 1974 г.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

Инженерная криптография

- Молдовян Н. А., Горячев А. А., Муравьев А. В.* Протокол стойкого шифрования по ключу малого размера 3
- Мальцев М. В.* Моделирование и распознавание криптографических генераторов на основе цепей Маркова условного порядка 9
- Палуха В. Ю., Харин Ю. С.* Оценка качества криптографических генераторов на основе цепей Маркова высокого порядка 12

Управление доступом

- Щеглов К. А., Щеглов А. Ю.* Технология изолированной обработки данных критичными приложениями 15
- Иванов А. И., Малыгина Е. А.* Биометрическая аутентификация личности: обращение матриц нейросетевых функционалов в пространстве метрики Хемминга 23

Доверенная среда

- Каннер Т. М.* Применимость методов тестирования ПО к программно-аппаратным СЗИ 30
- Корнев Д. А., Лопин В. Н.* Об одном подходе к моделированию метода DARV с использованием протокола TCP 40
- Счастный Д. Ю.* Привязка облака к земле 45

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ И ОБЪЕКТОВ

- Гришачев В. В., Калинина Ю. Д., Тарасов А. А.* Артикуляционный анализ акустических каналов утечки информации в волоконно-оптических системах 48
- Зельманский О. Б., Петров С. Н.* Комбинированная панель для защиты информации от утечки по техническим каналам 56
- Воротников В. С.* Сравнение инструментов для измерения сетевой производительности 61
- Абденов А. Ж., Заркумова-Райхель Р. Н.* Оценивание риска в информационных системах на основе объективных и экспертных оценок 64

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 "ВИМИ"

Редакционный совет:

А. Л. Бальбердин, зам. директора Административного департамента аппарата Правительства РФ; **А. С. Голубков,** д-р техн. наук, ведущий науч. сотр. ФГУП "ВНИИПВТИ"; **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 директора ОКБ "Сапр"; **С. П. Панасенко,** канд. техн. наук, зам. генерального директора по науке и системной интеграции ООО Фирмы "АНКАД"; **В. Н. Пожарский,** зам. директора РУНЦ "Безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана; **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. М. Сычёв,** канд. техн. наук, доц., зам. начальника Главного управления безопасности и защиты информации ЦБ РФ; **А. А. Тарасов,** д-р техн. наук, проф., дир. Института информационных наук и технологий безопасности РГГУ; **Ю. С. Харин,** д-р физ.-мат. наук, чл. кор. НАН Беларуси, дир. НИИ прикладных проблем математики и информатики БГУ; **И. Б. Шубинский,** д-р техн. наук, проф., генеральный дир. ЗАО "ИБТранс", советник генерального директора ОАО "НИИАС".

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-35665 от 24.03.2009 г.

© Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации — федеральный информационно-аналитический центр оборонной промышленности" (ФГУП "ВИМИ"), 2015

<i>Рустамов Д. А., Рзаев М. Я.</i> Вопросы безопасности государственных информационных ресурсов в кризисных ситуациях	71
<i>Лившиц И. И.</i> Анализ уязвимостей и угроз национальной платежной системы Российской Федерации	75
<i>Мицкевич М. Н.</i> Обнаружение областей изображений для встраивания цифровых водяных знаков с помощью вейвлет-преобразования.....	81

Вопросы защиты информации: Науч.-практ. журн./ ФГУП "ВИМИ", 2015. Вып. 1 (108). С. 1—84.

Редактор *М. А. Николенко*
Компьютерная верстка: *Н. В. Ильина, К. В. Трыкина*

Подписано в печать 26.03.2015. Формат 60x84 1/8.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,2. Уч.-изд. л. 10,6.
Тираж 400 экз. Заказ 1838. Свободная цена.
Адрес редакции: 125993, Москва,
Волоколамское ш., д. 77, ФГУП "ВИМИ".
<http://vimi.ru> E-mail: vziok@vimi.ru
Отпечатано в ООО "Роял Упак".
109052, Москва, Рязанский проспект, д. 4, стр. 9.
Индекс 79187.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ И ОБЪЕКТОВ

УДК 004.056

Артикуляционный анализ акустических каналов утечки информации в волоконно-оптических системах

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

Утечка акустической (речевой) информации, вызванная акустооптической паразитной модуляцией в волоконно-оптических элементах систем передачи информации является малоизученной угрозой информационной безопасности объекта. Она требует детальных исследований, связанных с анализом влияния на "эффективность прослушивания" широкого набора факторов, включая оптическую схему зондирования, параметры зондирующего оптического излучения, характеристики системы регистрации и методы обработки информативного сигнала. Приведены некоторые результаты экспериментальных исследований в этой области, которые могут быть положены в основу методов защиты переговоров, осуществляемых вблизи штатных волоконно-оптических систем передачи информации.

Ключевые слова: защита речевой информации, волоконно-оптические системы передачи информации, волоконно-оптический канал утечки речевой информации, паразитные акустооптические модуляции и наводки.

В настоящее время волоконно-оптические технологии активно применяются в стационарных системах дальней и локальной передачи информации благодаря своим преимуществам в скорости, надежности, дальности без регенеративной передачи. Это определяет новые задачи обеспечения информационной безопасности объектов, содержащих такие системы [1—3]. Так, кроме задачи защиты передаваемого трафика становится актуальной задача защиты от утечки информации, циркулирующей на объекте информатизации вблизи оптических кабельных систем связи, что связано с измерительными свойствами оптического кабеля. В формируемом при этом канале утечки акустическое поле или связанные с ним виброакустические колебания действуют на оптический кабель, проходящий через помещение, вызывая модуляцию световых потоков в нем по амплитуде, фазе, поляризации и частоте. Модулированный

свет по оптическому кабелю выходит за пределы охраняемой зоны и демодулируется. Тем самым восстанавливается исходный акустический сигнал. В такой модели световые потоки могут формироваться штатным оборудованием или специальными источниками, включаемыми в сеть злоумышленником. Модуляция может происходить на пассивных и активных элементах сети.

Экспериментальная установка (стенд) и методика исследований

Для анализа степени опасности утечки речевой информации по такому техническому каналу создана экспериментальная установка. Ее схема (рисунок) условно содержит четыре блока. Каждый блок состоит из группы элементов, выполняющих определенные функции для работы в единой системе с возможностью замены отдельных элементов в различных экспериментах. Блок источников зондирующего излучения представляет собой набор из источников света, отличающихся интенсивностью, длиной волны, когерентностью. Источник света через оптическую розетку типа FC подключается к оптическому кабелю. Оптический кабель вводится в заглушенную акустическую камеру и подключается к объекту исследования — пассивному волоконно-оптическому элементу. Камера является малогабаритным коробом с характерным внутренним размером порядка 0,3 м и

Гришачев Владимир Васильевич, доцент.

Тел. 8 (495) 387-20-18.

E-mail: grishachev@mail.ru

Калинина Юлия Дмитриевна, аспирантка.

Тел. 8 (495) 387-20-18.

E-mail: abarakedavra@gmail.com

Тарасов Александр Алексеевич, профессор, директор.

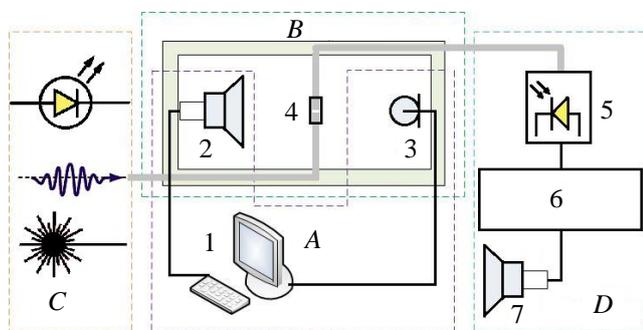
Тел. 8 (495) 388-08-88.

E-mail: aa_tarasov@list.ru

Статья поступила в редакцию 18 декабря 2014 г.

© Гришачев В. В., Калинина Ю. Д., Тарасов А. А., 2015

со звукоизоляцией до 20 дБ, которая позволяет локализовать акустическое воздействие на исследуемом элементе и отделить акустический информационный сигнал от акустического информативного сигнала. Внутри короба расположены малогабаритная акустическая система (динамик с усилителем) мощность 2 Вт RMS, объект исследования и конденсаторный микрофон. Акустическая система позволяет создавать внутри короба звуковое поле с уровнем звукового давления (*SPL*) не более 85 дБ, которое контролируется микрофоном. Динамик и микрофон внутри короба входят в состав блока управления установкой, основу которой составляет компьютер с аудиокартой и программами по генерации звуковых сигналов, чтению текстовых файлов и измерению уровня звукового давления. Объект исследования соединяется оптическим кабелем с блоком регистрации и обработки информативного сигнала, размещаемыми вне заглушенного короба. В блоке регистрации информативный оптический сигнал преобразуется фотоприемным устройством в электрический сигнал с наведенной паразитной модуляцией от акустического информационного сигнала. Система обработки включает селективный нановольтметр типа UNIPAN, детектированный усиленный сигнал с которого поступает на наушники для прослушивания оператором или в акустическую систему для прослушивания в аудитории, а также для записи.



Обобщенная блок-схема экспериментальной установки:
 А — блок управления, включающий компьютер (1), акустическую систему информационного сигнала (2), микрофон контроля (3) и объект исследования (4) с оптическим кабелем;
 В — акустический блок, включающий звукоизолированный короб с элементами 2—4 внутри;
 С — блок источников оптического излучения, включающий светодиоды, п/п и He-Ne лазеры с волоконно-оптическим входом;
 D — блок регистрации и обработки, включающий фотодиод (5) с волоконно-оптическим входом, селективный нановольтметр типа UNIPAN (6) и акустическую систему (7) контроля информативного сигнала

Обычно оценка эффективности утечки речевой информации проводится на основе артикуляционных измерений [4], в которых натренированный

слушатель (оператор или группа операторов) определяет разборчивость различных элементов речи. Например, словесная разборчивость речи (*W*) определяется как доля правильно понятых слов в потоке услышанных оператором слов, выраженная в процентах. Сложность артикуляционных измерений является явно избыточной для оценки службами безопасности эффективности речевых каналов утечки информации, в которых главным критерием является сама возможность подслушивания. Существующие системы обработки речевой информации позволяют повысить разборчивость речи вплоть до 100 % в режиме реального времени и, тем более, в режиме сохраненной записи, если известно, что речевой информативный сигнал существует.

Для оценки эффективности речевых каналов утечки на основе артикуляционных измерений была разработана упрощенная методика измерений, выделение уровней опасности в рамках которой производится по следующим критериям:

I уровень опасности соответствует тому, что речь прослушивается и распознается с любой словесной разборчивостью, т. е. $0 < W \leq 1$;

II уровень опасности — речь прослушивается на фоне шумов, но не распознается, т. е. $0 \leq W \approx 0$;

III уровень опасности — речь на фоне шумов канала утечки не прослушивается, т. е. злоумышленнику не представляется возможным установить само существование информативного речевого сигнала при применении выбранного оборудования.

Методика позволяет оперативно и объективно произвести оценку эффективности канала утечки информации нетренированному оператору, так как при пороговом принципе оценки субъективность существенно снижается. В данной методике главное определить, есть информативный речевой сигнал или нет. В случае его наличия можно с уверенностью утверждать о существовании канала утечки для данной схемы, структуры и при применяемых технических средствах разведки.

Сравнение опасности каналов утечки по объектам исследования

Все элементы волоконно-оптической системы передачи информации по уровню опасности формирования канала утечки можно разделить на два типа: каналы утечки с прямым воздействием акустической волны через воздушное пространство на элементы оптической кабельной системы и каналы утечки с виброакустическим воздействием, создаваемым акустической волной, через конструктивные элементы объекта информатизации и оптической кабельной системы. К первому типу (воздушному) относятся такие объекты, как оптиче-

ское волокно и кабель, а также другие пассивные элементы, находящиеся в свободном состоянии под прямым воздействием звуковой волны в воздухе, например, разъемное соединение, разветвители и др. Ко второму типу (виброакустическому) относятся элементы кабельной системы, находящиеся в виброакустическом контакте с конструкциями зданий, такие как: оптические кабельные каналы, соединительные муфты, оптические кроссы и др., в том числе и ранее отнесенные к первому типу. Согласно ранее проведенным исследованиям [5], элементы с виброакустическим контактом имеют более высокий уровень опасности для формирования канала утечки.

С целью выявления типичных особенностей формирования канала утечки, были проведены исследования влияния звукового сигнала на различные элементы волоконно-оптической кабельной системы (таблица). В качестве объектов исследования использовались:

- оптическое волокно в виде монтажного шнура (пигтейла) или оптического кабеля, которое может быть в свободном или скрученном состоянии;
- пассивные оптические элементы в виброакустическом контакте с окружающими конструкциями, например, проволочная перетяжка оптического кабеля, фиксация кабеля к конструкциям здания;
- оптические разъемные соединения, такие как SC-SC, LC-LC и FC-FC, которые представляют собой торцевое соединение двух коннекторов с помощью пружин в адаптере, конструктивные элементы которого выполнены из различных типов материалов (пластмасса, керамика, металл).

Распределение объектов по уровням опасности, полученное на основе обобщения проведенных экспериментов

Объект исследования	Уровни опасности*		
	I	II	III
Свободное волокно			+
Скрутка волокна		+	
Перетяжка волокна		+	
Адаптер SC-SC	+		
Адаптер LC-LC	+		
Адаптер FC-FC		+	

* Все экспериментальные исследования проводились при близких условиях акустического воздействия (60 дБ SPL) и зондирующего излучения, в таблице показан максимально достигнутый уровень опасности для данной системы регистрации и обработки.

Проведенные исследования подтвердили, что наиболее опасными объектами являются элементы

волоконно-оптической кабельной системы, имеющие виброакустический контакт с источником информации (звуковой волной). Также эксперименты выявили, что любой объект исследования с помощью простейших методов, повышающих виброакустический контакт между ним и звуковой волной, можно перевести на более высокий уровень опасности. Из проведенных исследований можно сделать выводы о том, что любая неоднородность волоконно-оптической кабельной системы повышает опасность формирования канала утечки. На эффективность канала утечки влияет оптическая схема зондирования, оборудование приема/обработки информативного сигнала, с помощью которого можно увеличить отклик системы на акустические паразитные наводки и модуляции. Экспериментально обнаружено, что разъемные соединения позволяют реализовать канал утечки с 100%-ой разборчивостью, но среди исследованных адаптеров наиболее трудно повысить эффективность у разъемов на адаптере FC-FC, а наиболее подвержен паразитным модуляциям в звуковом сигнале адаптер LC-LC. Подобное функционирование адаптеров в канале утечки речевой информации связано с их конструкцией. Гаечное сжатие торцов коннекторов в адаптере FC-FC, выполненном из металлокерамических элементов, создает оптическое соединение слабоподверженное звуку при плотной фиксации. В то время как малогабаритный адаптер LC-LC выполнен из пластмасс и фиксируется упругой защелкой, что делает его механической системой с хорошими колебательными свойствами. Промежуточное положение по уровню опасности занимает разъем SC-SC, что связано с промежуточной массивностью и упругостью относительно адаптеров LC-LC и FC-FC.

Все последующие исследования проводились на разъеме типа SC-SC ввиду его распространенности при монтаже оптической сети и простоты описания физических принципов модуляции света.

Сравнение оптических схем зондирования

При формировании рассматриваемого технического канала утечки речевой информации могут быть использованы две оптические схемы зондирования объекта: "схема на прохождение" или "схема на отражение" зондирующего излучения от участков оптического кабеля, подверженного воздействию звука. Основным физическим параметром по оценке эффективности канала утечки информации является глубина модуляции m зондирующего излучения, вызванная паразитными акустическими полями, что напрямую связано с уровнем звукового давления на выходе акустической системы в экспериментальной установке. Глубину

модуляции можно определить как отношение среднеквадратичной амплитуды паразитных наводок и модуляций в мощности излучения δP к полной падающей мощности зондирующего излучения P_0 , т. е. $m = \frac{\delta P}{P_0}$.

Связь между m и SPL является линейной только в первом приближении, так как чем выше значение уровня звукового давления речевого сигнала, тем больше значение глубины модуляции. На значение m оказывают влияние нелинейности паразитных акустооптических преобразований, внешние акустические помехи, внутренние шумы регистрирующей аппаратуры. Однако в первом приближении глубина модуляции может выступать как объективная характеристика канала утечки, по которой возможно проводить сравнение различных изменений в его структуре.

Проведем сравнение двух оптических схем зондирования. В схеме зондирования на прохождение глубина модуляции будет определяться формулой

$$m_T = \frac{\delta P_T}{P_T},$$

где δP_T — среднеквадратичная амплитуда паразитных наводок и модуляций зондирующего излучения, прошедшего через зондируемый участок кабеля; P_T — общая мощность зондирующего излучения, равная P_0 .

В схеме на отражение от зондируемого участка кабеля глубина модуляции определяется подобной формулой

$$m_R = \frac{\delta P_R}{P_R},$$

где δP_R — среднеквадратичная амплитуда паразитных наводок и модуляций зондирующего излучения, отраженного от зондируемого участка кабеля; P_R — общая отраженная мощность излучения, которая много меньше, чем P_0 .

Таким образом, оптические мощности связаны соотношениями

$$P_0 \approx P_T \gg P_R \quad \delta P_T \geq \delta P_R \quad \Rightarrow \quad m_T \ll m_R.$$

Отсюда следует, что глубина модуляции в отраженном сигнале m_R значительно больше глубины модуляции в проходящем сигнале m_T , так как сам отраженный сигнал P_R значительно меньше по мощности сигнала на прохождение P_T притом, что амплитуды мощностей паразитных модуляций δP_R и δP_T приблизительно совпадают. Но также следует заметить, что для регистрации отраженного

сигнала как более слабого потребуются более чувствительная аппаратура, чем для регистрации проходящего излучения.

Экспериментальные измерения подтвердили представленные рассуждения. В схеме на прохождение мощность сигнала много больше мощности сигнала схемы на отражение, но амплитуда информативных сигналов в схемах приблизительно равны. Исследования канала утечки позволяют сделать вывод о том, что глубина паразитной модуляции информативного сигнала при отражении много больше, чем паразитная модуляция сигнала при прохождении через объект исследования, что позволяет повысить эффективность канала утечки. Из проведенных исследований можно сделать вывод, что оптическую схему зондирования на прохождение можно использовать на больших расстояниях и при менее чувствительной аппаратуре. При использовании волоконно-оптического тестера-телефона "Рубин-021", имеющего динамический диапазон более 60 дБ, для зондирования оптического кабеля со средним затуханием 0,7 дБ/км в схеме на прохождение можно принимать сигнал на расстоянии до 100 км, при отсутствии иных паразитных помех по все длине кабеля и активных элементов волоконно-оптической кабельной системы. Оптическая схема на отражение может быть использована при высокочувствительной аппаратуре, только на меньшем расстоянии (не менее чем в два раза, т. е. менее 50 км для случая применения тестера-телефона "Рубин-021"), ввиду малой мощности отраженного сигнала в дополнение к его ослаблению.

Проведенный анализ различных оптических схем зондирования с помощью непрерывного оптического излучения не является самым эффективным, так как позволяет проводить только интегральное зондирование всего участка оптической кабельной системы от места зондирования до активного оборудования, где может существовать несколько источников паразитных модуляций, каждый из которых будет помехой для других информативных сигналов. Здесь необходимо переходить к рефлектометрическим методам зондирования, которые позволяют проводить локализацию зондируемого участка.

Влияние шумов канала утечки на разборчивость речи

В структуре волоконно-оптического канала утечки речевой информации выделяются три основных составляющих: паразитная акустооптическая модуляция световых потоков в волокне, распространение оптического информативного сигнала в волокне и детектирование оптического ин-

формативного сигнала техническими средствами разведки. На всех этапах формирования, прохождения и детектирования/регистрации информативного сигнала происходит его зашумление. В результате отношение сигнала к шуму SNR_{in} информационного сигнала на входе в канал утечки возрастает до SNR_{out} информативного сигнала на выходе канала, что можно характеризовать коэффициентом шума канала утечки CNL [6, 7], определяемого в дБ выражением

$$CNL = SNR_{out} - SNR_{in}.$$

На каждом из выделенных участков коэффициент шума возрастает, если при формировании шумы модуляции составляют CNL_m , при распространении — CNL_d , а при регистрации — CNL_r , тогда значение коэффициента шума всего канала утечки в дБ дается их суммой

$$CNL = CNL_m + CNL_d + CNL_r.$$

Данное выражение позволяет экспериментально выявить участок канала утечки с максимальным зашумлением, определить шумы первичного преобразования информационного речевого сигнала вблизи оптического кабеля в информативный оптический сигнал.

Экспериментальное сравнение коэффициентов шума проводилось между CNL_m и CNL_r . Вклад шумов при распространении оптического сигнала минимизировалась путем локализации акустического воздействия только на выделенный участок кабеля, длина соединительных участков кабеля минимизировалась до нескольких метров, для соединения использовались разъемы типа FC-FC с малой чувствительностью к акустическому полю, для зондирования использовалось высокостабильный гелий-неоновый лазер, измерения производились в тихой аудитории с уровнем шума не более 40—45 дБ. В результате можно было считать, что коэффициент шума при распространении остается неизменным $CNL_d \approx 0$.

При проведении артикуляционных измерений эффективности канала утечки по W было обнаружено существенное влияние на разборчивость речи параметров регистрирующей аппаратуры, таких как шумовые характеристики фотодиодов, тип и длина соединительного кабеля между фотодиодом и нановольтметром и других параметров. Во-первых, детектирование света проводилась двумя фотодиодами с разными токами шума, если при применении ФД-265 с темновым током около 1 мкА речь не прослушивается (3 уровень опасности), то применение ФД-21КП с темновым током 0,017 мкА

повышает уровень опасности до 2 и выше. Во-вторых, на шумы регистрирующей аппаратуры влияют наводки на соединение между фотодиодом ФД-21КП и нановольтметром типа UNIPAN, если для соединения использовать аудиокабель длиной 0,5 м, получим 3 уровень опасности (речь не прослушивается), то переход на радиочастотный кабель длиной 1 м для соединения экранированного фотодиода (в металлическом корпусе) повышает опасность до 2 уровня (речь прослушивается), а переход на соединение экранированным кабелем малой длины со штатным предусилителем типа UNIPAN 233-5 позволяет получить микрофонный эффект.

Аналогичные результаты получались при применении в качестве регистрирующего устройства волоконно-оптического тестера-телефона "Рубин-021". Речь прослушивается при низкой громкости информативного речевого сигнала в наушниках с разборчивостью, близкой к 100 %, т. е. наблюдается 1 уровень опасности. Оценка отношения сигнал/шум информативного сигнала по теоретическим зависимостям $W(SNR)$ позволяет получить значение SNR_{out} порядка и более 10 дБ.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования влияния шумов системы регистрации на разборчивость речи показало, что общий коэффициент шума в созданном макете канала утечки определяется шумами в системе регистрации. Отсюда можно сделать вывод, что шумы при модуляции незначительны, т. е. $CNL_m \ll CNL_r$, и ими можно пренебречь по сравнению с шумами регистрирующей аппаратуры. Следовательно, данный канал утечки можно считать обладающим микрофонным эффектом.

Влияние уровня звукового давления информативного сигнала на речевую разборчивость

Формирование информативного сигнала в волоконно-оптическом канале утечки речевой информации во многом зависит от уровня звукового давления, создаваемого источником информации, и общего уровня шумов; чем выше уровень звукового давления, тем значительнее паразитные модуляции и наводки, и, следовательно, эффективнее канал утечки.

Проведенные исследования влияния звукового давления от источника информации на элементы волоконно-оптической кабельной системы выявили нелинейный характер зависимости разборчивости речи W , определенной по упрощенной методи-

ке, от уровня звукового давления SPL . В частности, обнаружена высокая чувствительность оптических элементов к уровню звукового давления, проявляющаяся в том, что уже при уровнях порядка 40 дБ (тихий разговор, шепот) регистрируется приемлемый уровень информативного сигнала с разборчивостью, соответствующей первому или второму уровню, т. е. речь прослушивается вплоть до полного понимания текста. При превышении SPL от источника информации 40 дБ разборчивость речи быстро растет и, начиная со звукового давления в 50 дБ, стабилизируется, дальнейшее увеличение SPL выше 65 дБ приводит к плавному снижению разборчивости. Если на начальном участке при росте SPL от 40 дБ рост W сильно зависит от собственных шумов регистрирующего оборудования и определяется его чувствительностью, при дальнейшем увеличении SPL влияние на W ослабляется, так как проявляются нелинейные свойства паразитного акустооптического преобразования. В результате этого видим разброс разборчивости в широком диапазоне.

Анализ полученных результатов показывает, что оптический разъем обладает высокой чувствительностью к внешнему акустическому полю, которую можно связать с резонансными свойствами колебательной системы, образованной разъемным оптическим соединением. Разъемное соединение представляет собой торцевое соединение двух волокон в адаптере с цилиндрическими направляющими, сжимаемых двумя пружинами. Такая механическая система является колебательной и обладает резонансными свойствами. Если частота резонанса находится в спектре речевого диапазона, то можно наблюдать резкое возрастание амплитуды механических колебаний системы разъемного соединения, которое проявляется в паразитных модуляциях световых потоков в волокне. С ростом акустического воздействия амплитуда колебаний быстро растет, и при достижении предельных значений смещений начинают проявляться ее нелинейные свойства в виде роста амплитуд гармоник (искажений) и появление ограничения смещения (насыщений) колебательного процесса. При дальнейшем росте звукового давления рост амплитуды колебаний прекращается, а затем амплитуда начинает падать.

По итогам исследований можно заключить, что элементы волоконно-оптической кабельной системы обладают высокой чувствительностью к акустическому воздействию, которое начинает проявляться при воздействии речи вблизи волоконно-оптических элементов на уровне шепота, а на уровне нормального разговора начинают вызывать нелинейные искажения информативного сигнала.

Влияние параметров зондирующего оптического излучения на разборчивость информативного речевого сигнала

Параметры зондирующего излучения оказывают значительное влияние на эффективность формирования канала утечки, что связывается с зависимостью глубины паразитных акустооптических модуляций на неоднородностях оптического канала от параметров зондирующего излучения. Например, при скручивании волокна возникают механические напряжения, приводящие к двойному лучепреломлению в волокне, что влияет на зондирование данного участка кабеля и вызывает эффекты поворота плоскости поляризации, поляризационной межмодовой дисперсии и другие явления. Воздействия звука на данный участок волокна приводит к паразитным модуляциям, которые проявляются при зондировании поляризованным излучением. Аналогичные эффекты могут наблюдаться в модуляции фазы оптического излучения, для наблюдения которых требуется высококогерентное излучение и интерференционные схемы регистрации.

Одними из основных параметров зондирующего излучения, оказывающих влияние на глубину модуляции, являются длина волны и степень когерентности, результаты исследований которых представлены здесь. В эксперименте использовались полупроводниковые лазерные источники света тестер-телефон "Рубин-021" с длиной волны 1310 нм и 1550 нм, "Рубин-104" для генерации 850 нм, 1300 нм, мощностью около 6 дБм и шириной полосы излучения менее 1 нм, которые применялись для изучения влияния длины волны. Исследование влияния когерентности проводилось с помощью источников красного света мощностью около 0 дБм с волоконно-оптическим выходом: полупроводниковый светодиодный источник типа Fiber Checker на длине волны 650 ± 10 нм (длина когерентности 0,0004 м) и He-Ne лазер с длиной волны $632,82 \pm 0,02$ нм (длина когерентности 0,2 м).

Результаты исследования влияния длины волны зондирующего излучения на разборчивость речи информативного сигнала при прочих равных условиях указывают на рост уровня опасности с уменьшением длины волны, хотя путем изменения параметров регистрирующей аппаратуры разборчивость речи можно повысить для любого источника света. Исследования влияния когерентности показали значительный рост уровня опасности с переходом от светодиодного источника света к He-Ne лазеру, т. е. увеличение длины когерентности приводит к росту разборчивости речи.

Подобный результат является особенностью исследуемого объекта — разъёмного соединения. Плоский оптический контакт двух обработанных торцов волокон в адаптере можно рассматривать как интерферометр Фабри-Перо, в котором воздушный слой между волокнами образует многолучевой интерферометр. Расстояние между волокнами d менее долей микрометра, что приводит к наблюдаемой интерференции для всех применяемых источников света. Контрастность интерференции (относительная разность максимума и минимума интенсивностей) зависит от длины волны — чем меньше длина волны, тем она выше, а также от когерентности — чем выше когерентность, тем выше контрастность. Рост разности между интерференционным максимумом и минимумом проявляется в росте глубины модуляции проходящего m_T и отражаемого m_R излучений от оптического разъёма, т. е. глубины паразитных акустооптических модуляций и наводок. Как было отмечено выше, глубина модуляции прямо связана с разборчивостью речи, что объясняет результаты эксперимента. Таким образом, по результатам проведенных измерений можно сделать выводы о том, что увеличение разборчивости речи связано с увеличением глубины модуляции при уменьшении длины волны и при увеличении длины когерентности.

Заключение

Общим результатом проведенных экспериментальных исследований является вывод о высокой эффективности и перспективности съема речевой информации через штатные волоконно-оптические системы передачи информации. Одними из наиболее опасных участков являются места соединения волокон (соединительные муфты и адаптеры), а также места крепления волоконно-оптического кабеля к элементам несущих конструкций здания [8], причем степень опасности зависит от технологий монтажа кабельной системы. Для всех адапте-

ров были выявлены общие закономерности: во-первых, увеличение длины когерентности и длины волны зондирующего излучения повышает глубину модуляции, что проявляется в улучшении разборчивости; во-вторых, с ростом уровня звукового давления в промежутке от 40 до 60 дБ сначала разборчивость улучшается, а при больших значениях уменьшается, что связано с нелинейными искажениями в паразитных наводках.

Вопрос оценки акустического воздействия на элементы волоконно-оптической кабельной системы требует должного внимания ввиду возможности формирования канала утечки речевой информации в помещениях, через которые проходит кабель. Формирование требований и разработка предложений по проведению максимальное безопасного монтажа кабельной системы требует проведения дополнительных исследований с целью накопления статистических данных.

Литература

1. *Свицов А. Г.* ВОСП и защита информации // Фотон-Экспресс. 2000. № 18. С. 16—20.
2. *Карпуков Л. М., Шекотихин О. В., Сметанин И. Н.* Методы защиты информации в ВОЛС // Там же. 2009. № 4. С. 34—36.
3. *Гришачев В. В., Халяпин Д. Б., Шевченко Н. А.* Проблемы информационной безопасности в волоконно-оптических технологиях связи // Там же. 2009. № 6. С. 132, 133.
4. *Железняк В. К.* Защита информации от утечки по техническим каналам. Учебное пособие. — СПб: ГУАП, 2006. — 187 с.
5. *Гришачев В. В., Халяпин Д. Б., Шевченко Н. А.* Угрозы несанкционированного съема конфиденциальной речевой информации с волоконно-оптических элементов структурированных кабельных систем // Безопасность информационных технологий. 2009. № 2.
6. *Харкевич А. А.* Борьба с помехами. — М.: ЛИБРОКОМ, 2009. — 280 с.
7. *Белоусов А. П., Каменецкий Ю. А.* Коэффициент шума. — М.: Радио и связь, 1981. — 112 с.
8. *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.

Articulatory analysis of acoustic channels of information leakage through optical cable systems

V. V. Grishachev, Yu. D. Kalinina, A. A. Tarasov

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

Technical channel acoustical (speech) information leakage based on the parasitic acoustooptic modulation and crosstalk in fiber optic network elements is a new little-studied threats to information security on the object. The research of functioning channel leakage shows high efficiency by interception near the fiber optic cable systems. Efficiency is influenced by a wide range of factors, including the optical scheme probing, parameters of probing optical radiation, characteristics of the registration system, and informative signal processing techniques. On the basis of the experimental data can be offered protection methods of speech information near the regular fiber optic communication systems against information leakage.

Keywords: protection of speech information, fiber optic cable systems, fiber optical channel speech information leakage, parasitic acoustooptic modulation and crosstalk.

Bibliography — 8 references.

Received December 18, 2014