



КАНАЛ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ПАРАЗИТНЫХ НАВОДОК (МОДУЛЯЦИЙ) В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ*

В.Гришачев, к.ф. – м.н.,
v.grishachev@gmail.com

Российский Государственный Геологоразведочный
Университет (МГРИ-РГГРУ), Москва

В продолжении обзора рассмотрены некоторые элементы оптических кабельных систем с точки зрения каналов возможной утечки информации. Ранее было показано, что мощность сигнала утечки определяется мощностью зондирующего сигнала. Предложено строить защиту конфиденциальности на основе экранирования, фильтрации, зашумления и детектирования паразитных модуляций.

Паразитная акустическая модуляция

Акустические поля – один из основных источников информации об объекте информатизации в виде конфиденциальных переговоров, побочных звуковых волн, сопровождающих различные процессы. Все это выделяет их на фоне других физических полей как один из основных каналов утечки информации. Обсудим более подробно возникновение паразитных модуляций световых потоков на оптических неоднородностях в кабеле [4]. Звуковая волна – периодический процесс упругих возмущений в среде в диапазоне частот приблизительно от 10 Гц до 20 кГц. В воздухе это упругое сжатие-расширение с длиной волны от 34 м до 1,7 см. За характерную частоту процесса можно принять 1,0 кГц с длиной волны 34,0 см, так что характерную длину однородности поля можно принять как $\Lambda = 17,0$ см. В случае оптических волокон большинство оптических неоднородностей обладает значительно меньшими размерами ($l \ll \Lambda$), поэтому процесс взаимодействия можно считать пространственно однородным.

Звуковая волна, оказывая механическое воздействие на волокно, вызывает отклик, который характеризуется упругими свойствами оптического кабеля и дефекта в нем. Обозначим через x некоторую степень свободы внутри дефекта,

LEAKAGE OF CHANNEL INFORMATION BASED ON THE SPURIOUS CROSSTALK (MODULATION) IN AN OPTICAL FIBER*

V.Grishachev, Ph.D.,

v.grishachev@gmail.com or grishachev@mail.ru
Russian State Geological Prospecting University
(RSGPU), Moscow

In the continuation of the review some elements of optic cable systems are considered as source to create the possible information leakage channel. It was shown that the leakage signal power is determined by the power of probing signal. Protection is proposed to build on the basis of screening, filtering, noise and detection spurious modulation.

Spurious Acoustic Modulation

Acoustic fields refer to one of the main sources of information concerning the informatization object in the form of confidential conversation, spurious sound waves accompanying different processes. All these aspects highlight them against the background of other physical fields as one of the main channels of information leakage. Let us discuss the occurrence of spurious modulations of light flux on the cable optical inhomogeneities in more detail [4]. The sound wave is periodic process of elastic disturbances in the medium at the approximate frequency range of 10 Hz to 20 kHz. In air it is elastic compression-extension with the wavelength of 34 m to 1.7 sm. 1.0 kHz shall be assumed to be the typical frequency with the wavelength of 34.0 sm, so the typical length of field homogeneity shall be $\Lambda = 17.0$ sm. In this case, majority of optical inhomogeneities is $l \ll \Lambda$ and therefore the interaction process can be deemed spatially homogeneous.

Sound wave has the mechanical action on fiber, response of which is characterized by the elastic properties of optical cable and defect in it. Let us designate some degree of freedom inside the defect through x which influences on the coefficient

* Продолжение. Начало см.: Фотоника, 2014, №6, с.44.

* Continuation. See Photonica, 2014, No.6, p.44.



которая оказывает влияние на коэффициент обратного излучения β_r и изменяется при внешнем воздействии акустического поля – акустического давления δp . Изменения давления в волне δp вызывает изменение параметра на δx , а это в свою очередь изменяет мощность обратного излучения на $\delta\beta_r$. Глубина модуляции определяется относительными изменениями коэффициента β_r , так что

$$m = \delta\beta_r / \beta_r = \delta x / x_0,$$

где x_0 – некоторое характерное невозмущенное значение смещения в колебательной системе с линейной зависимостью $\beta_r \sim x$.

Основное действие акустического поля состоит в механическом воздействии на дефект, его сжатии-расширению изменяющимся давлением воздуха. Дефект как механическая система обладает резонансным откликом на механическое воздействие с набором собственных частот $\{2\pi f_n\}$ и соответствующих им резонансным частотам. Тогда зависимость глубины модуляции от частоты внешнего воздействия для n -го резонанса будет иметь вид

$$m_n = \delta x_n / x_0 = (x_n / x_0) \cdot (f_n \gamma / \pi) / (f_n^2 - f^2 + i f \gamma / \pi),$$

здесь $x_n = S \delta p_0 / 4 \pi M \gamma f_n$ – амплитуда резонанса на частоте f_n при амплитуде акустического давления δp_0 для оптического дефекта массой M при площади поперечного сечения S и коэффициенте затухания механических колебаний γ .

Общая глубина модуляции m в виде отклика на широкополосное воздействие акустического поля определяется как среднее квадратичное значение от m_n по всему спектру частот, которое зависит от самого воздействия.

Разъемное соединение

В инфраструктуре кабельной сети разъемные соединения обеспечивают развитие информационной системы путем наращивания дополнительных элементов через разъемы и переходники. Это создает дополнительные опасности в утечке речевой информации через паразитные модуляции акустическим полем на разъемах. Акустическая волна, идущая от источника звука, воздействуя на разъем, изменяет расстояние между волокнами, вызывает угловое и радиальное смещения соединяемых волокон. Формирование обратного излучения связано с отражением от тонкого слоя, который образуется при контакте двух волокон (рис.6).

of backscattered radiation β_r and varies upon the external action of acoustic field – acoustic pressure δp . Pressure variation in the wave δp causes the variation of parameter by δx and, in turn, changes the power of backscattered radiation by $\delta\beta_r$. Modulation depth is determined by the relative variations of the coefficient β_r as follows

$$m = \delta\beta_r / \beta_r = \delta x / x_0,$$

where x_0 is some typical unperturbed value of shift in oscillating system with the linear dependence $\beta_r \sim x$.

The main action of acoustic field consists in the mechanical action on defect, its compression-extension by the variable air pressure. Defect as the mechanical system has resonant response to the mechanical effect with the set of its own frequencies $\{2\pi f_n\}$ and relevant resonance frequencies. Then, the dependence of modulation depth on the frequency of external effect for the n^{th} resonance will have the following form

$$m_n = \delta x_n / x_0 = (x_n / x_0) \cdot (f_n \gamma / \pi) / (f_n^2 - f^2 + i f \gamma / \pi),$$

here $x_n = S \delta p_0 / 4 \pi M \gamma f_n$ is the resonance amplitude at the frequency f_n and amplitude of acoustic pressure δp_0 for optical defect with the weight M upon the cross-section area S and coefficient of mechanical oscillation damping γ .

The total modulation depth m in the form of response to the broadband action of acoustic field is defined as the mean square value from m_n at the whole frequency range which depends on the action itself.

Releasable Connection

In the infrastructure of cable network, the releasable connections provide the development of information system via the accumulation of additional elements through connectors and adapters. It generates additional hazards connected with the leakage of verbal information through the spurious modulations caused by acoustic field in connectors. Acoustic wave from the sound source affecting the connector changes the distance between fibers and causes the angular and radial displacement of connected fibers. Formation of the backscattered radiation is connected with the reflection from thin layer which occurs upon the contact of two fibers (Fig. 6). Fabry-Perot interferometer represents the model of such system on the thin layer with the thickness d and refraction index n_0 . In this approximation,

Моделью подобной системы является интерферометр Фабри-Перо (Fabry-Perot interferometer) на тонком слое толщиной d и показателем преломления n_0 . В этом приближении коэффициент обратного излучения определяется формулой Эйри для многолучевой интерференции на отражение (Airy's Formula):

$$\beta_r = [4R \cdot \sin^2(\Delta\varphi/2)] / [(1-R)^2 + 4R \cdot \sin^2(\Delta\varphi/2)],$$

где R - коэффициент отражения от границ слоя, $\Delta\varphi = (4\pi/\lambda) \cdot n_0 \cdot d \cdot \cos A$ - разность фаз соседних отраженных лучей, λ - длина волны света, A - угол падения света на слой. В идеальном случае нормального падения ($A=0$) на плоскопараллельный слой (без клиновидности) толщиной менее длины волны света ($d \ll \lambda$) и малым отражением ($R \ll 1$) для показателя преломления $n_0=1,0$ (воздушная прослойка) получим

$$\beta_r \approx 160R(d/\lambda)^2.$$

А глубину модуляции, вызываемой внешним акустическим воздействием, будет определять выражение

$$m = 2\delta d / d_0 \leq 2d_m / d_0,$$

где d_0 - расстояние между волокнами в невозмущенном состоянии, δd - возмущение и $d_m - \delta p_0$ - резонансное осевое смещение волокон.

В предлагаемой модели не учитываются угловые и радиальные смещения волокон, вносящие дополнительные паразитные модуляции, а также не учитывается угловое расхождение падающего на отражающий слой света. Но принятое приближение позволяет оценить опасность данного канала утечки информации. Во-первых, отметим, что отражение β_r зависит от длины волны: это позволяет уменьшением длины волны зондирующего излучения увеличить мощность сигнала утечки (при этом глубина модуляции не изменится). Во-вторых, если принять длину волны зондирующего излучения $\lambda=1$ мм, то резонансное осевое смещение волокон можно оценить как $d_m \ll d_0 \ll \lambda$. В самом деле, при акустическом давлении $\delta p_0 = 2 \cdot 10^{-2}$ Па (уровень давления звука 60 дБ), если принять, что колебательную систему образует волокно длиной порядка $l \approx 0,02$ м, плотностью $\rho = M/S l = 2,1 \cdot 10^3$ кг/м³ (плавленый кварц), которая имеет резонансную частоту f_0 и $\gamma \ll f_0$ (примем $\gamma = f_0/20\pi$, что соответствует добротности $Q=20\pi^2$), то

коэффициент обратного излучения определяется на основе формулы Эйри для многолучевой интерференции на отражение

$$\beta_r = [4R \cdot \sin^2(\Delta\varphi/2)] / [(1-R)^2 + 4R \cdot \sin^2(\Delta\varphi/2)],$$

где R - коэффициент отражения от краев слоя, $\Delta\varphi = (4\pi/\lambda) \cdot n_0 \cdot d \cdot \cos A$ - разность фаз соседних отраженных лучей, λ - длина волны света, A - угол падения света на слой. В идеальном случае нормального падения ($A=0$) на плоский слой (без клиновидности) толщиной, которая меньше длины волны света ($d \ll \lambda$) и с малым значением коэффициента отражения ($R \ll 1$) для показателя преломления $n_0=1,0$ (воздушная прослойка) мы получим следующее

$$\beta_r \approx 160R(d/\lambda)^2.$$

А глубину модуляции, вызываемой внешним акустическим воздействием, будет определять выражение

$$m = 2\delta d / d_0 \leq 2d_m / d_0,$$

где d_0 - расстояние между волокнами в невозмущенном состоянии, δd - возмущение и $d_m - \delta p_0$ - резонансное осевое смещение волокон.

Предложенная модель не учитывает угловое и радиальное смещение волокон, которые вносят дополнительные паразитные модуляции и угловую расходимость света, падающего на отражающий слой. Но принятое приближение позволяет оценить опасность этого канала утечки информации. Во-первых, следует отметить, что коэффициент отражения β_r зависит от длины волны, что позволяет уменьшить длину волны зондирующего излучения и тем самым увеличить мощность сигнала утечки (при этом глубина модуляции не изменится). Во-вторых, если принять длину волны зондирующего излучения $\lambda=1$ мм, то резонансное осевое смещение волокон можно оценить как $d_m \ll d_0 \ll \lambda$. В самом деле, при акустическом давлении $\delta p_0 = 2 \cdot 10^{-2}$ Па (уровень давления звука 60 дБ), если принять, что колебательную систему образует волокно длиной порядка $l \approx 0,02$ м, плотностью $\rho = M/S l = 2,1 \cdot 10^3$ кг/м³ (плавленый кварц), которая имеет резонансную частоту f_0 и $\gamma \ll f_0$ (примем $\gamma = f_0/20\pi$, что соответствует добротности $Q=20\pi^2$), то

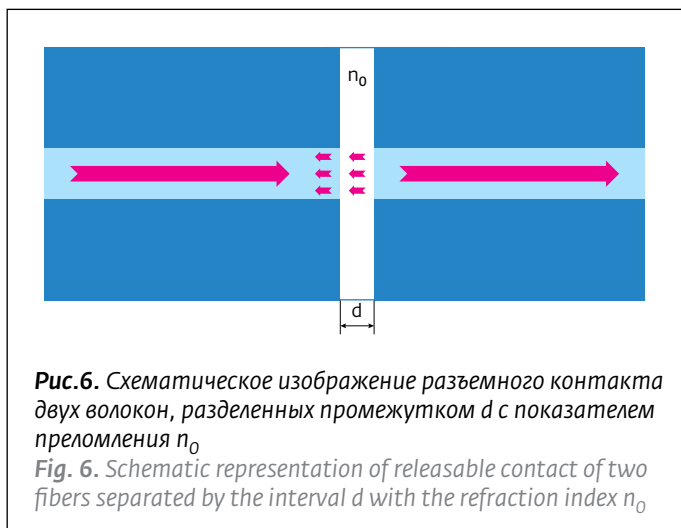


Рис.6. Схематическое изображение разъёмного контакта двух волокон, разделенных промежутком d с показателем преломления n_0
Fig. 6. Schematic representation of releasable contact of two fibers separated by the interval d with the refractive index n_0



$$d_m = C / f_0^2,$$

где $C = Q \delta p_0 / 4 \pi^2 \rho l \approx 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{Гц}^2$ – константа в приближении для данного разъемного соединения. В этом случае для резонансной частоты $f_0 = 500 \text{ Гц}$ получим резонансное осевое смещение волокон $d_m \approx 0,01 \text{ мм}$, а глубину модуляции можно оценить $m \leq 20\%$, если оценить расстояние между волокнами в невозмущенном состоянии $d_0 \approx 0,1 \text{ мм}$. При мощности обратно отраженного света $10 \cdot \lg(P_r/P_0) = -50 \text{ дБ}$ для одномодового волокна получим, что мощность оптического сигнала утечки составит $10 \cdot \lg(\delta P_r/P_0) \leq -57 \text{ дБ}$, что вполне может быть зарегистрировано. В случае уменьшения оценки расстояния между волокнами в невозмущенном состоянии до значения, на порядок меньший ($d_0 \approx 0,01 \text{ мм}$, случай хорошей обработки контактирующих поверхностей), мы получим мощность оптического сигнала утечки $10 \cdot \lg(\delta P_r/P_0) \leq -50 \text{ дБ}$ при глубине модуляции $m \leq 100\%$. В случае разъемного соединения многомодовых волокон отражение возрастает на два порядка, тогда глубина модуляции повышается.

В обсуждаемой модели модуляции обратного и проходящего светового потока акустическим полем являются связанными процессами. Рост отражения от контакта ведет к росту потерь на прохождение, так что $|\delta P_p| = |\delta P_r|$. Следовательно, глубина модуляции прошедшего излучения

$$\bar{m} = (\beta_r / \beta_p) m \ll m.$$

Видно, что глубина модуляции прошедшего излучения значительно меньше глубины отраженного излучения (т.е. $\bar{m} \ll m$). Объяснение кроется в том, что мощность прошедшего контакт излучения значительно выше мощности отраженного излучения, а их изменения по абсолютной

through the reduction of the wavelength of probing radiation and at the same time the modulation depth will not change. Secondly, if we assume that the wavelength of probing radiation is $\lambda = 1 \text{ }\mu\text{м}$ the resonant axial displacement of fibers can be estimated as $d_m \ll d_0 \ll \lambda$. In reality, at the acoustic pressure $\delta p_0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ (60 dB SPL), if we assume that fiber with the wavelength about $l \approx 0,02 \text{ м}$, density $\rho = M/S l = 2,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (fused quartz) forms the oscillating system which has the resonance frequency f_0 and $\gamma \ll f_0$ (it is suggested that $\gamma = f_0 / 20\pi$ and it corresponds to the quality factor $Q = 20\pi^2$) then

$$d_m = C / f_0^2,$$

where $C = Q \delta p_0 / 4 \pi^2 \rho l \approx 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{Гц}^2$ is the constant in approximation for this releasable connection. In this case, for the resonance frequency $f_0 = 500 \text{ Гц}$ we will receive the resonant axial displacement of fibers $d_m \approx 0,01 \text{ мм}$ and the modulation depth can be estimated $m \leq 20\%$ in case of estimation of the distance between fibers in unperturbed state $d_0 \approx 0,1 \text{ }\mu\text{м}$. With the power of backscattered light $10 \cdot \lg(P_r/P_0) = -50 \text{ дБ}$ for the single-mode fiber, we will obtain that the power of leakage optical signal is $10 \cdot \lg(\delta P_r/P_0) \leq -57 \text{ дБ}$, and it can be fully registered. In case of decrease of estimation of the distance between fibers in unperturbed state to the value which is less by the order ($d_0 \approx 0,01 \text{ }\mu\text{м}$, case of good treatment of contacting surfaces), we will obtain the power of leakage optical signal $10 \cdot \lg(\delta P_r/P_0) \leq -50 \text{ дБ}$ with the modulation depth $m \leq 100\%$. In case of releasable connection of multiple-mode fibers, the reflection index will increase by two orders and the modulation depth will grow too.

In the discussed model, modulations of backscattered and transmitted light flux caused by acoustic field refer to the connected processes.

величине – одинаковы (т.е. $\beta_r \ll \beta_p$). Подобный результат показывает, что рефлектометрические методы формирования канала утечки акустической информации более эффективны по сравнению с регистрацией паразитных модуляций проходящего светового потока.

Таким образом, оценка эффективности канала утечки акустической информации по глубине модуляции демонстрирует высокую опасность подобного подслушивания переговоров. Надо отметить, что паразитная модуляция имеет значительную шумовую составляющую, которая связана с возможными искажениями вследствие нелинейности процесса, с несколькими механизмами модуляции, с расхождением светового потока, так что сигнал утечки будет характеризоваться значительно меньшей общей эффективностью распознавания смысла речи или значения звука.

Сравнение с экспериментом

Экспериментальные исследования глубины модуляции света на оптическом контакте многомодовых волокон, проведенные ранее, подтверждают наши оценки [5]. Исследования проводились на экспериментальной установке (рис.7), состоящей из оптического кросса, в котором размещался SC-SC адаптер многомодовых волокон, источник звука, микрофон контроля уровня звукового давления (sound pressure level, SPL). На SC-SC адаптер поступало стабилизированное лазерное излучение, которое на выходе регистрировалось фотоприемником с селективным нановольтметром или интегрирующим вольтметром. В оптическом кроссе формировалось акустическое поле со спектром белого шума, что позволяло возбуждать все механические резонансы в оптическом контакте многомодовых волокон. Белый шум формировал паразитные модуляции интенсивности света, которые регистрировались фотоприемником. Использование селективного нановольтметра в эксперименте обеспечило спектральные исследования световых модуляций с шириной полосы 25 дБ октавы.

Результаты исследований представлены на графиках спектральной зависимости глубины модуляции (рис.8) нахождение $\bar{m}(f)$ при фиксированных SPL белого шума и зависимости (рис.9) глубины модуляции от уровня звукового давления $\bar{m}(SPL)$ для длин волн лазера $\lambda=850$ нм и 632,8 нм. Из первого графика можно получить, что данный SC-SC адаптер имеет глубину модуляции $\bar{m} \approx 0,9$ ppm ($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$) на резонансной частоте $f_0 \approx 3$ кГц. Если принять $(\beta_r/\beta_p) = 40$ дБ, что соответствует

Growth of the reflection from contact results in the growth of loss on transmission so $|\delta P_p| = |\delta P_r|$. Hence, the depth of modulation of transmitted radiation

$$\bar{m} = (\beta_r/\beta_p) m \ll m.$$

Thus, the depth of modulation of transmitted radiation is considerably lower than the depth of reflected radiation (i. e. $\bar{m} = (\beta_r/\beta_p) m \ll m \ll m$) and it can be explained by the fact that the power of radiation which transmitted through the contact is considerably higher than the power of reflected radiation and their variations by the absolute value are equal (i. e. $\beta_r \ll \beta_p$). Such result shows that the reflectometry methods of formation of acoustic information leakage channel are more effective in comparison with the registration of spurious modulations of transmitting light flux.

Thus, the efficiency estimation of acoustic information leakage channel by modulation depth shows great danger of such eavesdropping. It should be noted that the spurious modulation has significant noise component which is

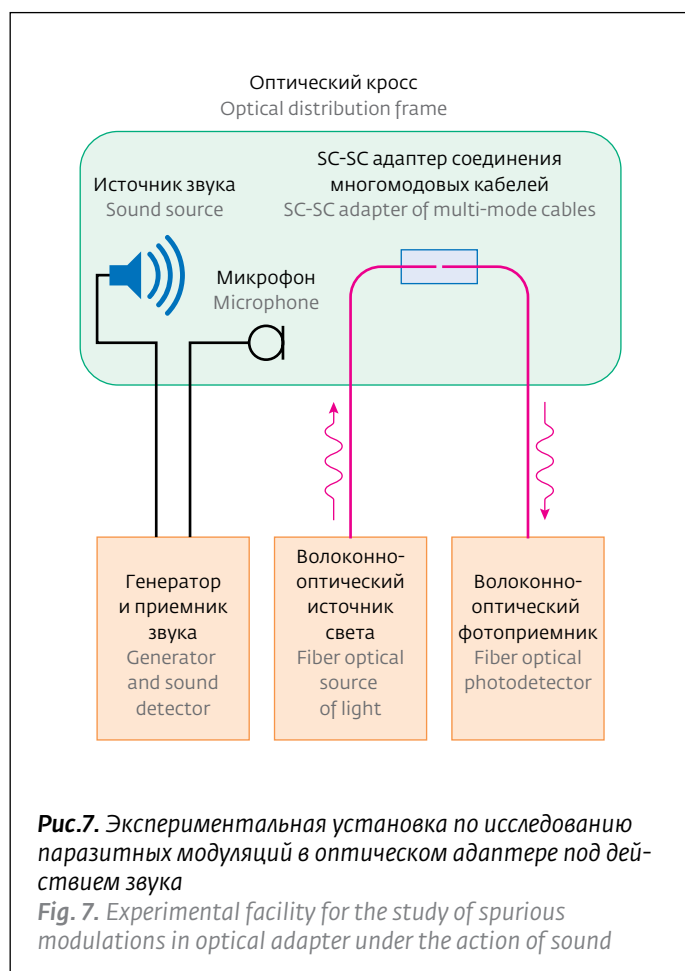


Рис.7. Экспериментальная установка по исследованию паразитных модуляций в оптическом адаптере под действием звука

Fig. 7. Experimental facility for the study of spurious modulations in optical adapter under the action of sound

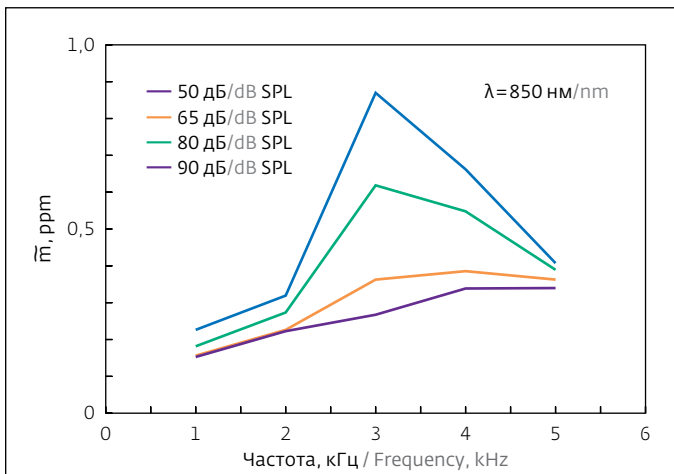


Рис.8. Спектр глубины модуляции $\bar{m}(f)$ лазерного излучения на длине волны $\lambda=850$ нм в оптическом SC-SC адаптере многомодовых волокон при воздействии белого шума с различными уровнями звукового давления SPL ($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$)

Fig. 8. Spectrum of modulation depth $\bar{m}(f)$ of laser radiation at the wavelength $\lambda=850$ nm in the optical SC-SC adapter of multi-mode fibers under the action of white noise with various levels of sound pressure SPL ($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$)

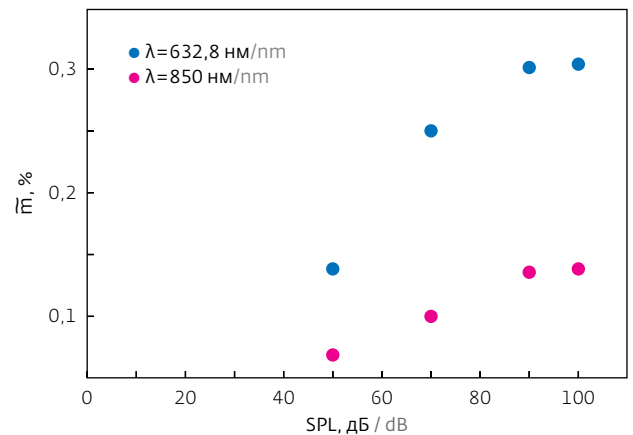


Рис.9. Глубина модуляции \bar{m} лазерного излучения на длинах волн $\lambda=850$ нм (полупроводниковый лазер) и $632,8$ нм (He-Ne-лазер) в оптическом SC-SC адаптере многомодовых волокон при воздействии белого шума с различными уровнями звукового давления SPL

Fig. 9. Modulation depth \bar{m} of laser radiation at the wavelengths $\lambda=850$ nm (semiconductor laser) and 632.8 nm (He-Ne laser) in the optical SC-SC adapter of multi-mode fibers under the action of white noise with various levels of sound pressure SPL

отношению мощностей отраженного и прошедшего излучения через контакт многомодовых волокон, тогда на резонансной частоте $f_0 \approx 3$ кГц получим оценку резонансного смещения волокон $d_m \approx 0,0003$ мм и глубины модуляции $\bar{m} \approx 0,6$ ppm. Это соответствует глубине модуляции отраженного излучения $m \leq 0,6\%$. При сравнении экспериментального и теоретического значений \bar{m} наблюдаем совпадение порядков. Видимое различие в 1,5 раза, что возможно, связано с неучетом других механизмов паразитных модуляций. Зависимость на втором графике подтверждает существование влияния длины волны зондирующего излучения на глубину модуляции. Также мы наблюдаем

connected with possible distortions due to the process nonlinearity, with several modulation mechanisms, with light flux divergence so the leakage signal will be characterized by much lower total efficiency of recognition of speech tenor or sound meaning.

Comparison with Experiment

Experimental studies of light modulation depth on the optical contact of multi-mode fibers performed earlier prove the specified estimations [5]. Studies were performed on the experimental facility (Fig. 7) consisting of optical distribution frame, in which SC-SC adapter of multi-mode



насыщение при росте SPL белого шума, что соответствует насыщению механической колебательной системы. Но основной вывод состоит в том, что общая глубина модуляции излучения на прохождение контакта многомодовых волокон (связана с вкладом по всему спектру) на четыре порядка превышает максимальную глубину модуляции на резонансной частоте. Следовательно, при переходе к рефлектометрическому методу регистрации глубина модуляции отраженного излучения может достигать 100%.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ [4–8]

Защита объекта от утечки акустической информации через волоконно-оптические коммуникации во многом дублирует стандартные методы защиты кабельных систем, но и они имеют свои особенности. Важна структура канала утечки и физические принципы модуляции света.

Структура канала утечки акустической информации

Воздействие акустического поля на волоконно-оптические коммуникации вызывает нежелательную модуляцию световых потоков. Распространяясь по кабельным системам, модуляция выходит далеко за пределы охраняемой зоны, где может быть зарегистрирована нарушителем. Таким образом, конфиденциальная информация, связанная с акустическими полями на объекте информатизации, может оказаться в руках нарушителя. В предлагаемой структуре канала утечки можно выделить три главных элемента:

- модуляция света в оптоволокне акустическими полями от источника информации;
- распространение сигнала по оптическим кабельным системам за пределы охраняемой зоны;
- зондирование и регистрация сигнала утечки нарушителем.

Каждый элемент канала утечки имеет свои слабые и сильные стороны в защите конфиденциальности информации. Их знание позволяет построить эффективную защиту. Она основана на следующих требованиях:

- минимизация паразитных наводок (модуляций) в оптической кабельной системе;
- ограничение выхода сигнала утечки за пределы охраняемой зоны;
- предотвращение или выявление нелегального подключения к оптической сети.

fibers and microphone for the control of sound pressure level (SPL) were located. Stabilized laser radiation arrived to SC-SC adapter and it was registered at the exit by the photodetector with selective nanovoltmeter or integrating voltmeter. Acoustic field with the spectrum of white noise was formed in the optical distribution frame and it allowed excitement of all mechanical resonances in the optical contact of multi-mode fibers. White noise formed the spurious modulations of light intensity which were registered by photodetector. Application of the selective nanovoltmeter made it possible to perform the spectral studies of light modulations with the band width of 25 dB of octave.

Study results are given in the form of diagrams of spectral dependence of modulation depth (Fig. 8) for the transmission $\bar{m} = (\beta_r / \beta_p) m \ll m$. (f) at set SPL of white noise and dependence (Fig. 9) of modulation depth on sound pressure level $\bar{m} = (\beta_r / \beta_p) m \ll m$. (SPL) for the laser wavelengths $\lambda = 850$ nm and 632.8 nm. It can be obtained from the first diagram that this SC-SC adapter has the modulation depth $\bar{m} = (\beta_r / \beta_p) m \ll m$. $\approx 0,9$ ppm (1 ppm = 10^{-6}) at the resonance frequency $f_0 \approx 3$ kHz. If we assume that $(\beta_r / \beta_p) = 40$ dB and it corresponds to the ratio of the powers of radiation reflected and transmitted through the contact of multi-mode fibers, then at the resonance frequency $f_0 \approx 3$ kHz we will obtain the estimation of fiber resonance displacement $d_m \approx 0.0003$ μ m and modulation depth $\bar{m} = (\beta_r / \beta_p) m \ll m$. $\approx 0,6$ ppm. It corresponds to the depth of modulation of reflected radiation $m \leq 0,6\%$. Comparing the experimental and theoretical values $\bar{m} = (\beta_r / \beta_p) m \ll m$. we have the matching of orders and the difference by 1.5 times can be connected with the failure to take into account other mechanisms of spurious modulations. The second diagram confirms the influence of probing radiation wavelength on the modulation depth and with the growth of SPL of white noise the saturation is observed, which corresponds to the saturation of mechanical oscillation system. But the main conclusion consists in the fact that the total depth of radiation modulation for the transmission of the contact of multi-mode fibers connected with the contributions along the whole spectrum exceeds the maximum modulation depth at resonance frequency by four orders. Therefore, in case of adoption of the reflectometry registration method the depth of modulation of reflected radiation can reach 100%.



Для этих целей можно использовать методы экранирования кабельной системы от внешних физических воздействий и полей; фильтрация и зашумление сигнала утечки; детектирование паразитных модуляций и попыток зондирования.

Дальнейшее обсуждение методов защиты строится для оптических кабельных систем связи. Объясняется это тем, что данные системы наиболее распространены и более часто встречаются по сравнению с волоконно-оптическими измерительными системами, системами безопасности и интерфейсами. Но приводимые рассуждения остаются в силе для всех видов применения оптического кабеля.

Акустическая экранировка оптического кабеля

Акустическая экранировка оптического кабеля – это звукоизоляция, ослабление акустического контакта внешнего акустического поля с оптическим кабелем путем использования звукопоглощающих/отражающих материалов, применением оптического кабеля высокого качества, удалением кабеля от источника звука. Монтаж структурированной

METHODS OF ACOUSTIC INFORMATION PROTECTION [4–8]

Site protection from the leakage of acoustic information through fiber optical communications duplicates the standard methods of cable system protection in many aspects but they have peculiarities. The structure of leakage channel and physical principles of light modulation are very important.

Structure of Acoustic Information Leakage Channel

Action of acoustic field on fiber optical communications causes the undesirable modulation of light flux which is spread in cable systems and goes far beyond the boundaries of protected zone, where it can be registered by infringer. Thus, confidential information connected with acoustic fields at informatization site can be received by infringer. In the suggested structure of leakage channel three main elements can be highlighted:

- Light modulation in optical fiber caused by acoustic fields from information source;
- Signal propagation in optical cable systems outside the boundaries of protected zone;



кабельной системы в офисе и здании производится с использованием кабельных коробов, лотков, коммутационных кроссов, терминальных элементов и т.д., где в оптической кабеле образуются все типы неоднородностей. Основная причина их появления неизбежна и связана с конструкцией сети. А другая причина может быть создана путем различных воздействий нарушителем временно (на необходимый период, по завершению которого оптическая однородность быстро восстанавливается). Именно поэтому акустическое экранирование не эффективно без постоянного контроля за состоянием структурированной кабельной системы. Основные рекомендации для экранирования состоят в следующем: вблизи источников конфиденциальной речевой информации качество кабеля должно быть наивысшим; топология сети включает минимальное число изгибов с максимально большим радиусом; все коммутационные элементы удалены, в противном случае на них должны быть установлены заглушки с акустическим экранированием.

Фильтрация и зашумление сигнала утечки информации [6, 7]

Метод подразумевает отсечение паразитных модуляций и добавление к полезному сигналу шума с помощью специального оборудования. Данный метод относится к активным методам, и, как правило, требует прямого включения в оптическую сеть промежуточного активного оборудования, что противоречит концепции технологии пассивных оптических сетей. В некоторых случаях устройство защиты может не входить в состав оптической сети непосредственно, например, когда зашумление производится путем прямого воздействия внешнего шумового физического поля на сам кабель. В этом случае воздействие включается только в требуемые моменты времени и с требуемой мощностью. Отличительной особенностью фильтрации является возможность ее применения для любой сети, в том числе и с неизвестной реакцией на паразитные модуляции.

Обнаружение паразитных наводок (модуляций) и зондирующих излучений [4, 8]

Защита акустической информации от утечек по оптической кабельной сети при паразитных акустических модуляциях света может быть построена на выявлении угрозы. Любая угроза утечки информации связана с двумя факторами: во-первых, наличием эффективной паразитной

- Probing and registration of leakage signal by infringer.

Every element of leakage channel has its weak and strong points in the protection of information confidentiality which make it possible to construct effective protection. Protection can be constructed on the basis of the following requirements:

- Minimization of spurious crosstalk (modulations) in optical cable system;
- Restriction of leakage signal output outside the boundaries of protected zone;
- Prevention or detection of illegal connection to the optical network.

Methods of cable system shielding from external physical effects and fields, filtration and noise pollution of leakage signal, detection of spurious modulations and probing attempts can be used for these purposes.

Further discussion of protection methods for optical cable communication systems is connected with the fact that these systems are the most widespread and used more frequently in comparison with fiber optical measuring systems, security systems and interfaces. But the specified arguments are still valid for all types of application of optical cable.

Acoustic Shielding of Optical Cable

Acoustic shielding of optical cable is represented by sound insulation, reduction of acoustic contact of external acoustic field with optical cable through the use of sound absorbing/reflecting materials, application of high-quality optical cable, cable removal from sound source. Mounting of the structured cable system in office and building is performed using the cable trunks, cable trays, switching distribution frame, terminal elements etc. in the points of optical cable where all types of inhomogeneities are formed. The main part is unavoidable by the network structure. And the other part of inhomogeneities can be created by infringer for the required period of time through different effects and then the optical homogeneity is quickly restored therefore the acoustic shielding is not efficient without constant control of the state of structured cable system. The basic recommendations for shielding consist in the following: quality of the cable which is located near the sources of confidential information must be the highest; network topology includes minimum number of bands with the largest radius; all switching elements are removed, otherwise terminators with acoustic shielding must be installed on them.



модуляции в области, где она исключается; во-вторых, наличием зондирующих излучений. Первая особенность указывает на саму возможность такой утечки, вторая – на реализацию угрозы. Особенностью утечки речевой информации является тот факт, что источник утечки, как правило, находится вблизи терминального сетевого оборудования. Это позволяет совместить трансивер с устройством защиты, когда в терминальном трансивере производится анализ световых потоков в сети и по фактам наличия паразитной модуляции и зондирующих излучений делается вывод о появлении угрозы подслушивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе обсуждаются физические принципы паразитных модуляций света в оптоволокне внешними физическими полями и акустической волной в частности. Оценка возможной глубины модуляции сигнала утечки акустической информации при отражении от разъемного соединения показывает значительную опасность подслушивания через волоконно-оптические коммуникации. Из методов защиты выделяется детектирование угрозы подслушивания по мониторингу световых потоков в оптическом кабеле.

ЛИТЕРАТУРА

4. Grishachev V.V. Detecting threats of acoustic information leakage through fiber optic communication. – Journal of Information Security, 2012, v.3, p.149–155. doi.org/10.4236/jis.2012.32017.
5. 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.
6. Патент 2416167 РФ. Способ и устройство активной защиты конфиденциальной речевой информации от утечки по акусто-опто-волоконному каналу на основе внешнего оптического зашумления / В.В.Гришачев, Д.Б. Халяпин, Н.А.Шевченко.
7. Патент 2416166 РФ. Способы и устройства активной защиты речевой информации от прослушивания по акусто-опто-волоконному каналу утечки / В.В.Гришачев, Д.Б. Халяпин, Н.А.Шевченко.
8. Патент 2428798 РФ. Волоконно-оптический детектор угроз утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации / В.В.Гришачев.

Filtration and Noise Pollution of Information Leakage Signal [6, 7]

The method implies the elimination of spurious modulations and addition of the noise to desired signal with the help of special equipment. This method refers to the active methods and as a rule requires the direct introduction of intermediate active equipment to the optical network which contradicts the concept of the technology of passive optical networks. In some cases, protection device might not be the part of optical network directly, for example, when the noise pollution is performed by the direct effect of external noise physical field on the cable. In this case the effect is switched on only at the required points of time and with the required power. Capability to apply filtration for any network including the network which is unknown on spurious modulations is the distinctive feature of filtration.

Detection of Spurious Crosstalk (Modulations) and Probing Radiations [4, 8]

Protection of acoustic information against leakages through the optical cable network upon the spurious acoustic light modulations can be constructed on the basis of threat detection. Any threat of information leakage is connected with two factors: (1) availability of effective spurious modulation in the area where it is eliminated; (2) availability of probing radiations. The first peculiarity indicates the potential of such leakage and the second one indicates the threat implementation. Peculiarity of the verbal information leakage consists in the fact that the source of such information is located near the terminal network equipment, as a rule. It allows combining the transceiver with the protection device when the analysis of light flux in the network is performed in the terminal transceiver and according to the facts of availability of spurious modulation and probing radiations the conclusion on the eavesdropping is drawn.

CONCLUSIONS

Physical principles of spurious modulations of light in optical fiber caused by the external physical fields and acoustic wave, in particular, are discussed in the paper. Performed estimation of possible modulation depth of acoustic information leakage signal upon the reflection from releasable connection shows the significant danger connected with eavesdropping through the fiber optical communications. Detection of eavesdropping threat by the monitoring of light flux in optical cable is highlighted among the protection methods.

