



научно-практический журнал

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ УГРОЗАМ ТЕРРОРИЗМА

- *Философские, исторические, духовные, правовые аспекты природы терроризма и информационной борьбы с ним.*
- *Информационные технологии обеспечения безопасности личности, общества, государства.*
- *Информационная безопасность интеллектуальных систем.*
- *Защита интеллектуальных систем управления.*
- *Защита телекоммуникационных систем и информационных сетей.*
- *Радиоэлектронные технологии информационной безопасности.*
- *Организация и методики подготовки специалистов в области информационной безопасности.*

№4

2005

1. Бернет, С., Пэйн, С. Криптография. Официальное руководство RSA Security. – М.: Бином-Пресс, 2002 г. – 384 с..

2. ITU-T Recommendation X.509 «Information technology – Open systems inter-connection – The Directory: Public-key and attribute certificate frameworks». – ITU-T, March 2000.

В.В. Гришачев^{*}, В.Н. Кабашкин, А.Д. Фролов

факультет защиты информации, ИИНиТБ, РГГУ

^{*}физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

АНАЛИЗ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ: НАРУШЕНИЕ ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ

Высокие требования, предъявляемые к современным системам телекоммуникаций (высокая скорость передачи информации, надежность, защищенность от несанкционированного доступа), приводят к осознанию неоспоримого преимущества волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). В ближайшем будущем, можно ожидать, что ВОЛС заменят все существующие магистральные линии передачи информации. В связи с возможной широкой распространенностью возникает проблема защиты информации в ВОЛС. Анализ возможных каналов утечки информации в результате несанкционированного доступа имеет первостепенное значение [1-6]. Уже изначально ВОЛС имеют более высокую степень защищенности информации от несанкционированного доступа, чем какие-либо иные линии связи, что связано с физическими принципами распространения электромагнитной волны в световоде. В оптическом волноводе электромагнитное излучение выходит за пределы волокна на расстояние не более длины волны при отсутствии внешнего воздействия на оптоволокно.

Понятие волоконно-оптической линии связи является собирательным.

Оно включает приемники, передатчики оптического сигнала, волоконно-оптический тракт, регенераторы и иное оборудование. В связи с этим волоконно-оптическую линию можно разделить на локальные и распределенные участки. Локальные участки, включающие в себя модуляторы, оптические передатчики и приемники, регенераторы, наиболее защищены от несанкционированного съема в виду локализованной области их расположения. Распределенные участки (волоконно-оптические тракты) обладают наибольшей протяженностью и, соответственно, наименьшей защищенностью от несанкционированного съема. В отличие от всех других сред передачи информации, для формирования каналов утечки на участках волоконно-оптического тракта, как правило, требуют прямого доступа к оптоволокну и специальных мер отвода части излучения из оптоволокну или регистрации прохождения излучения. Основные физические принципы формирования каналов утечки в ВОЛС можно разделить на следующие типы:

1. Нарушение полного внутреннего отражения;
2. Регистрация рассеянного излучения на длинах волн основного информационного потока и комбинационных частотах;
3. Параметрические методы регистрации проходящего излучения.

В предлагаемой работе, анализ каналов утечки информации производится для систем передачи с амплитудной модуляцией электромагнитной волны на распределенных участках способами, связанными с нарушениями полного внутреннего отражения. К этим способам относятся:

- A. Изменение угла падения. Использование внешнего воздействия для уменьшения угла падения до значения, меньшего значения предельного угла падения, при котором начинает наблюдаться полное внутреннее отражения.
- B. Изменение отношения показателя преломления оболочки к показателю преломления сердцевины оптоволокну. Использование внешнего воздействия для увеличения угла полного внутреннего отражения до значений, больших характерных углов падения в световоде.
- C. Оптическое туннелирование. Оптическое туннелирование состоит в

прохождении излучения через оболочку оптоволокна с показателем преломления меньшим, чем у сердцевины, при углах падения больших угла полного внутреннего отражения.

I. Формирование каналов утечки при изменениях формы оптоволокна.

Изменение угла падения может достигаться путем механического воздействия на оптоволокно, например, его изгибом. При изгибе оптического волокна происходит изменение угла падения электромагнитной волны на границе сердцевина-оболочка. Угол падения становится меньше предельного угла, что означает выход части электромагнитного излучения из световода (рис.1). Изгиб оптического волокна приводит к сильному побочному излучению в месте изгиба, что создает возможность несанкционированного съема информации в локализованной области.

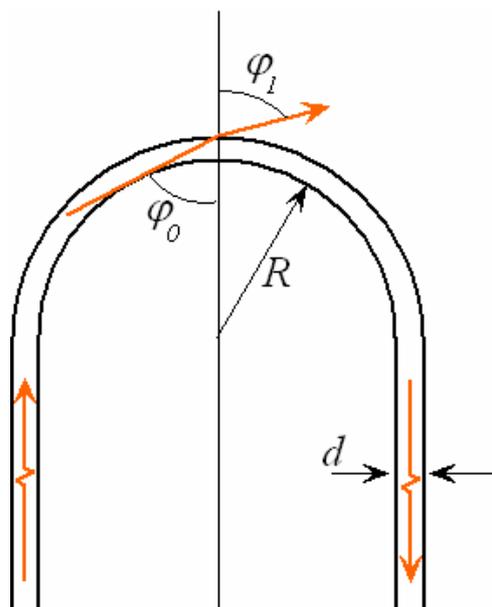


Рис. 1. Формирование канала утечки при изгибе радиусом R оптоволокна с диаметром сердцевины d , φ_0 - угол падения, φ_1 - угол преломления.

Оценим максимальный радиус изгиба R , при котором наблюдается побочное излучение в точке изгиба световода с диаметром сердцевины d ,

связанное с нарушением полного внутреннего отражения. Максимальный радиус определяется выражением

$$R \leq d \frac{n_2}{n_1 - n_2},$$

здесь n_1, n_2 – показатели преломления сердцевины и оболочки световода. Интенсивность электромагнитной волны, выходящей из волокна в точке изгиба, определяется по формулам Френеля для p - и s -поляризации, соответственно,[7,8]

$$I_p = I_0 \frac{\sin 2\varphi_0 \sin 2\varphi_1}{\sin^2(\varphi_0 + \varphi_1) \cos^2(\varphi_0 - \varphi_1)},$$

$$I_s = I_0 \frac{\sin 2\varphi_0 \sin 2\varphi_1}{\sin^2(\varphi_0 + \varphi_1)},$$

где I_0 – интенсивность падающего излучения и I_p, I_s – интенсивности прошедшего излучения для p - и s -поляризации. Оценка радиуса изгиба для многомодового волокна с диаметром сердцевины $d=50$ мкм и оптической оболочки – $D=125$ мкм ($n_1=1,481, n_2=1,476$) показывает, что при $R \leq 3,5$ см начинает наблюдаться сильное прохождение излучения в точке изгиба (до 80% значения интенсивности основного светового потока в оптоволокне). Надо отметить, что при оценке изгиба не учитывалось форма светового потока, цилиндрическая форма преломляющей поверхности и другие эффекты, изменяющие показатель преломления оптоволокна, например, фотоупругий эффект. Их вклад значительно меньше.

Нарушение полного внутреннего отражения при механическом воздействии возможно не только при изгибе волокна, но и при локальном давлении на оптоволокно, что вызывает неконтролируемое рассеяние (в отличие от изгиба) в точке деформации.

II. Формирование каналов утечки внешним воздействием, вызывающим изменением отношения показателей преломления.

Изменения угла падения можно добиться не только изменением формы оптоволокна при механическом воздействии, но и акустическим воздействием

на оптическое волокно. В сердцевине оптоволокна создается дифракционная решетка периодического изменения показателя преломления, которая вызвана воздействием звуковой волны. Электромагнитная волна отклоняется от своего первоначального направления, и часть её выходит за пределы канала распространения. Физическое явление, с помощью которого возможно решить поставленную задачу, является дифракция Брэгга на высокочастотном звуке (>10 МГц), длина волны Λ которого удовлетворяет условию: $(\lambda L / \Lambda^2) > 1$, где λ – длина волны электромагнитного излучения, L – ширина области распространения звуковой волны. Деформации, создаваемые упругой волной, формируют периодическое изменение показателя преломления внутри оптоволокна для света являющейся дифракционной решеткой (рис. 2).

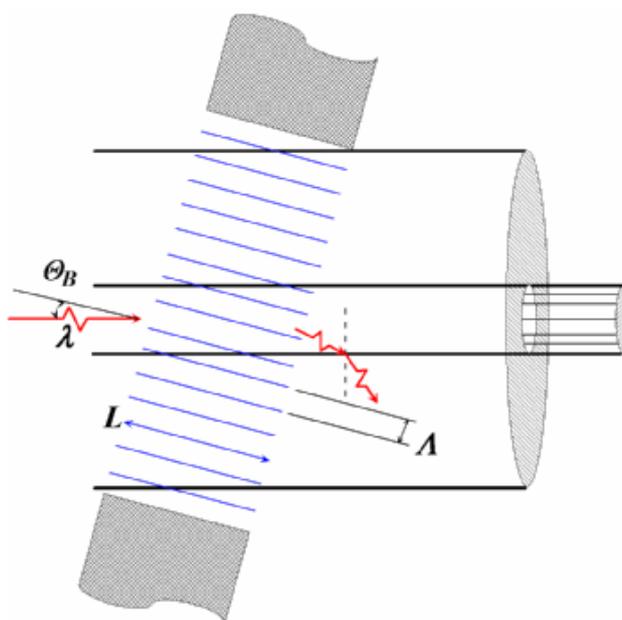


Рис.2. Формирование дифракционной решетки в сердцевине оптоволокна звуковой волной.

Максимальный угол отклонения единственного наблюдаемого дифракционного максимума равен двум углам Брэгга ($2\Theta_B$). Частота отклоненной электромагнитной волны приблизительно равна частоте основного информационного потока. Интенсивность дифракционного максимума может быть определена по формуле

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{J_0 M_2} \frac{L}{\lambda} \right),$$

где J_0 – интенсивность звуковой волны, $M_2=1,51 \cdot 10^{-15}$ сек³/кг- акустооптическое качество кварца. Вычисления показывают, что для многомодового оптоволокна с параметрами $(d/D)=(50/125)$ при акустическом воздействии с длиной волны звука $\lambda=10$ мкм и длине взаимодействия $L=10^{-3}$ м, максимальный угол отклонения от первоначального направления распространения составляет 5 градусов. График зависимости интенсивности первого дифракционного максимума от интенсивности звуковой волны представлен на рис.3. Из графика видно, что даже при невысоких интенсивностях звуковой волны выводимое электромагнитное излучение достаточно велико для регистрации его современными фотоприемниками. При фиксированной интенсивности звука, путем изменения области озвучивания L можно добиться максимального значения интенсивности в дифракционном максимуме, тем самым увеличить интенсивность света отводимого в канал утечки.

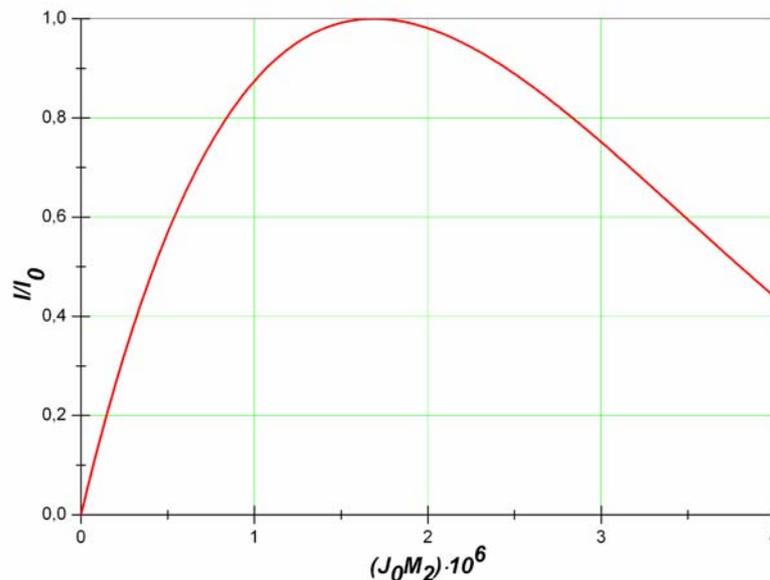


Рис.3. Зависимость интенсивности дифракционного максимума от интенсивности звуковой волны.

Другим внешним воздействием, изменяющим отношение показателя преломления оболочки к показателю преломления сердцевины оптоволокна

(n_2/n_1) , является механическое воздействие без изменения формы волокна, например, растяжение.

При растяжении оптического волокна происходит изменение показателей преломления сердцевины и оболочки оптического волокна на Δn_1 и Δn_2 . При этом увеличивается значение угла полного внутреннего отражения от φ_r до φ'_r . Значения углов связаны выражением

$$\sin \varphi'_r \approx \left(1 - \frac{\Delta n_1}{n_1} + \frac{\Delta n_2}{n_2} \right) \sin \varphi_r$$

Выражение для отношения $(\Delta n/n)$ определяется фотоупругим эффектом так, что

$$\frac{\Delta n}{n} = -\frac{1}{2} n^2 p \varepsilon,$$

где p , ε – эффективные составляющие тензоров фотоупругости и деформации, это связано с анизотропией оптического волокна возникающей при растяжении. С учетом того, что плавленый кварц выдерживает большие напряжения (до 10^6 Па в идеальном состоянии), то, прикладывая большие механические напряжения к оптоволокну, возможно добиться изменения предельного угла на величину $\varphi'_r - \varphi_r \approx 10^{-6} \sin \varphi_r$, чего может оказаться достаточно для вывода части интенсивности основного информационного потока за пределы оптического волокна.

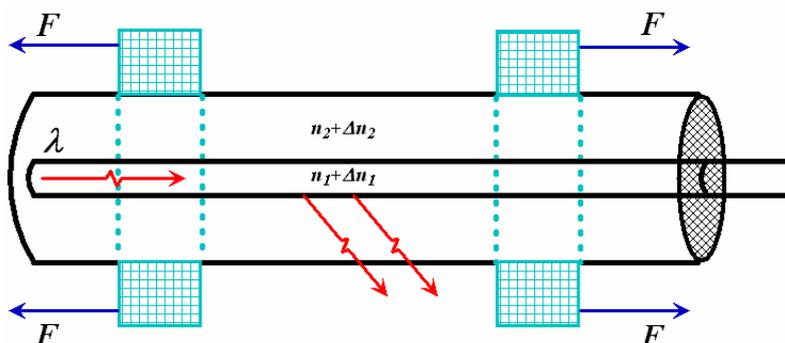


Рис. 4. Формирование канала утечки растяжением оптоволокну при воздействии внешнего усилия F .

К способам вызывающим изменение отношения показателя преломления оболочки к показателю преломления сердцевины оптоволокна путем механического напряжения так же относится и скручивание оптоволокна.

К бесконтактным способам изменения отношения (n_2/n_1) можно отнести воздействие стационарных электрических полей, которые изменяют показатель преломления сердцевины и оболочки на Δn_1 и Δn_2 . Выражение для отношения $(\Delta n/n)$ определяется из уравнения для обратного пьезоэлектрического эффекта и явления фотоупругости

$$\frac{\Delta n}{n} = -\frac{1}{2} n^2 p b E,$$

где b – модуль пьезоэлектрического эффекта, E – напряженность электрического поля. Новый угол полного внутреннего отражения (при $\Delta n_1 > 0$ и $\Delta n_2 > 0$), если для оценки принять значение напряженности электрического поля для пробоя идеального плавленого кварца (10^8 В/м), то воздействием стационарного электрического поля, можно добиться изменения предельного угла на величину $\varphi'_r - \varphi_r \approx 2 \cdot 10^{-8} \sin \varphi_r$.

Надо отметить, несмотря на то, что изменения значения предельного угла, вызываемое как механически напряжениями, так и электрическим полем малы, но комплексное воздействие с другими способами может привести к эффективному способу формирования канала утечки. Рассмотренные выше методы обладают одним недостатком, который позволяет легко фиксировать каналы утечки, созданные на их основе. Это определяется значительным обратным рассеянием света в местах каналов утечки. С помощью рефлектометрии обратного рассеянного света такие подключения легко детектируются с высоким пространственным и временным разрешением.

III. Формирование канала утечки методом оптического туннелирования.

Способом, который позволяет захватывать часть электромагнитного

излучения, выходящего за пределы сердцевины информационного оптического волокна дополнительным световодом, не внося дополнительных потерь и обратного рассеяния, является оптическое туннелирование [7,8]. Явление оптического туннелирования состоит в прохождении оптического излучения из среды показателем преломления n_1 через слой с показателем преломления n_2 меньшим n_1 в среду с показателем преломления n_3 при углах падения больших угла полного внутреннего отражения. На принципах оптического туннелирования в интегральной и волоконной оптике создаются такие устройства как оптический ответвитель, оптофоны, волоконно-оптические датчики физических величин.

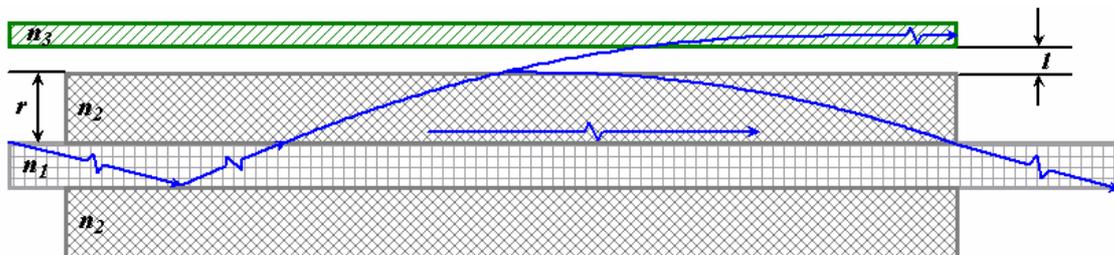


Рис.5. Формирование канала утечки оптическим туннелированием. n_1, n_2 – показатели преломления сердцевины и оболочки оптоволокна, n_3 – показатель преломления дополнительного оптоволокна.

При распространении света в оптическом волокне часть светового потока выходит за пределы сердцевины оптоволокна. Интенсивность излучения вышедшего из сердцевины в оболочку оптоволокна на расстояние $r=(D-d)/2$ в зависимости от угла падения на границе сердцевина-оболочка φ определяется выражением [7,8]

$$I = I_0 \cdot \exp\left(-4\pi n_1 (r/\lambda) \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_r}\right).$$

Это приводит к тому, что при изготовлении оптоволокна оболочка занимает значительную часть. Причем чем у одномодового волокна оболочка занимает гораздо больший объем, чем у многомодового. Это следует из приведенной

формулы проникновения света из сердцевины в оболочку. При приближении угла падения φ к углу полного отражения φ_r показатель степени экспоненты стремится к нулевому значению, свет распространяется по всей структуре волокна – сердцевине и оболочке. Это приводит к тому, что часть интенсивности из основного оптоволокна может перейти в дополнительное оптоволокно (рис.5). Интенсивность излучения переходящего в дополнительный волновод определяется выражением [7,8]

$$I = I_0 \cdot \sin^2(k \cdot S),$$

где k – коэффициент связи оптических волокон, S – длина оптического контакта двух волокон. Максимум значения коэффициента связи достигается при нулевом расстоянии между оболочкой и дополнительным оптоволокном ($l=0$) и показателе преломления дополнительного волокна $n_3=n_1$. Как видно из выражения, излучение из основного оптического волновода переходит в дополнительный волновод полностью при некотором значении длины оптического контакта $S=\pi/2k$. При дальнейшем увеличении длины оптического контакта происходит обратный процесс. Таким образом, излучение периодически переходит из одного волновода в другой, если не учитывать потери на поглощение, рассеяние.

Отличительной особенностью оптического туннелирования является отсутствие обратно рассеянного излучения, что затрудняет детектирование несанкционированного доступа к каналу связи. Этот способ съема информации наиболее скрытный.

В заключение надо отметить, что существует много других способов несанкционированного доступа и способов съема информации с оптоволокна. Это опровергает утверждение о невозможности формирования канала утечки из оптического волновода, которое прослеживается в повседневной жизни и в российских нормативных документах. В документе закреплено, что при использовании волоконно-оптических линий связи не требуется шифрование конфиденциальной информации, в отличие от других каналов передачи

информации. Особенностью волоконно-оптических телекоммуникаций является необходимость физического контакта с линией связи для формирования канала утечки.

Библиографический список

1. *С.Попов, В.Шубин, С.Ивченко, А.Волков, А.Курило, Н.Зайцев, И.Кращенко* О защите информации в волоконно-оптических системах. Вопросы защиты информации: Науч.-практ.журн. / ФГПУ «ВИМИ», 1(24), 1993. С. 39-43.
2. *С.Попов, В.Шубин, С.Ивченко, А.Волков, А.Курило, Н.Зайцев, И.Кращенко* Исходные данные для построения модели съема информации, передаваемой по волоконно-оптическому тракту. Вопросы защиты информации: Науч.-практ.журн. / ФГПУ «ВИМИ», 1(24), 1993, С. 43-48.
3. *А.Г. Сивцов* ВОСП и защита информации. Фотон-Экспресс / №18, 2000, С. 16-20.
4. *В.Г.Годный* Вопросы информационной безопасности в волоконно-оптических линиях связи. Системы безопасности. / №2(44), 2002. С.44-47.
5. *Ю.В. Бородакий, А.Ю. Добродеев, С.В. Дмитриев, М.И. Ермоных, С.Г. Фурсов* Проблема защиты волоконно-оптических систем и сетей от НДС. Пути и перспективы её решения. Системы безопасности связи и телекоммуникаций / ФГУП «Концерн Системпром», №41(5), 2001. С. 83.
6. *К.Е. Румянцев, И.Е. Хайров* Передача конфиденциальной информации по волоконно-оптическим линиям связи, защищенная от несанкционированного доступа. Информационное противодействие угрозам терроризма: Научн.-практ.журн., №1, 2003. С. 72 – 79.
7. *В.И. Бусурин, Ю.Р. Носов* Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. //М.: Энергоатомиздат, 1990. -256 с.
8. Введение в интегральную оптику. Под ред. М. Барноски, пер. с англ. под ред. Т.А. Шмаонова // М.: Мир, 1977.- 368 с.