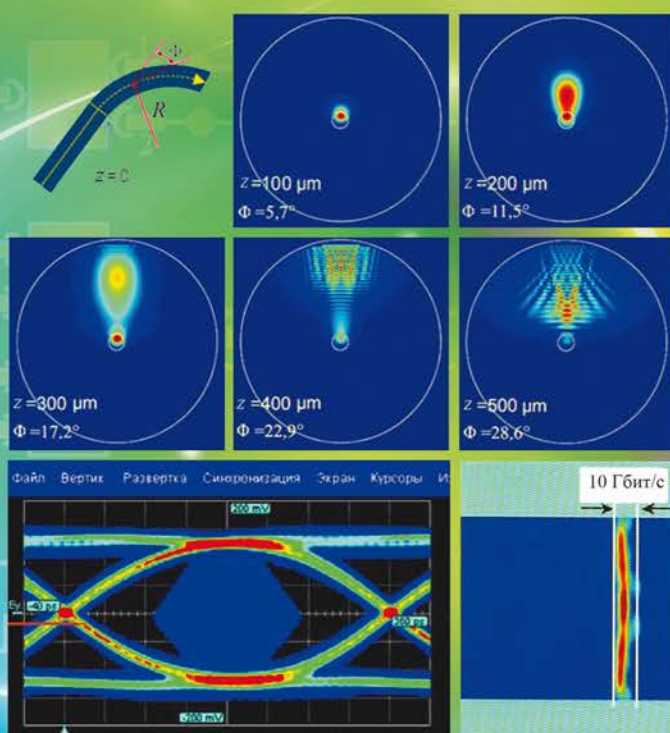


В. В. Шубин

# ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



Саров  
2015

Российский федеральный ядерный центр –  
Всероссийский НИИ экспериментальной физики

В. В. Шубин

# ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Монография

Саров  
2015

УДК 621.391.7; 621.391.64

ББК 32.81

Ш95

**Шубин, В. В.**

Ш95 Информационная безопасность волоконно-оптических систем /  
В. В. Шубин. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015. – 257 с., ил.  
ISBN 978-5-9515-0242-1

В книге рассмотрен оптический канал утечки информации с волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) информации ограниченного доступа и возможность перехвата оптических сигналов с его использованием. Дана характеристика различных способов вывода и приема оптических сигналов с ВОЛП. Рассмотрены различные способы и средства защиты информации в волоконно-оптических системах передачи (ВОСП) информации, общая система обеспечения безопасности, практическая реализация защищенных ВОСП, а также методы и средства контроля защищенности.

УДК 621.391.7; 621.391.64

ББК 32.81

## О г л а в л е н и е

Предисловие .....	6
Введение.....	7
Список литературы к введению .....	11
<b>Г л а в а 1.</b>	
<b>Основные параметры и компоненты ВОСП .....</b>	<b>13</b>
1.1. Классификация ВОСП .....	13
1.2. Основные параметры ВОСП .....	15
1.3. Дальность связи .....	16
1.4. Скорость передачи и кодирование информации .....	19
1.5. Качество передачи цифровых сигналов .....	21
1.6. Стандарты передачи информации .....	27
1.7. Трансиверы для современных ВОСП .....	31
1.8. Параметры оптических волокон .....	37
Список литературы к главе 1 .....	41
<b>Г л а в а 2.</b>	
<b>Канал утечки информации с ВОЛП .....</b>	<b>42</b>
2.1. Доказательства уязвимости ВОСП .....	42
2.2. Схема и характеристики канала утечки .....	46
2.3. Физические основы появления бокового излучения .....	48
2.4. Дополнительное излучение на соединениях .....	52
2.5. Дополнительное излучение на изгибах волокна .....	57
2.6. Основные характеристики передатчиков ВОСП .....	60
Список литературы к главе 2 .....	64
<b>Г л а в а 3.</b>	
<b>Перехват информации с ВОЛП .....</b>	<b>65</b>
3.1. Этапы перехвата информации .....	65
3.2. Поиск кабеля и доступ к волокнам .....	66
3.3. Обнаружение оптического сигнала и его направления .....	67
3.4. Спектральный анализ выведенного излучения .....	68
3.5. Способы регистрации оптических сигналов .....	69
3.6. Теоретический предел расшифровки сигналов .....	72
3.7. Алгоритм структурирования и расшифровки .....	74
3.8. Практический предел расшифровки сигналов .....	76
Список литературы к главе 3 .....	79
<b>Г л а в а 4.</b>	
<b>Устройства вывода и сбора излучения .....</b>	<b>80</b>
4.1. Классификация способов вывода и сбора излучения .....	80
4.2. Интрузивные способы вывода и сбора излучения .....	82
4.3. Пассивный съем бокового излучения .....	88
4.4. Активные способы вывода и сбора излучения .....	92
4.5. Туннелирование излучения в приемное волокно .....	93
4.6. Устройства типа ответвитель-прищепка .....	95

4.7. Устройства с изгибом волокна на фотодетекторе .....	96
4.8. Устройства с изгибом волокна и светопроводом .....	97
4.9. Устройства с изгибом волокна и V-образным срезом покрытия .....	100
4.10. Устройства с микроизгибами волокна .....	101
4.11. Изгиб оптического волокна с отжигом .....	104
4.12. Устройства с вводом излучения в приемное волокно .....	105
4.13. Компенсационные способы ввода-вывода излучения .....	109
4.14. Характеристика возможностей съема излучения .....	110
Список литературы к главе 4 .....	112

## Глава 5.

<b>Прием оптических сигналов .....</b>	<b>114</b>
5.1. Схемы приема оптических сигналов .....	114
5.2. Теоретический шумовой порог чувствительности .....	116
5.3. Практические пороги чувствительности приемников .....	120
5.4. Оптические приемники с APD и PIN фотодиодами .....	126
5.5. Оптические приемники с квантовым ограничением .....	131
Список литературы к главе 5 .....	133

## Глава 6.

<b>Способы защиты информации в ВОСП .....</b>	<b>134</b>
6.1. Классификация способов защиты информации .....	134
6.2. Снижение уровня мощности информационных сигналов .....	136
6.3. Многоканальная передача .....	139
6.4. Квантовое зашумление канала передачи .....	141
6.5. Квантовое шифрование сигналов .....	143
6.6. Физическая защита линий и компонентов .....	147
6.7. Контроль коэффициента ошибок .....	149
6.8. Контроль изменения параметров волокон .....	149
6.9. Контроль с разделением сигналов в пространстве .....	150
6.10. Контроль с частотным разделением сигналов .....	153
6.10.1. Контроль по среднему уровню излучения .....	153
6.10.2. Контроль по информационным сигналам .....	155
6.10.3. Контроль по пилот-сигналам .....	156
6.11. Контроль со спектральным разделением сигналов .....	159
6.12. Контроль по обратнорассеянному излучению .....	163
6.12.1. Временная рефлектометрия .....	163
6.12.2. Частотная рефлектометрия .....	165
6.13. Интерференционные методы контроля .....	167
6.13.1. Изменение мощности при интерференции .....	167
6.13.2. Изменение спекл-структуры .....	167
6.13.3. Изменение спектрального состава излучения .....	168
6.14. Ускоренное формирование модового состава .....	169
6.15. Оценка способов защиты информации .....	169
Список литературы к главе 6 .....	170

## Глава 7.

<b>Система защиты информации .....</b>	<b>173</b>
7.1. Состав средств защиты информации .....	173

7.2. Методика периодического контроля мощности .....	174
7.3. Методика обнаружения «закладок» .....	175
7.4. Характеристика сигнала съема .....	179
7.5. Определение вероятностей ложной тревоги и обнаружения .....	182
7.6. Обнаружение быстрого вывода .....	183
7.7. Обнаружение плавного вывода .....	185
7.8. Установка порога обнаружения .....	188
7.9. Обнаружение ступенчатого вывода .....	191
7.10. Структурные схемы контроллеров защиты .....	193
7.11. Структурная схема встроенного контроллера .....	194
7.12. Алгоритм функционирования контроллеров .....	196
7.13. Структурные схемы внешних контроллеров .....	198
7.14. Основные положения по защите информации .....	203
Список литературы к главе 7 .....	204

## Г л а в а 8.

<b>Защищенные волоконно-оптические системы .....</b>	<b>206</b>
8.1. Система засекреченной связи IDOCS .....	206
8.2. Волоконно-оптическая защищенная система ZAT4 .....	206
8.3. Комплект аппаратуры АЛСВ-1 для защищенных ВОСП .....	208
8.4. Устройство Fiber Sentinel System фирмы «Opterna» .....	209
8.5. Устройство Optical Line Protection System (OLP) .....	211
8.6. Технология защиты информации фирмы «Oyster Optics» .....	212
8.7. Комплект средств защиты информации «Interceptor» .....	215
8.8. Конверторы среды FOBOS-100S(M, L) .....	218
8.9. Контроллеры защиты FOBOS-100GL(10GS) .....	223
8.10. Конверторная платформа FOBOS-CWDM .....	226
8.11. Контроллеры защиты FOBOS-100GE .....	231
Список литературы к главе 8 .....	235

## Г л а в а 9.

<b>Контроль защищенности ВОСП .....</b>	<b>237</b>
9.1. Контролируемые параметры ВОСП .....	237
9.2. Контроль параметров волоконно-оптических линий .....	240
9.3. Установка средней мощности на входном полюсе .....	241
9.4. Выбор времени наработки на ложную тревогу .....	244
9.5. Контроль реакции на различные сигналы .....	245
9.6. Контроль вероятности обнаружения нарушения .....	247
9.7. Контроль времени реакции на нарушение .....	249
Список литературы к главе 9 .....	250
Указатель терминов и определений .....	251
Список сокращений .....	254

**Автоматизированная система (АС)** – система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций (ГОСТ 34.003-90).

**Безопасность информации** – состояние защищенности информации, при котором обеспечены ее конфиденциальность, доступность и целостность (ГОСТ Р 50922-2006).

**Волоконно-оптическая линия передачи (ВОЛП)** – совокупность линейных трактов волоконно-оптических систем передачи, имеющих общий оптический кабель, линейные сооружения и устройства их обслуживания в пределах действия устройств обслуживания (ГОСТ 26599-85).

**Волоконно-оптическая система передачи (ВОСП)** – система передачи, в которой все виды сигналов передают по оптическому кабелю (ГОСТ 26599-85).

**Единичный цифровой сигнал** – физический сигнал, соответствующий одному из цифровых уровней (верхнему или нижнему) или переходу от одного уровня к другому.

**Защищенная ВОСП** – ВОСП информации с ограниченным доступом, в состав которой входят технические, программные, программно-технические средства защиты информации, исключающие утечку информации по оптическому каналу.

**Информационный сигнал** – электрические сигналы, акустические, электромагнитные и другие физические поля, по параметрам которых может быть раскрыта информация с ограниченным доступом, передаваемая, хранящаяся или обрабатываемая в основных технических средствах и системах или обсуждаемая в защищаемом помещении.

**Компонент ВОСП** – изделие оптики, оптоэлектроники или оптико-механическое изделие, являющееся частью волоконно-оптической системы передачи, которое может быть выделено как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации, и предназначенное для выполнения одной или нескольких функций по формированию, передаче, распределению, преобразованию и обработке оптического сигнала (ГОСТ 26599-85).

**Контролируемая зона (КЗ)** – территория объекта, в пределах которой исключено неконтролируемое присутствие посторонних лиц и транспортных средств, не имеющих права постоянного или разового доступа (пропуска). Посторонние лица и транспортные средства, получившие право разового доступа (пропуска) в КЗ, не должны находиться в пределах этой зоны без постоянного наблюдения (сопровождения).

**Контроллер защиты (контроллер)** – программно-техническое устройство, входящее в состав приемопередающей аппаратуры ВОСП и обеспечивающее постоянное слежение за изменением коэффициента передачи между оптическими полюсами ВОЛП в соответствии с заданным алгоритмом и формирующее на выходе сигналы разрешения или запрещения передачи оптических сигналов.

**Конфиденциальная информация** – информация с ограниченным доступом, не содержащая сведений, составляющих государственную тайну, и обладающая свойством конфиденциальности. Доступ к данной информации ограничивается в соответствии с законодательством Российской Федерации.

**Конфиденциальность информации** – обязательное для выполнения лицом, получившим доступ к определенной информации, требование не передавать такую информацию третьим лицам без согласия ее обладателя (ГОСТ Р 50922-2006, Федеральный закон РФ № 149-ФЗ от 27.07.2006 г.).

**Коэффициент передачи между оптическими полюсами** – отношение мощности оптического излучения на одном из оптических полюсов компонента ВОСП к мощности оптического излучения на другом полюсе, выраженное в децибелах (ГОСТ 26599-85).

**Коэффициент затухания оптического волокна** – величина, характеризующая уменьшение мощности оптического излучения при его прохождении по оптическому волокну, выраженное в децибелах, отнесенное к длине волокна (ГОСТ 26599-85).

**Коэффициент ошибок (BER)** – отношение числа ошибочных символов в цифровом сигнале электросвязи на выходе цифрового приемного оптоэлектронного модуля за заданный интервал времени к числу символов в этом интервале (ГОСТ 26599-85).

**Коэффициент защищенности** – величина относительного изменения мощности оптического сигнала в сердцевине волокна, при достижении которой производится отключение передачи оптических сигналов, выраженная в децибелах.

**Оптическое волокно (ОВ)** – оптический волновод ВОСП, выполненный в виде нити из диэлектрических материалов с покрытием (ГОСТ 26599-85).

**Оптический кабель (ОК)** – кабельное изделие, содержащее одно или несколько оптических волокон, объединенных в единую конструкцию, обеспечивающую их работоспособность в заданных условиях эксплуатации. При необходимости ОК может содержать токопроводящие жилы (ГОСТ 26599-85).

**Оптический канал утечки информации** – совокупность объекта и технических средств перехвата: оптический передатчик ВОСП, участок оптического волокна, устройства вывода и сбора оптического излучения с боковой поверхности волокна, оптический приемник перехвата, устройства передачи и регистрации информации.

**Опасный сигнал** – оптическое излучение, один или несколько параметров которого изменяются в соответствии с передаваемой информацией и могут быть обнаружены техническими средствами перехвата.

**Оптический полюс** – место ввода или вывода оптического излучения в компонент ВОСП (ГОСТ 26599-85).

**Оптический соединитель** – устройство, предназначенное для оптического соединения компонентов ВОСП (ГОСТ 26599-85).

**Оптические вносимые потери** – отношение суммарной мощности оптического излучения на входных оптических полюсах компонента ВОСП к суммарной мощности оптического излучения на выходных полюсах компонента ВОСП, выраженное в децибелах (ГОСТ 26599-85).

**Оптический приемник перехвата** – совокупность приемного оптического модуля перехвата и дополнительных устройств преобразования электрического сигнала.

**Отношение сигнал/шум** – отношение амплитуды переменной составляющей выходного напряжения приемного оптического модуля при заданных характеристиках принимаемого оптического сигнала к среднему квадратическому значению флуктуаций выходного напряжения при приеме немодулированного оп-

тического излучения той же средней мощности, выраженные в относительных единицах или децибелах (ГОСТ 26599-85).

**Передачик ВОСП** – совокупность передающего оптоэлектронного модуля и дополнительных устройств преобразования оптического сигнала (ГОСТ 26599-85).

**Приемник ВОСП** – совокупность приемного оптического модуля с дополнительными устройствами преобразования электрического сигнала (ГОСТ 26599-85).

**Передающий оптико-электронный модуль (ПОМ)** – изделие оптоэлектроники, предназначенное для преобразования электрических сигналов в оптические сигналы (ГОСТ 26599-85).

**Приемный оптико-электронный модуль (ПРОМ)** – изделие оптоэлектроники, предназначенное для преобразования оптических сигналов, передаваемых в ВОСП, в электрические сигналы (ГОСТ 26599-85).

**Порог чувствительности ПРОМ** – минимальная средняя мощность оптического сигнала на входном полюсе приемного оптоэлектронного модуля (при заданных характеристиках этого сигнала), при которой обеспечивается заданное отношение сигнал/шум или заданный коэффициент ошибок (ГОСТ 26599-85).

**Рабочая длина волны ПОМ** – длина волны оптического излучения на выходном оптическом полюсе ПОМ, на которой нормированы его параметры (ГОСТ 26599-85).

**Сигнал съема** – оптический сигнал на полюсах ВОЛП, вызванный выводом оптического излучения через боковую поверхность волокна или иным способом.

**Система защиты информации** – совокупность органов и исполнителей, используемой ими техники защиты информации, организованная и функционирующая по правилам и нормам, установленным соответствующими документами в области защиты информации (ГОСТ Р 50992-2006).

**Система защиты от утечки по оптическому каналу** – совокупность технических, программных средств и организационных мероприятий, обеспечивающая защиту информации от утечки по оптическому каналу.

**Средняя мощность излучения** – среднее значение мощности оптического излучения на оптическом полюсе за заданный интервал времени и в заданном телесном угле (ГОСТ 26599-85).

**Скорость передачи ПОМ** – скорость передачи символов цифрового сигнала электросвязи на входе передающего оптоэлектронного модуля, при которой его параметры сохраняют заданные значения (ГОСТ 26599-85).

## Список сокращений

АК	– аккумуляторная батарея
АП	– абонентский пункт
АРУ	– автоматическая регулировка усиления
АС	– автоматизированная система
АЦП	– аналого-цифровой преобразователь
АЧХ	– амплитудно-частотная характеристика
ВИП	– вторичный источник питания
ВМ	– вытекающая мода

ВОЛП	– волоконно-оптическая линия передачи
ВОСП	– волоконно-оптическая система передачи
дБ	– децибел
дБм	– децибел относительно одного милливатта
ДМ	– оптический демодулятор
емр	– единица младшего разряда
ИВС	– информационно-вычислительная сеть
ИК	– инфракрасный
ИМ	– излучаемая мода
КЗ	– контролируемая зона
КК	– кабельные коммуникации
КП	– квантовый предел
КРУ	– кроссовое распределительное устройство
КСЗИ	– криптографические средства защиты информации
КШ	– квантовый шум
ЛВС	– локальная вычислительная сеть
ЛФД	– лавинный фотодиод
МСЭ-СТ (ITU-T)	– Международный союз электросвязи, сектор телекоммуникаций
НМ	– направляемая мода
НСД	– несанкционированный доступ
ОАС	– оптический анализатор спектра
ОВ	– оптическое волокно
ОЕ	– оптико-электронный преобразователь
ОК	– оптический кабель
ОПП	– оптический приемник перехвата информации
ОР	– оптический разветвитель
ОС	– оптический соединитель
ОУ	– оптический усилитель
ОФ	– оптический фильтр
ОЦ	– оптическая цепь
ОШ	– оптический шнур
ПД	– передатчик
ПМ	– приемник
ПП	– приемник перехвата
ППА	– приемопередающая аппаратура
ПО	– программное обеспечение
ПОМ	– передающий оптоэлектронный модуль
ПРОМ	– приемный оптоэлектронный модуль
ПТСЗИ	– программно-технические средства защиты информации
ПЦИ (PDH)	– плезиохронная цифровая иерархия
ПЭВМ	– персональная электронно-вычислительная машина
ПЭМИН	– побочные электромагнитные излучения и наводки
РЭ	– руководство по эксплуатации
СБ	– служба безопасности
СВТ	– средства вычислительной техники
СЦИ (SDH)	– синхронная цифровая иерархия
ТП	– технический паспорт
ТС	– технические средства

ТСЗИ	– технические средства защиты информации
ТУ	– технические условия
ТШ	– тепловой шум
ТЭМО	– термоэлектрический микроохладитель
УВС	– устройство вывода и сбора излучения
УФ	– ультрафиолет
ФИАН	– Физический институт академии наук
ФСБ	– Федеральная служба безопасности
ФСТЭК	– Федеральная служба по техническому и экспортному контролю
ЦАП	– цифро-аналоговый преобразователь
ЭВМ	– электронно-вычислительная машина
AON	– полностью оптическая сеть
APD	– лавинный фотодиод
ASK	– амплитудная манипуляция
BER	– коэффициент ошибок
CWDM	– грубое волновое уплотнение
DJ	– детерминированный джиттер
DM	– оптический демультиплексор
DMD	– дифференциальная модовая задержка
DWDM	– плотное волновое уплотнение
GE	– Gigabit Ethernet
EDFA	– оптический усилитель на активном волокне, легированном эрбием
ES	– секунда с ошибками
FBT	– сплавной биконический разветвитель
FDM	– частотное уплотнение
FE	– Fast Ethernet
FET	– полевой транзистор
FSK	– частотная манипуляция
HDWDM	– высокоплотное волновое уплотнение
HIA	– высокоимпедансный усилитель
LAN	– локальная сеть
LED	– светоизлучающий диод
LD	– лазерный диод
LQD	– приемник с квантовым ограничением
MAN	– городская сеть
MDM	– модовое уплотнение
MMF	– многомодовое оптическое волокно
NRZ	– код без возвращения к нулю
NRZI	– код без возвращения к нулю с инверсией
NZDSF	– волокно с ненулевой смещенной дисперсией
OADM	– оптический активный демультиплексор
OFDR	– оптическая частотная рефлектометрия
OTDM	– оптическое временное уплотнение
OTDR	– оптическая временная рефлектометрия
PC	– физический контакт
PDH	– плезиохронная цифровая иерархия

PDM	– поляризационное уплотнение
RJ	– случайный джиттер
PLC	– планарный оптический разветвитель
PSK	– фазовая модуляция
RZ	– код с возвращением к нулю
SES	– секунда без ошибок
SDH	– синхронная цифровая иерархия
SMF	– одномодовое оптическое волокно
SOA	– полупроводниковый оптический усилитель
TAP-PD	– фотодиод с отрезком изогнутого волокна
TDM	– временное уплотнение
TIA	– трансимпедансный усилитель
UTP	– витая пара
WAN	– междугородняя сеть
WDM	– волновое уплотнение

Научное издание

**Шубин** Владимир Владимирович

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Монография

Редактор, корректор *Зимакова Н. Ю.*

Компьютерная подготовка оригинала-макета *Лештаева Н. А., Соседко Е. Л.*

---

Подписано в печать 06.02.2015 г.	Формат 70×108/16
Печать офсетная	Усл. печ. л. 22,5
Тираж 250 экз.	Уч.-изд. л. ~23
	Зак. тип. 1464-2014

---

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»  
607188, г. Саров Нижегородской обл., ул. Силкина, 23