



## ПЕРЕХВАТ ТРАФИКА В ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ: ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАЗИТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

В. В. Гришачев, [grishachev@mail.ru](mailto:grishachev@mail.ru)  
Институт информационных наук и технологий  
безопасности  
Российский государственный гуманитарный уни-  
верситет, Москва, Россия

В работе представлен анализ возможности формирования в оптических сетях информативного сигнала радиодиапазона на основе нелинейно-оптической генерации разностных частот. На основе упрощенной физической модели перехвата трафика в оптических сетях с амплитудной модуляцией получены оценки мощности информативного паразитного электромагнитного излучения. Модель и оценки показывают реалистичность дистанционного перехвата трафика в оптических сетях. Обсуждаются наиболее опасные участки оптической сети и некоторые методы повышения эффективности перехвата. Также предлагаются методы защиты трафика техническими средствами.

Статья поступила в редакцию 26.03.2019  
Статья принята к публикации 16.04.2019

Переход в кабельных системах связи с медного (электрического) на оптический (диэлектрический) кабель привел к повышению всех характеристик передачи информации: пропускной способности, дальности, надежности, долговечности и защищенности [1-4]. Последнее преимущество связывается с отсутствием побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) при прохождении света по диэлектрическому каналу (оптоволокну), отсутствие которого не исключает возможность перехвата передаваемой информации [4].

Перехват трафика в оптических сетях [4-10]. Основные способы перехвата связаны с формированием оптических информативных сигналов

## TRAFFIC INTERCEPTION IN OPTICAL NETWORK: INFORMATIVE PARASITIC ELECTROMAGNETIC RADIATION

V. V. Grishachev, [grishachev@mail.ru](mailto:grishachev@mail.ru), Institute for  
Information Sciences and Security Technologies Russian  
State University of the Humanities, Moscow, Russia

The paper presents an analysis of the possibility of forming an informative radio band signal in optical networks on the basis of non-linear optical generation of difference frequencies. On the basis of a simplified physical model of traffic interception in optical networks with amplitude modulation, power estimates of the informative parasitic electromagnetic radiation are obtained. The model and estimates show the reality of remote traffic interception in optical networks. The most dangerous parts of the optical network and some methods of increasing the efficiency of interception are discussed. Also, methods of traffic protection by technical means are offered.

Article was received on 26.03.2019  
Article was accepted for publication on 16.04.2019

The transition in cable communication systems from copper (electrical) to optical (dielectric) cable has led to an increase in all information transmission characteristics: throughput, range, reliability, durability and protection [1-4]. The latter advantage is associated with the absence of side electromagnetic radiation (SEMR) during the passage of light through the dielectric channel (optical fibre), the absence of which does not exclude the possibility of interception of the transmitted information [4].

Traffic interception in optical networks [4-10]. The main methods of interception are connected with the formation of optical informative signals by outputting a part of the optical information signal, e. g., by removing a part of the radiation when the fibre is bent; registration of side optical radiation on the basis of leaky modes in the initial part of the optical fibre or scattered radiation in other parts of the optical network. Features of the propagation of light in the fibre, the design of the optical cable limit the possibilities of interception based on optical informative signals by the difficulties of registering fast processes with lim-



путем вывода части оптического информационного сигнала, например, отвода части излучения при изгибе оптоволокна, регистрации побочных оптических излучений на основе вытекающих мод на начальном участке оптического волокна или рассеянного излучения на других участках оптической сети. Особенности распространения света в волокне, конструкция оптического кабеля ограничивают возможности перехвата на основе оптических информативных сигналов трудностями регистрации быстропротекающих процессов при ограниченности отводимой оптической мощности, развитостью техники мониторинга оптических сетей рефлектометрическими и другими методами.

Теоретический анализ физических особенностей распространения света в волокне и практический поиск технических реализаций существующих волоконно-оптических технологий позволяет предложить новые способы перехвата трафика, в том числе на основе паразитных электромагнитных излучений, генерируемых вследствие нелинейно-оптических преобразований в волокне. Суть данного перехвата сводится к тому, что кодирование информации в оптических сетях производится со скоростями вплоть до  $C=100$  Гбит/сек и соответствующими частотами модуляции порядка  $f=100$  ГГц оптической несущей на длинах волн  $\lambda=800-1600$  нм. Детектирование оптического излучения методами нелинейной оптики может привести к формированию паразитных электромагнитных излучений (ПрЭМИ) на частотах модуляции, которые могут быть информативными сигналами для систем перехвата трафика. В работе представлен физический анализ данного вида перехвата.

### МОДЕЛЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА И ИНФОРМАЦИОННОГО ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Преимущества оптических кабельных сетей перед электрическими связывается с повышенной частотой несущей и со средой канала передачи информации [3-5]. Основой волоконно-оптического канала связи является оптическое волокно из оптически прозрачного диэлектрика. В телекоммуникациях – это очищенный аморфный кварц (диоксид кремния,  $\text{SiO}_2$ ) в виде тонкой гибкой цилиндрической нити диаметром 125 мкм (оболочка) с выделенным внутри по оси нити цилиндром (сердцевина) диаметром менее 10 мкм для одномодового волокна и 62,5 или 50 мкм для многомодового волокна. Геометрические и оптические параметры оболочки

итет оптической мощности; развитие оптической сети мониторинга с использованием рефлектометрических и других методов.

Теоретический анализ физических особенностей распространения света в волокне и практический поиск технических реализаций существующих волоконно-оптических технологий позволяет предложить новые способы перехвата трафика, включая перехват на основе паразитного электромагнитного излучения, генерируемого в результате нелинейно-оптических преобразований в волокне. Суть этого перехвата сводится к тому, что информация кодируется в оптических сетях со скоростью до  $C=100$  Гбит/с и соответствующими частотами модуляции порядка  $f=100$  ГГц оптической несущей на длинах волн  $\lambda=800-1600$  нм. Детектирование оптического излучения методами нелинейной оптики может привести к формированию паразитного электромагнитного излучения (ПЭМИ) на частотах модуляции, которые могут быть информативными сигналами для систем перехвата трафика. В работе представлен физический анализ данного вида перехвата.

### FIBRE CHANNEL AND INFORMATION OPTICAL SIGNAL MODEL

The advantages of optical cable networks over electrical ones are associated with an increased frequency of the carrier and with the medium of the information transmission channel [3-5]. The basis of a fibre-optic communication channel is an optical fibre made of an optically transparent dielectric. In telecommunications, it is purified amorphous quartz (silicon dioxide,  $\text{SiO}_2$ ) in the form of a thin flexible cylindrical filament with a diameter of 125  $\mu\text{m}$  (shell) with a cylinder selected inside the axis (core) with a diameter less than 10  $\mu\text{m}$  for single-mode fibre and 62.5 or 50  $\mu\text{m}$  for multimode fibre. The geometrical and optical parameters of the shell and core are chosen so that the light propagating inside the shell experiences total internal reflection from the shell, for which the core refractive index ( $n_c$  is about 1.46) is chosen more than that of the shell ( $n_s$ ) in order of magnitude by  $\Delta n = n_c - n_s = 0.01$ . The refractive index is controlled by introducing a small amount of additives to increase  $n_c$  – Ge and P, and to reduce  $n_s$  – B and F. The loss in quartz fibres is influenced by impurities of Fe, Cu, Cr and OH- with a typical concentration of about 10-1000  $\text{mln}^{-1}$ . For optical amplification in the wavelength range of 1060-1300 nm, the core is doped with Yb, and in the region of 1500 nm – with Er. The low content of impurities determines the optical properties of the fibre, such as low loss, elastic and inelastic scattering, non-linear transformations.

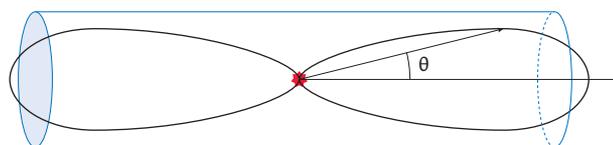
и сердцевины выбираются так, что распространяющийся внутри оболочки свет испытывает полное внутреннее отражение от оболочки, для чего показатель преломления сердцевины ( $n_c$  порядка 1,46) выбирается больше, чем у оболочки ( $n_s$ ) по порядку величины на  $\Delta n = n_c - n_s = 0,01$ . Управление показателем преломления производится путем внесения небольшого количества добавок для увеличения  $n_c$  – Ge и P, а для уменьшения  $n_s$  – B и F. На потери в кварцевых волокнах оказывают влияние примеси Fe, Cu, Cr и, OH- с типичной концентрацией порядка 10–1000 млн<sup>-1</sup>. Для оптического усиления в области длин волн 1060–1300 нм сердцевину допируют Yb, а в области 1500 нм – Er. Пониженное содержание примесей определяет оптические свойства волокна, такие как низкие потери, упругое и неупругое рассеяние, нелинейные преобразования.

**Линейные и нелинейные оптические явления в среде волоконно-оптического канала** [2–4, 11–13]. Распространение света в диэлектрическом волокне сопровождается потерями, спектр поглощения которых характеризуется снижением потерь при увеличении длины волны от оптических до инфракрасных длин волн порядка 1600 нм с характерными всплесками величины поглощения на отдельных видах примесей и областями между ними с незначительным изменением коэффициента поглощения (области прозрачности) на длинах волн 850, 1310 и 1550 нм. Наименьшее затухание порядка 0,22 дБ/км наблюдается на длинах 1550 нм. Дальнейшее увеличение длины волны вызывает рост поглощения, связанного с колебаниями атомов кристаллической решетки. В области прозрачности основной вклад в ослабление светового потока дает рассеяние Рэлея на оптических неоднородностях много меньших длины волны света, которое характеризуется зависимостью от длины волны  $\sim \lambda^{-4}$ . Дополнительные потери вносят структурные неоднородности волокна, сравнимые с длинами волн (рассеяние Ми), плоские протяженные сколы, трещины и др. (отражение Френеля). Эти и другие виды потерь формируют побочные оптические излучения (ПОИ), имеющие характерную индикатрису рассеяния (рис. 1) с направлением максимального рассеяния вдоль оси волокна и квадратичной зависимостью от угла рассеяния  $\theta$ .

Составляющий основу оптоволоконна плавленный кварц SiO<sub>2</sub> имеет аморфную структуру при малой доли примесей и оптических неоднородностей, поэтому в волокне с небольшой эффективностью могут наблюдаться нелинейно-оптические преоб-

**Linear and non-linear optical phenomena in a fibre-optic channel** [2–4, 11–13]. The propagation of light in the dielectric fibre is accompanied by losses, the absorption spectrum of which is characterized by a decrease in losses with increasing wavelength from optical to infrared wavelengths of the order of 1600 nm with characteristic bursts of absorption on individual types of impurities and areas between them with a slight change in the absorption coefficient (transparency region) on the wavelengths of 850 nm, 1310 nm, 1550 nm. The smallest attenuation of about 0.22 dB/km is observed over the lengths of 1550 nm. A further increase in wavelength causes an increase in absorption associated with vibrations of the atoms of the crystal lattice. In the field of transparency, the main contribution to the attenuation of the light flux is made by Rayleigh scattering by optical inhomogeneities much smaller than the wavelength of light, which is characterized by the dependence on the wavelength  $\sim \lambda^{-4}$ . Additional losses are caused by structural inhomogeneities of the fibre comparable to wavelengths (Mie scattering), flat chipped fractures, cracks, etc. (Fresnel reflection). These and other types of losses form side optical radiation (SOR) having a characteristic scattering indicatrix (Fig. 1) with the direction of maximum scattering along the fibre axis and a quadratic dependence on the scattering angle  $\theta$ .

Fused silica SiO<sub>2</sub>, which forms the basis of the optical fibre, has an amorphous structure with a small fraction of impurities and optical inhomogeneities; therefore, non-linear optical transformation of radiation can be observed in the fibre with low efficiency, which is associated with a small channel size, high input radiation power, and the influence of external factors. In particular, inelastic Raman scattering is observed (on lattice vibrations), Brillouin scattering



**Рис. 1.** Индикатриса рэлеевского рассеяния на оптических неоднородностях много меньших длины волны зондирующего излучения,  $\theta$  – угол составляемый рассеянным светом с направлением светового потока

**Fig. 1.** Rayleigh scattering indicatrix on optical inhomogeneities is much smaller than the wavelength of the probing radiation,  $\theta$  is the angle composed by scattered light with the direction of the light flux



разования излучения, что связывается с малым размером канала, высокой мощностью вводимого излучения, влиянием внешних факторов. В частности, наблюдаются неупругое комбинационное рассеяние (на колебаниях атомов решетки), рассеяние Мандельштама – Бриллюэна (на акустических фононах), которые приводят к появлению характерных максимумов и уширению спектра оптического излучения. На практике данные эффекты используются для распределенных волоконно-оптических измерений температуры, механических напряжений.

Еще один вид нелинейно-оптических преобразований в оптоволокне связывается с изменением показателя преломления, генерацией гармоник, суммарных и разностных частот. К ним относятся фазовая самомодуляция, четырехволновое смещение, модуляционная нестабильность, формирование солитонов, фазовая кросс-модуляция, которые оказывают существенное влияние на передачу информации в оптических линиях. Например, четырехволновое смещение наблюдается при распространении в волокне сигналов на трех ( $\omega_i, \omega_j, \omega_k$ ) или более частотах, при этом генерируется сигнал на смешанной частоте ( $\omega_{ijk} = \omega_i + \omega_j - \omega_k$ ), близкой к рабочей частоте каналов, что оказывает влияние на передачу. Для эффективного нелинейно-оптического преобразования оптического излучения требуется достижение критических значений интенсивностей, что вполне возможно вследствие малости поперечного сечения волокна и высокой мощности излучения. Эффективность нелинейно-оптических преобразований может значительно повыситься при достижении фазового (волнового) синхронизма, а также при внешних воздействиях, повышающих нелинейность среды.

Нелинейно-оптические преобразования, происходящие при распространении оптического излучения в оптоволокне, определяются тензором

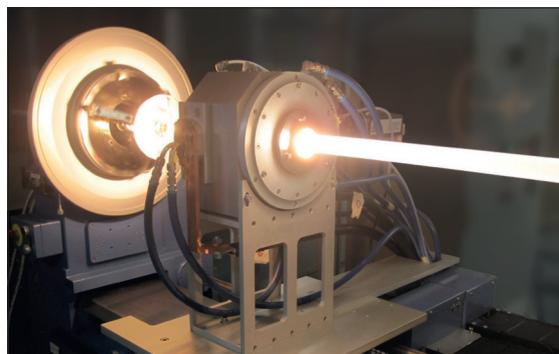
(on acoustic phonons), which lead to the appearance of characteristic maxima and broadening of the spectrum of optical radiation. In practice, these effects are used for distributed fibre-optic measurements of temperature, mechanical stresses.

Another type of non-linear optical transformations in optical fibre is associated with a change in the refractive index, the generation of harmonics, the total and difference frequencies. These include phase self-modulation, four-wave bias, modulation instability, the formation of solitons, phase cross-modulation, which have a significant impact on the transmission of information in optical lines. For example, four-wave mixing is observed when signals are distributed in the fibre at three ( $\omega_i, \omega_j, \omega_k$ ) or more frequencies, and a signal is generated at the mixed frequency ( $\omega_{ijk} = \omega_i + \omega_j - \omega_k$ ) close to the operating frequency of the channels, which affects transmission. For effective non-linear optical transformation of optical radiation, it is necessary to achieve critical intensities, which is quite possible due to the small cross section of the fibre and high radiation power. The efficiency of non-linear optical transformations can significantly increase when phase (wave) synchronism is achieved, as well as when external influences increase the non-linearity of the medium.

Non-linear optical transformations occurring during the propagation of optical radiation in an optical fibre are determined by the non-linear susceptibility tensor  $\hat{\chi}_{NL}$  of amorphous silicon with impurities. The non-linear polarization of the fibre material induced by radiation occurs at mixed frequencies and is equal to

$$\vec{P}_{NL} = \epsilon_0 \hat{\chi}_{NL} \vec{E}_1 \vec{E}_2,$$

where  $\epsilon_0$  is the electric constant,  $\vec{E}_1; \vec{E}_2$  is the electric intensity of the interacting waves at frequencies  $\omega_1, \omega_2$ , while the non-linear susceptibility  $\hat{\chi}_{NL}$  may depend



## Производство заготовок для вытяжки специального волокна

Система напыления OFC 12 MCVD/FCVD - универсальное решение для производства заготовок малого размера, предназначенных для вытяжки специальных волокон.



[www.rosendahlnextrom.com](http://www.rosendahlnextrom.com)





нелинейной восприимчивости  $\hat{\chi}_{NL}$  аморфного кремния с примесями. Наводимая излучением нелинейная поляризация материала оптоволокна происходит на смешанных частотах и равна

$$\vec{P}_{NL} = \epsilon_0 \hat{\chi}_{NL} \vec{E}_1 \vec{E}_2,$$

где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\vec{E}_1$ ;  $\vec{E}_2$  – электрические напряженности взаимодействующих волн на частотах  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ , при этом нелинейная восприимчивость  $\hat{\chi}_{NL}$  может зависеть как от электрических полей этих же, так и других волн в оптоволокне, а также она зависит от внешних воздействий электрической или иной природы, например, от механических напряжений, существующих или возникающих при скручивании оптоволокна. В идеальных кристаллах компоненты тензора нелинейной восприимчивости определяются симметрией, так, в материалах с аморфной структурой квадратичная нелинейность равна нулю и проявляются нелинейности третьего порядка и более высокого порядка. В реальных материалах существуют структурные неоднородности, внешние воздействия, которые приводят к тому, что эффективная нелинейная восприимчивость может отличаться от идеальной. Поэтому эффективная квадратичная нелинейность аморфного  $\text{SiO}_2$  отличается от нулевого значения, а при воздействии внешних полей может принимать значения, достаточные для наблюдения нелинейно-оптических преобразования второго порядка.

Кроме названных явлений в волокне могут проходить и другие процессы, которые не учитываются при эксплуатации оптических сетей, так как не оказывают значительного влияния на передачу информации, но могут быть использованы как источники информативных сигналов для перехвата трафика.

**Информационный сигнал** [2–4, 12]. Передача информации в оптических сетях производится путем модуляции оптической несущей, в качестве которой применяется излучение на длинах волн из областей прозрачности на частотах  $\nu = \omega/2\pi \cdot 10^{14}$  Гц ( $\lambda = 850$  нм),  $2,3 \cdot 10^{14}$  Гц (1310 нм) и  $1,9 \cdot 10^{14}$  Гц (1550 нм). При кодировании информации используется амплитудная, фазовая модуляция на частотах  $f = \Omega/2\pi = 10^8$  Гц и выше. Основным способом повышения пропускной способности линии связи связан с волновым мультиплексированием 40 и более длин волн. Мощность информационного сигнала определяется оптическим бюджетом линии (без промежуточного усиления),

on both the electric fields of the same and other waves in the optical fibre, and it also depends on external influences of an electric or other nature, e.g., from mechanical stresses existing or arising when twisting the optical fibre. In ideal crystals, the components of the non-linear susceptibility tensor are determined by symmetry, as in materials with an amorphous structure, the quadratic non-linearity is zero and third-order and higher-order non-linearities appear. In actual materials, there are structural inhomogeneities, external influences, which lead to the fact that the effective non-linear susceptibility may differ from the ideal one. Therefore, the effective quadratic non-linearity of amorphous  $\text{SiO}_2$  differs from the zero value, and when exposed to external fields it can take values sufficient to observe a second-order non-linear optical transformation.

In addition to the above phenomena, other processes can take place in the fibre that are not taken into account when operating optical networks, since they do not have a significant impact on the transmission of information, but can be used as sources of informative signals for intercepting traffic.

**Information signal** [2–4, 12]. Information is transmitted in optical networks by modulating an optical carrier, which uses radiation at wavelengths from transparency areas at frequencies  $\nu = \omega/2\pi \cdot 10^{14}$  Hz ( $\lambda = 850$  nm),  $2,3 \cdot 10^{14}$  Hz (1310 nm) and  $1,9 \cdot 10^{14}$  Hz (1550 nm). When encoding information, amplitude and phase modulation is used at frequencies  $f = \Omega/2\pi = 10^8$  Hz and above. The main way to increase the bandwidth of the communication line is associated with wave multiplexing of 40 or more wavelengths. The power of the information signal is determined by the optical budget of the line (without intermediate amplification) expressed in dB, i.e. total losses in the passive elements, which must be less than the difference in power source and the sensitivity of the receiver.

### INFORMATIVE PARASITIC ELECTROMAGNETIC RADIATION

Based on the description of the information signal, line and communication channel in optical networks, it is possible to propose a simplified physical model of a fibre-optic information transmission system. The information transmission medium is a single-mode optical fibre with a stepped refractive index profile of  $n = 1.46$  and a diameter of  $d = 125/10$   $\mu\text{m}$  with an absorption coefficient of  $\alpha = 0.22$  dB/km ( $5.1 \cdot 10^{-5}$   $\text{m}^{-1}$ ). Information signal in the form of a monochrome optical carrier at a wavelength of  $\lambda = 1550$  nm ( $\nu = 1,9 \cdot 10^{14}$  Hz) with a source power of  $P_0 = 1$  mW modulated by a sinusoidal signal with a frequency of  $f = 1$  GHz in amplitude

выраженным в дБ, т.е. общими потерями в пассивных элементах, которые должны быть меньше разности мощности источника и чувствительностью приемника.

### ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАЗИТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Исходя из описания информационного сигнала, линии и канала связи в оптических сетях можно предложить упрощенную физическую модель волоконно-оптической системы передачи информации. Среда передачи информации – одно-модовое оптическое волокно со ступенчатым профилем показателя преломления  $n=1,46$  и диаметром  $d=125/10$  мкм с коэффициентом поглощения  $\alpha=0,22$  дБ/км ( $5,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ ). Информационный сигнал в виде монохромной оптической несущей на длине волны  $\lambda=1550$  нм ( $\nu=1,9 \cdot 10^{14}$  Гц) мощностью источника  $P_0=1$  мВт, модулированной синусоидальным сигналом частотой  $f=1$  ГГц по амплитуде с коэффициентом модуляции  $m \leq 1$ . В оптическом канале присутствуют побочные оптические излучения, формируемые, главным образом, вследствие рассеяния Рэлея, когерентные несущей и имеющее мощность порядка  $P_1=\alpha\lambda P_0/2$ , где  $\Lambda=c/f$  – длины волны модулирующего сигнала

with a modulation factor of  $m \leq 1$ . The optical channel contains side optical radiation, generated mainly due to Rayleigh scattering, coherent carrier and having a power of about  $P_1=\alpha\lambda P_0/2$ , where  $\Lambda=c/f$  is the wavelengths of the modulating signal and  $c$  is the speed of light in vacuum, i. e. of the order of the spatial length of the bit.

In accordance with this approximation, the propagating optical radiation in the optical fibre consists in the forward direction of the flux  $N_b$  of photons with energy  $\hbar\omega$  and  $N_m$  of photons of each type with energies  $\hbar(\omega-\Omega)$  and  $\hbar(\omega+\Omega)$ . The number of carrier photons in the stream decreases with the  $x$  distance travelled, so that

$$N_b = \frac{P_0}{\hbar\omega} \exp(-\alpha x),$$

and modulated photons for each energy

$$N_m = m^2 N_b / 2.$$

In addition to direct photons that form the information optical signal, back-scattered photons are present in the optical fibre, which form side optical radiation with energies  $\hbar\omega$ ,  $\hbar(\omega-\Omega)$  and  $\hbar(\omega+\Omega)$ . Their



## Современным компаниям – инновационные решения!

### Компактный эргономичный измеритель мощности и энергии Thorlabs PM400

Надежность проверяется временем. Время измеряется годами. Годы вырастают в десятилетия. **Два десятилетия** назад мы открыли для российских пользователей производителя надежного оптического, оптомеханического и измерительного оборудования, компанию **Thorlabs Inc**, США.

Современный компактный эргономичный измеритель мощности и энергии **Thorlabs PM400**. Совместим со всеми детекторами Thorlabs. Имеет входы для датчиков влажности и температуры. Встроенная память 4 Гб. Возможно подключение к компьютеру через USB 2.0. Основные управляющие сенсорные клавиши вынесены за пределы экрана.

Официальным представителем компании **Thorlabs** (США) в РФ является компания «ЕвроЛэйз».



[www.eurolase.ru](http://www.eurolase.ru)  
**ЕВРОЛЭЙЗ**  
PHOTONICS

и  $c$  – скорость света в вакууме, т.е. порядка пространственной длины бита.

В соответствии с данным приближением, распространяющееся оптическое излучение в оптоволокне состоит в прямом направлении из потока  $N_b$  фотонов с энергией  $\hbar\omega$  и  $N_m$  фотонов каждого типа с энергиями  $\hbar(\omega - \Omega)$  и  $\hbar(\omega + \Omega)$ . Число фотонов несущей в потоке убывает с пройденным расстоянием  $x$ , так что

$$N_b = \frac{P_0}{\hbar\omega} \exp(-\alpha x),$$

а модулированных фотонов для каждой энергии

$$N_m = m^2 N_b / 2.$$

Кроме фотонов прямого потока, формирующих информационный оптический сигнал, в оптоволокне присутствуют обратнорассеянные фотоны, формирующие побочное оптическое излучение, с энергиями  $\hbar\omega$ ,  $\hbar(\omega - \Omega)$  и  $\hbar(\omega + \Omega)$ . Их число определяется рассеянием Рэлея, Ми, отражением Френеля и равно для несущей на расстоянии  $x$  от источника

$$N_{rb} = \alpha \Lambda N_b = \alpha \Lambda \frac{P_0}{\hbar\omega} \exp(-\alpha x).$$

Число модулированных фотонов для каждой энергии

$$N_{rm} = m^2 N_{rb} / 4,$$

где дополнительное уменьшение в два раза связано с симметричностью индикатрисы рассеяния.

Рассеянные от других удаленных участков оптоволокна фотоны не когерентны с информационным оптическим сигналом, поэтому их вклад в нелинейные процессы незначительны и их не учитываем. Длина когерентности информационного оптического сигнала при ширине спектра  $2\Omega$  равна

$$l_c = \frac{\Lambda}{\pi n} < \frac{\Lambda}{2},$$

т.е. длина когерентности  $l_c$  сигнала несколько меньше длины бита  $\Lambda/2$ , следовательно в когерентных процессах могут участвовать практически все фотоны бита информации.

Нелинейно-оптическая демодуляция информационного сигнала может происходить при любом взаимном направлении волновых векторов фото-

number is determined by the Rayleigh and Mie scattering, the Fresnel reflection, and is equal to the carrier at the distance from the source

$$N_{rb} = \alpha \Lambda N_b = \alpha \Lambda \frac{P_0}{\hbar\omega} \exp(-\alpha x).$$

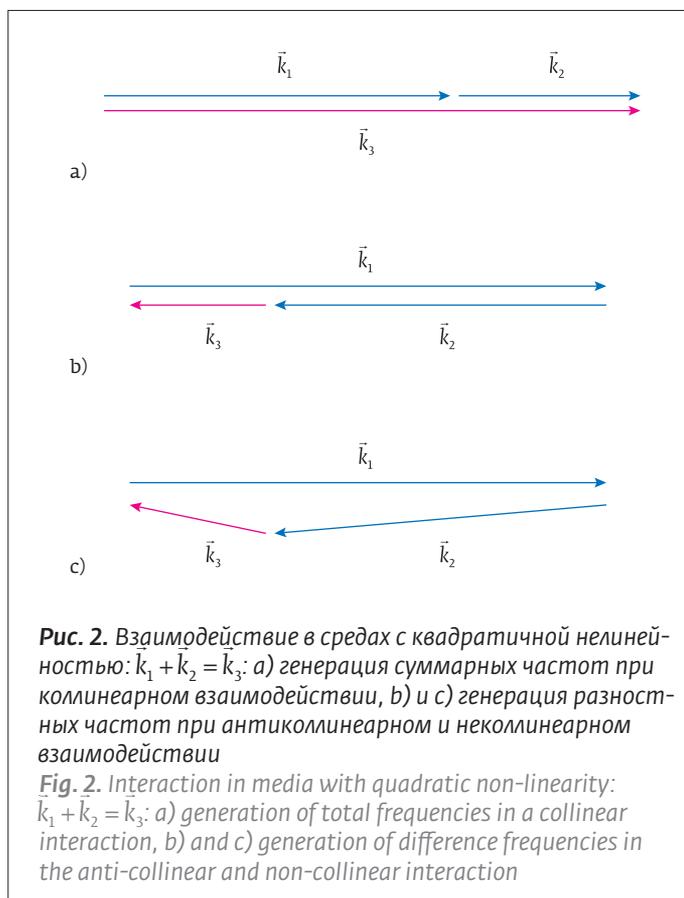
The number of modulated photons for each energy

$$N_{rm} = m^2 N_{rb} / 4,$$

where the additional decrease is two times due to the symmetry of the scattering indicatrix.

The photons scattered from other distant parts of the optical fibre are not coherent with the information optical signal; therefore, their contribution to non-linear processes is insignificant and is not taken into account. The coherence length of the information optical signal with a spectrum width of  $2\Omega$  is equal to

$$l_c = \frac{\Lambda}{\pi n} < \frac{\Lambda}{2},$$





нов [11-13] – коллинеарном, антиколлинеарном и неколлинеарном (рис. 2). При этом должны выполняться законы сохранения энергии  $\hbar\omega_1 + \hbar\omega_2 = \hbar\omega_3$  и импульса  $\hbar\vec{k}_1 + \hbar\vec{k}_2 = \hbar\vec{k}_3$ , которые трансформируются в соотношения для частот

- для коллинеарного взаимодействия

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 \text{ и } n_1\omega_1 + n_2\omega_2 = n_3\omega_3,$$

отсюда частота генерируемого излучения

$$\omega_3 = (n_1/n_3)\omega_1 + (n_2/n_3)\omega_2;$$

- для антиколлинеарного взаимодействия

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + w/\hbar \text{ и } n_1\omega_1 - n_2\omega_2 = n_3\omega_3,$$

где  $\omega$  – энергия поляризации вещества на нулевой частоте, отсюда частота генерируемого излучения

$$\omega_3 = (n_1/n_3)\omega_1 - (n_2/n_3)\omega_2;$$

- для неколлинеарного взаимодействия с углом  $\theta$  между волновыми векторами

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + w/\hbar$$

$$\text{и } (n_1\omega_1)^2 + (n_2\omega_2)^2 - 2n_1n_2\omega_1\omega_2 \cos\theta = (n_3\omega_3)^2$$

и для частоты генерируемого излучения

$$\omega_3 = \sqrt{(n_1/n_3)^2\omega_1^2 + (n_2/n_3)^2\omega_2^2 - 2(n_1n_2/n_3^2)\omega_2\omega_1 \cos\theta}.$$

При коллинеарном взаимодействии демодуляция возможна только при трехволновом смешении фотонов, вероятность которого ниже двухволнового взаимодействия. При антиколлинеарном и неколлинеарном взаимодействии в приближении близости частот  $\omega_1, \omega_2 \gg \omega_3$ , так как  $n_1 \approx n_2 = n$ ,  $n_3 \approx 1$  и малости угла  $\theta$ , получаем

$$\omega_3 = n(\omega_2 - \omega_1).$$

Разностная частота генерируемого излучения определяется типами фотонов, принимающих участие во взаимодействии. Она может принимать значения

$$\omega_3 = n\Omega; 2n\Omega,$$

где первая частота генерируется при взаимодействии фотонов частотой несущей  $\omega_1 = \omega$  и одной

i.e., the coherence length  $l_c$  of the signal is slightly less than the bit length  $\Lambda/2$ , therefore almost all photons of the information bit can participate in coherent processes.

Non-linear optical demodulation of the information signal can occur for any mutual direction of the wave vectors of photons [11-13] – collinear, anti-collinear and non-collinear (Fig. 2). In this case, the laws of conservation of energy  $\hbar\omega_1 + \hbar\omega_2 = \hbar\omega_3$  and momentum  $\hbar\vec{k}_1 + \hbar\vec{k}_2 = \hbar\vec{k}_3$ , which are transformed into relations for the frequencies

- for collinear interaction

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 \text{ and } n_1\omega_1 + n_2\omega_2 = n_3\omega_3,$$

hence the frequency of the generated radiation

$$\omega_3 = (n_1/n_3)\omega_1 + (n_2/n_3)\omega_2;$$

- for anti-collinear interaction

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + w/\hbar \text{ and } n_1\omega_1 - n_2\omega_2 = n_3\omega_3,$$

where  $\omega$  is the polarization energy of the substance at zero frequency, hence the frequency of the generated radiation

$$\omega_3 = (n_1/n_3)\omega_1 - (n_2/n_3)\omega_2;$$

- for non-collinear interaction with an angle  $\theta$  between the wave vectors

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + w/\hbar \text{ and}$$

$$(n_1\omega_1)^2 + (n_2\omega_2)^2 - 2n_1n_2\omega_1\omega_2 \cos\theta = (n_3\omega_3)^2,$$

and for the frequency of the generated radiation

$$\omega_3 = \sqrt{(n_1/n_3)^2\omega_1^2 + (n_2/n_3)^2\omega_2^2 - 2(n_1n_2/n_3^2)\omega_2\omega_1 \cos\theta}.$$

With collinear interaction, demodulation is possible only with three-wave mixing of photons, the probability of which is lower than two-wave interaction. With anti-collinear and noncollinear interactions, in the approximation of the proximity of frequencies  $\omega_1, \omega_2 \gg \omega_3$ , since  $n_1 \approx n_2 = n$ ,  $n_3 \approx 1$ , and the smallness of the angle  $\theta$ , we obtain

$$\omega_3 = n(\omega_2 - \omega_1).$$



из модулированных волн  $\omega_2 = \omega \pm \Omega$ , а удвоенная при взаимодействии модулированных волн  $\omega_1 = \omega - \Omega$  и  $\omega_2 = \omega + \Omega$  с противоположным направлением волновых векторов. Демодуляция приводит к генерации излучения на частоте  $\omega_3$ , которое относится к радиодиапазону, и для него диэлектрическое оптоволокно не является волноводом. Это излучение распространяется во все стороны от кабеля, формируя информативный паразитный электромагнитный сигнал.

Оценим мощность излучения на частоте  $\omega_3 = n\Omega$ . Исходя из приведенной модели генерации ПрЭМИ, максимальное значение ее мощности определяется условием нелинейно-оптического преобразования всех рассеянных волн как несущей, так и модулированной волны, т.е. включают процессы взаимодействия

- несущей в прямом направлении ( $N_b$  фотонов) и обратнорассеянной модулированной волны ( $2N_m = m^2 N_{rb} / 2$  фотонов);
- обратнорассеянной несущей ( $N_b$  фотонов) и модулированной волны в прямом направлении ( $2N_m = m^2 N_b$  фотонов)

Таким образом, определяемое по меньшему числу участвующих во взаимодействии фотонов общее максимально возможное число фотонов демодуляции равно

$$N_b + 2N_m = N_b(1 + m^2/2)$$

или для мощности информативного сигнала на частоте  $\Omega$

$$P_i = \alpha(c/\omega)(2 + m^2)P_0 \exp(-\alpha x).$$

Мощность информативного сигнала на входе ( $x=0$ ) для 100% глубины модуляции равна

$$P_{i0} = \alpha(c/\omega)(2 + m^2)P_0 = 7,3 \cdot 10^{-9} \text{ Вт},$$

которая происходит на частоте  $f=1$  ГГц от участка волокна длиной  $\Lambda/2=0,1$  м.

В случае регистрации информативного паразитного электромагнитного излучения от оптической неоднородности типа разъемного соединения с возвратными потерями порядка  $\beta=-40$  дБ, их мощность может достигать

$$P_i = \beta(f/v)(1 + m^2/2)P_0 \exp(-\alpha x)$$

и на входе составлять

$$P_{i0} = \beta(f/v)(1 + m^2/2)P_0 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}.$$

The differential frequency of the generated radiation is determined by the types of photons involved in the interaction, it can take values

$$\omega_3 = n\Omega; 2n\Omega,$$

where the first frequency is generated by the interaction of photons by the carrier frequency  $\omega_1 = \omega$  and one of the modulated waves  $\omega_2 = \omega \pm \Omega$ , and doubled by the interaction of the modulated waves  $\omega_1 = \omega - \Omega$  and  $\omega_2 = \omega + \Omega$  with the opposite direction of the wave vectors. Demodulation leads to the generation of radiation at a frequency  $\omega_3$  that belongs to the radio band and where the dielectric fibre is not a waveguide. This radiation propagates in all directions from the cable, forming an informative parasitic electromagnetic signal.

Let us estimate the radiation power at the frequency  $\omega_3 = n\Omega$ . Based on the present model of PEMR generation, the maximum value of its power is determined by the condition of non-linear optical transformation of all scattered waves of both carrier and modulated waves, i.e., it includes interaction processes

- carrier in the forward direction ( $N_b$  photons) and backscattered modulated wave ( $2N_m = m^2 N_{rb} / 2$  photons);
- backscattered carrier ( $N_b$  photons) and forward modulated wave ( $2N_m = m^2 N_b$  photons)

Thus, determined by the smaller number of photons participating in the interaction, the total maximum possible number of demodulation photons is

$$N_b + 2N_m = N_b(1 + m^2/2)$$

or for the power of the informative signal at the frequency  $\Omega$

$$P_i = \alpha(c/\omega)(2 + m^2)P_0 \exp(-\alpha x).$$

The power of the informative signal at the input ( $x=0$ ) for 100% modulation depth is equal to

$$P_{i0} = \alpha(c/\omega)(2 + m^2)P_0 = 7,3 \cdot 10^{-9} \text{ W},$$

which occurs at a frequency  $f=1$  GHz from a section of fibre with a length of  $\Lambda/2=0.1$  m.

In the case of registration of informative parasitic electromagnetic radiation from optical inhomogeneity such as a detachable connection with return losses of the order of  $\beta=-40$  dB, their power can reach

$$P_i = \beta(f/v)(1 + m^2/2)P_0 \exp(-\alpha x),$$

Полученные мощности информативных сигналов могут быть надежно приняты и декодированы общедоступными приемниками СВЧ сигнала.

Оценим оптимальное значение эффективной нелинейной восприимчивости  $\chi_{NL} = |\tilde{\chi}_{NL}|$  для преобразования типа  $\omega_1 \pm \omega_2 = \omega_3$ . Так как нелинейная поляризация на частоте  $\omega_3$

$$P_{NL} = \epsilon_0 \chi_{NL} E_1 E_2,$$

то её можно представить в виде связи падающих  $N_1$ ,  $N_2$  и генерируемых  $N_3$  потоков фотонов в виде

$$N_3 = \tau N_1 N_2,$$

где коэффициент  $\tau$ , имеющий размерность времени, определяется как

$$\tau = 2 \frac{n_1 n_2}{n_3} \frac{\hbar}{\epsilon_0 c} \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_3} \frac{\chi_{NL}^2}{\sigma},$$

где  $\sigma = \pi d^2/4$  – площадь сечения сердцевины.

Физический смысл коэффициента  $\tau$  связывается со временем полного преобразования фотонов, ограничиваемое предельным числом фотонов

and make at the input of

$$P_0 = \beta(f/v)(1+m^2/2)P_0 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ W.}$$

Received power of informative signals can be reliably received and decoded by public microwave receivers.

Let us estimate the optimal value of the effective non-linear susceptibility  $\chi_{NL} = |\tilde{\chi}_{NL}|$  for type transformation  $\omega_1 \pm \omega_2 = \omega_3$ . Since non-linear polarization at frequency  $\omega_3$

$$P_{NL} = \epsilon_0 \chi_{NL} E_1 E_2,$$

it can be represented as a connection between the incident  $N_1$ ,  $N_2$  and generated  $N_3$  photon fluxes in the form of

$$N_3 = \tau N_1 N_2,$$

where the coefficient  $\tau$ , having the dimension of time, is defined as

$$\tau = 2 \frac{n_1 n_2}{n_3} \frac{\hbar}{\epsilon_0 c} \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_3} \frac{\chi_{NL}^2}{\sigma},$$

# Фемтосекундные лазерные системы PHAROS

Для промышленных и научных приложений

20 Вт ♦ 2 мДж

190 фс – 10 пс

от одиночного импульса до 1 МГц

до 5<sup>ой</sup> гармоники



www.lightcon.com

 LIGHT CONVERSION

Дистрибьютор в РФ ООО «ПромЭнергоЛаб»  
107392, Москва, ул. Просторная, 7, Тел.: +7 (495) 221-12-08, 8 (800) 234-12-08  
E-mail: info@czl.ru, www.czl.ru



в потоке. Пусть в потоке фотонов выполняется условие  $N_1 \geq N_2 \geq N_3$ , т.е. поток  $N_1$  фотонов с энергией  $\hbar\omega_1$  превышает поток  $N_2$  фотонов с энергией  $\hbar\omega_2$ , тогда поток  $N_3$  генерируемых фотонов с энергией  $\hbar\omega_3$  не может превышать численно меньший поток фотонов, т.е.  $N_2$ . Максимально эффективное преобразование наблюдается, когда  $N_2 = N_3$ , т.е. когда все фотоны из меньшего существующего потока  $N_2$  преобразуются в формирующий поток  $N_3$ . В этом случае требуется, чтобы больший поток фотонов

$$N_1 = \tau^{-1}.$$

Отсюда можно найти оптимальное значение эффективной нелинейной восприимчивости

$$\chi_{NL} = \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_2} \frac{\sqrt{n_3 \epsilon_0 c / 2 n_1 n_2}}{\sqrt{N_1 \hbar \omega_1 / \sigma}}}$$

для полного преобразования всех фотонов. Таким образом, для 100% нелинейно-оптического преобразования требуется, чтобы значение эффективной нелинейной восприимчивости превышало некоторое критическое значение, которое зависит от интенсивности большего потока ( $N_1 \hbar \omega_1 / \sigma$ ) и соотношения  $\sqrt{\omega_3 / \omega_2}$  частот генерируемого и падающего фотонов. Зависимость от соотношения частот приводит к тому, что процесс генерации разностной частоты происходит при нелинейностях меньших на несколько порядков, чем для генерации второй гармоники.

Оценка оптимального значения эффективной нелинейной восприимчивости для генерации разностных частот в оптоволокне дает значение

$$\chi_{NL} \approx 10^{-8} \text{ м/В},$$

где принято: частоты взаимодействующих волн приблизительно равны частоте несущей  $\omega_1 \approx \omega_2 \approx \omega = 3,8 \cdot 10^{14}$  рад/сек, как и показатели преломления  $n_1 \approx n_2 \approx n = 1,46$ ; частота генерируемой волны равна частоте модуляции  $\omega_3 = \Omega = 2\pi \cdot 10^9$  рад/сек, а показатель преломления  $n_3 = 1$ ; интенсивность волны на частоте  $\omega_1$  равна интенсивности несущей в оптоволокне  $I_0 = N_1 \hbar \omega_1 / \sigma = 4P_0 / \pi d^2 = 1,27 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>.

Полученное значение вполне достижимо. В плавленом кварце линейная восприимчивость имеет величину порядка  $\chi_L^{(1)} \approx 1$ , квадратичная восприимчивость  $\chi_{NL}^{(2)} \approx 10^{-11} - 10^{-13}$  м/В, кубическая восприимчивость  $\chi_{NL}^{(3)} \approx 10^{-21} - 10^{-23}$  м<sup>2</sup>/В<sup>2</sup> [11-13]. Так как величина нелинейной восприимчивости в мате-

where  $\sigma = \pi d^2 / 4$  is the cross-sectional area of the core.

The physical meaning of the coefficient  $\tau$  is associated with the time of complete transformation of photons, limited by the limiting number of photons in the flux. Let the condition be satisfied in the  $N_1 \geq N_2 \geq N_3$  photon flux, i.e. the  $N_1$  flux of photons with energy  $\hbar\omega_1$  exceeds the  $N_2$  flux of photons with energy  $\hbar\omega_2$ , where the  $N_3$  flux of generated photons with energy  $\hbar\omega_3$  cannot exceed a numerically smaller flux of photons, i.e.  $N_2$ . The most effective transformation occurs when  $N_2 = N_3$ , i.e. when all photons from a smaller existing flux  $N_2$  are converted to a forming flux  $N_3$ . In this case, it is required that a greater photon flux

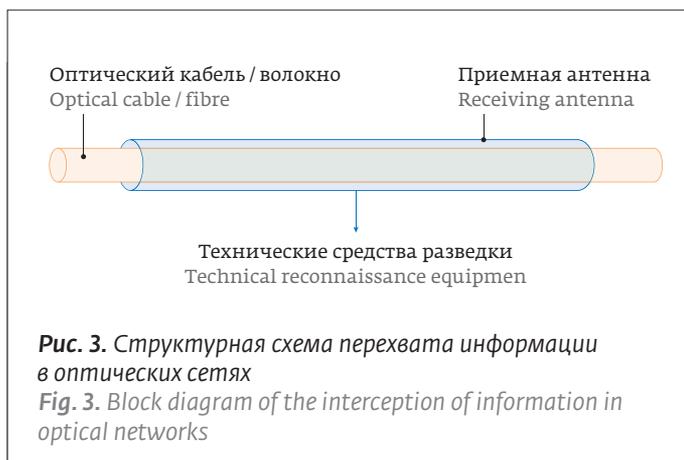
$$N_1 = \tau^{-1}.$$

From here you can find the optimal value of the effective non-linear susceptibility

$$\chi_{NL} = \sqrt{\frac{\omega_3}{\omega_2} \frac{\sqrt{n_3 \epsilon_0 c / 2 n_1 n_2}}{\sqrt{N_1 \hbar \omega_1 / \sigma}}}$$

for full transformation of all photons. Thus, for 100% non-linear optical transformation, it is required that the value of the effective non-linear susceptibility exceed a certain critical value, which depends on the intensity of the larger flux ( $N_1 \hbar \omega_1 / \sigma$ ) and the frequency ratio  $\sqrt{\omega_3 / \omega_2}$  of the generated and incident photons. The dependence on the ratio of frequencies leads to the fact that the process of generating the difference frequency occurs when the non-linearities are smaller by several orders of magnitude than to generate the second harmonic.

Estimation of the optimal value of the effective non-linear susceptibility for the generation of difference frequencies in optical fibre gives the value





риале бездефектного оптоволокна на 3 порядка меньше требуемой для 100% преобразования, следовательно коэффициент  $\tau$  меньше на 6 порядков критического значения, т. е. будет преобразовано только  $10^{-6}$  от максимально возможного числа фотонов. Мощности информативных паразитных электромагнитных излучений примут значения менее  $10^{-13}$  Вт, что регистрируется в непосредственной близости к источникам. В этом случае, для увеличения эффективности преобразования может быть использовано внешнее воздействие повышающее нелинейность среды.

**ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХВАТА И ЗАЩИТЫ В ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Реализация перехвата трафика в оптических сетях связана с выбором средств технической разведки, его оптимального расположения. Основной элемент – это приемная антенна, конструкция которой зависит от типа прокладки кабельной системы (подземная, подводная, воздушная), конструкции кабеля (диэлектрическими или металлическими защитными/несущими элементами), количества оптических волокон. Для цилиндрической информативной паразитной электромагнитной волны, расходящейся от кабеля, антенна может иметь вид

$$\chi_{NL} \approx 10^{-8} \text{ м/В,}$$

where it is assumed that the frequencies of the interacting waves are approximately equal to the carrier frequency  $\omega_1 \approx \omega_2 \approx \omega = 3,8\pi \cdot 10^{14} \text{ rad/s}$ , as well as the refractive indices  $n_1 \approx n_2 \approx n = 1,46$ ; the frequency of the generated wave is equal to the modulation frequency  $\omega_3 = \Omega = 2\pi \cdot 10^9 \text{ rad/s}$ , and the refractive index  $n_3 = 1$ ; the intensity of the wave at a frequency  $\omega_1$  is equal to the intensity of the carrier in the optical fibre  $I_0 = N_1 \hbar \omega_1 / \sigma = 4P_0 / \pi d^2 = 1,27 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ .

The resulting value is quite achievable. In fused quartz, the linear susceptibility has a magnitude of the order of  $\chi_L^{(1)} \approx 1$ , the quadratic susceptibility is  $\chi_{NL}^{(2)} \approx 10^{-11} - 10^{-13} \text{ м/V}$ , and the cubic susceptibility is  $\chi_{NL}^{(3)} \approx 10^{-21} - 10^{-23} \text{ м}^2/\text{V}^2$  [11-13]. Since the magnitude of the non-linear susceptibility in the material of the defect-free fibre is 3 orders of magnitude less than that required for 100% transformation, hence the coefficient is 6 orders of magnitude less than the critical value, i. e. only  $10^{-6}$  of the maximum possible number of photons will be converted. The power of informative parasitic electromagnetic radiation will take values less than  $10^{-13} \text{ W}$ , which is recorded in close proximity to the sources. In this case, to increase the transfor-



**ООО «Лазерные компоненты»** – российский поставщик комплектующих к оптоэлектронному, лазерному и тепловизионному оборудованию, а также готовых решений для построения комплексных систем безопасности.

На Международном военно-техническом форуме «Армия-2019» мы предлагаем:

**Модуль фотоприемного устройства**



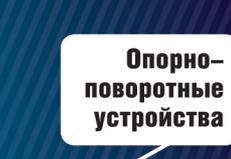
**Лазерные дальномеры**



**Охлаждаемый тепловизионный канал**



**Опорно-поворотные устройства**



**Оптика на заказ**



**Электромеханические мачты**



**Amoled микродисплеи**



**Стенд 2Е2-2**



Россия, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 1 стр 17  
+7 (495) 269-40-22  
www.lasercomponents.ru

**«Лазерные компоненты» – от мелких комплектующих к готовому изделию!**



проводящего пленочного или проволочного винтового цилиндра вокруг волокна длиной порядка длины бита  $\Lambda/2$ , сигнал с которой передается на усилитель и приемник (рис. 3).

Металлические защитные и несущие элементы кабеля могут ослаблять информативный электромагнитный сигнал, поэтому они выполняют функции первого защитного эшелона. На модуляционных частотах  $\Omega = 2\pi \cdot 10^9$  рад/сек глубина проникновения электромагнитного излучения порядка 2,5 мкм для железа с удельной проводимостью  $10^7$  Ом/м, что много меньше толщины защитных оболочек. Для его преодоления нарушителю необходимо разрушить защитные стальные оболочки кабеля и получить доступ к внутренним поверхностям металлических защитных оболочек, в этом случае сами внутренние поверхности могут выполнять функции антенн.

На мощность информативного сигнала оказывает влияние мощность информационного оптического сигнала (несущей), поэтому наиболее опасными являются участки оптической сети вблизи активных элементов, таких как передатчик/усилитель/ретранслятор, и менее опасными – участки на входе перед приемником/усилителем/ретранслятором. Из этих же соображений, наиболее опасными являются участки оптической сети с оптическими неоднородностями, такие как соединительные муфты (где размещаются соединенные сваркой оптоволокна), распределительные шкафы (где размещаются разъемные соединения волокон), а также любые другие участки волокна с повышенными локальными потерями.

Увеличить мощность информативного сигнала можно, увеличив оптическую нелинейность в волокне путем внешнего воздействия постоянным электрическим, магнитным полями либо механическим воздействием. Величина воздействия может быть определена опытным путем или теоретически по физическим характеристикам оптического волокна, но в любом случае дополнительное воздействие повышает мощность информативных паразитных электромагнитных излучений, так как увеличивает не только оптическую нелинейность, но и увеличивает локальные потери в оптоволокне.

Противодействие угрозам перехвата можно осуществить многими способами. Например, путем подачи в оболочку когерентного шумового сигнала на частотах, отличных от информационного, но с шириной полосы, близкой к ширине полосы информационного сигнала. То же самое можно применить при мультиплексировании информа-

tion efficiency, an external effect can be used to increase the non-linearity of the medium.

### FEATURES OF INTERCEPTION AND PROTECTION IN OPTICAL NETWORKS

The implementation of traffic interception in optical networks is associated with the choice of technical reconnaissance equipment, its optimal location. The main element is a receiving antenna, the design of which depends on the type of cable system installation (underground, underwater, air), cable design (dielectric or metal protective/carrying elements), the number of optical fibres. For a cylindrical informative parasitic electromagnetic wave radiating from a cable, the antenna can be in the form of a conductive film or wire screw cylinder around a fibre of the order of the  $\Lambda/2$  bit length, the signal from which is transmitted to the amplifier and receiver (Fig.3).

Metallic protective and supporting cable elements can weaken the informative electromagnetic signal, so they perform the functions of the first protective echelon. At modulation  $\Omega = 2\pi \cdot 10^9$  rad/s, the penetration depth of electromagnetic radiation is about 2.5  $\mu\text{m}$  for iron with a specific conductivity of  $10^7$  Ohm/m, which is much less than the thickness of protective shells. To overcome it, the intruder must destroy the protective steel cable sheaths and gain access to the internal surfaces of the metal protective sheaths, in which case the internal surfaces themselves can act as antennas.

The power of the informative signal is influenced by the power of the information optical signal (carrier); therefore, the most dangerous are sections of the optical network near active elements, such as a transmitter/amplifier/repeater, and less dangerous – sections at the input in front of the receiver/amplifier/repeater. Of these considerations, the most dangerous are the parts of the optical network with optical inhomogeneities, such as couplings, where welded fibres are placed; distribution cabinets where fibre detachable joints are placed; as well as any other fibre areas with increased local losses.

The power of the informative signal can be increased by increasing the optical non-linearity in the fibre by external influence by constant electric, magnetic fields, or mechanical action. The magnitude of the impact can be determined experimentally or theoretically by the physical characteristics of the optical fibre, but in any case, the additional effect increases the power of informative parasitic electromagnetic radiation, as it increases not only the optical non-linearity, but also increases the local loss in the optical fibre.

ционного и шумового сигналов непосредственно в сердцевине. В этом случае информативный паразитный электромагнитный сигнал, генерируемый от информационного сигнала, будет зашумлен паразитным электромагнитным излучением от шумового сигнала.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретический анализ нелинейно-оптических процессов с информационным оптическим сигналом в оптических волокнах сетей связи показывает возможность генерации информационных паразитных электромагнитных сигналов, которые могут быть использованы для дистанционного (т. е. без разрушения защитных оболочек оптического кабеля) перехвата трафика в оптических сетях. Эффективность перехвата определяется расположением средств технической разведки относительно активных элементов, близостью размещения приемной антенны к оптоволокну, внешним воздействием на оптоволокно для увеличения его нелинейной восприимчивости. Выявленные особенности перехвата позволяют сформулировать требования к средствам технической защиты трафика, такие как использование шумового сигнала и другие.

Countering threats of interception can be accomplished in many ways. For example, by feeding a coherent noise signal into the shell at frequencies other than the information one, but with a bandwidth close to the bandwidth of the information signal, the same can be applied when multiplexing the information and noise signals directly in the core. In this case, the informative parasitic electromagnetic signal generated from the information signal will be noised by the parasitic electromagnetic radiation from the noise signals.

### CONCLUSION

A theoretical analysis of non-linear optical processes with an information optical signal in optical fibres of communication networks shows the possibility of generating information parasitic electromagnetic signals that can be used for remote (i. e., without destroying the protective shells of an optical cable) to intercept traffic in optical networks. The effectiveness of interception is determined by the location of technical intelligence relative to the active elements, the proximity of the receiving antenna to the optical fibre, external influence on the optical fibre to increase its non-linear susceptibility. The revealed features of interception allow us to formulate requirements for means of technical protection of traffic, such as the use of a noise signal, etc.

## ЭССЕНТОПТИКС (||) ESSENTOPTICS

### LINZA 150

**Первый в мире спектрофотометр для измерения пропускания и отражения линз и объективов**



**Спектрофотометр LINZA 150**  
Новая функция: измерение пропускания и отражения от асферических поверхностей

LINZA 150 Spectrophotometer  
New feature: transmittance and reflectance measurement of aspheric lens

ООО «ЭссентОптикс»

23а-81, ул. 40 лет Победы, Боровляны, Минская обл., Минский р-н, 223053 Беларусь  
Тел.: +375-17-5112025 | Факс: +375-17-5112026 | [www.essentoptics.com](http://www.essentoptics.com)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дианов Е. М.** Волоконная оптика: сорок лет спустя. *Квантовая электроника*. 2010; 40(1):1–6.
2. **Diyanov E. M.** Volokonnaja optika: sorok let spustja. *Kvantovaja jelektronika*. 2010; 40(1):1–6.
3. **Дмитриева С. А. и Слепова Н. Н.** – М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. *Voloknonno-opticheskaia tehnika: covremennoe sostojanie i perspektivy / Sb. statej pod red. Dmitrieva S. A. i Slepova N. N.* – М.: ООО «Voloknonno-opticheskaia tehnika», 2005.
4. **Скляров О. К.** Волоконно-оптические сети и системы связи. – СПб.: Изд-во «Лань», 2010. *Sklyarov O. K. Voloknonno-opticheskie seti i sistemy svyazi.* – SPb.: Izd-vo Lan', 2010.
5. **Шубин В. В.** Информационная безопасность волоконно-оптических систем. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015. *Shubin V. V. Informacionnaja bezopasnost' voloknonno-opticheskikh sistem.* – Sarov: RFJaC-VNIIEF, 2015.
6. **Корольков А. В., Кращенко И. А., Матюхин В. Г., Синева С. Г.** Проблемы защиты информации, передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи, от несанкционированного доступа. *Информационное общество*. 1997; 1: 74–77. **Korolkov A. V., Krashhenko I. A., Matjuhina V. G., Sineva S. G.** Problemy zashchity informacii, predavaemoj po voloknonno-opticheskim linijam svyazi, ot nesankcionirovanogo dostupa. *Informacionnoe obshchestvo*. 1997; 1: 74–77.
7. **Гришачев В. В., Кабашкин В. Н., Фролов А. Д.** Анализ каналов утечки информации в волоконно-оптических линиях связи: нарушение полного внутреннего отражения. *Информационное противодействие угрозам терроризма*. 2005; 4:194–204. **Grishachev V. V., Kabashkin V. N., Frolov A. D.** Analiz kanalov utechki informacii v voloknonno-opticheskikh linijah svyazi: narushenie polnogo vnutrennego otrazhenija. *Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma*. 2005; 4:194–204.
8. **Боос А. В., Шухардин О. Н.** Анализ проблем обеспечения безопасности информации, передаваемой по оптическим каналам связи, и путей их решения. *Информационное противодействие угрозам терроризма*. 2005; 5: 162–170.
9. **Boos A. V., Shuhardin O. N.** Analiz problem obespechenija bezopasnosti informacii, peredavaemoj po opticheskim kanalam svyazi, i putej ih reshenija. *Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma*. 2005; 5: 162–170.
10. **Свинцов А. Г.** Оптимизация параметров оптического рефлектометра для обнаружения неоднородности при попытке несанкционированного доступа в ВОСП. *Фотон-Экспресс*. 2006; 6(54):56–71.
11. **Svincov A. G.** Optimizacija parametrov opticheskogo reflektometra dlja obnaruzhenija neodnorodnosti pri popytke nesankcionirovanogo dostupa v VOСП. *Foton-Jekspress*. 2006; 6(54):56–71.
12. **Булавкин И. А.** Вопросы информационной безопасности сетей PON. *Технологии и средства связи*. 2006; 2: 104–108.
13. **Bulavkin I. A.** Voprosy informacionnoj bezopasnosti setej PON. *Tehnologii i sredstva svyazi*. 2006; 2: 104–108.
14. **Глуценко А., Глуценко Л., Тупота В.** Оценка защищенности информации, циркулирующей в ВОЛП. *Фотоника*, 2010; 4: 36–42.
15. **Glushhenko A., Glushhenko L., Tupota V.** Ocenka zashchishhennosti informacii, cirkulirujushhej v VOLP. *Fotonika*, 2010; 4: 36–42.
16. **Шен И. Р.** Принципы нелинейной оптики. – М.: Наука, 1989.
17. **Shen I. R.** *Principy nelinejnoj optiki.* – М.: Nauka, 1989.
18. **Агровал Г. П.** Нелинейная волоконная оптика. Перев. с англ. – М.: Мир, 1996.
19. **Agroval G. P.** *Nelinejnaja volokonnaja optika.* Perv. s angl. – М.: Mir, 1996.
20. **Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В.** Прикладная нелинейная оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
21. **Dmitrijev V. G., Tarasov L. V.** *Prikladnaja nelinejnaja optika.* – М.: FIZMATLIT, 2004.

## Закон о кибербезопасности ЕС со схемой сертификации продуктов, процессов и услуг

В середине марта 2019 года депутаты Европарламента приняли Закон о кибербезопасности ЕС, в котором была установлена первая схема сертификации продуктов, процессов и услуг, продаваемых на территории ЕС, на соответствие стандартам кибербезопасности. Документ уже неофициально согласован с государствами в составе ЕС. Далее Закон о кибербезопасности должен быть официально утвержден Европейским советом и через 20 дней после опубликования вступит в силу.

Предполагается, что на первом этапе предложенная схема сертификации будет добровольной, а решение о том, станет ли она обязательной к исполнению, Европейская комиссия должна будет принять к 2023 году. На основе Закона о кибербезопасности ЕС будет осуществляться сертификация подключенных устройств. В документе подчеркивается важность сертификации критически важной инфраструктуры, включая системы водо- и энергоснабжения, а также банковские системы. Закон расширяет сферу полномочий Европейского агентства по сетевой и информационной безопасности. Цель принятия Закона – обеспечить Евросоюзу возможность в долгосрочной перспективе противодействовать угрозам безопасности на фоне развития цифровых технологий. Развитие законодательной базы позволит ЕС занять достойное место на мировом

рынке кибербезопасности. Здесь особенно важно добиться доверия к применяемым IT-решениям на уровне как отдельных потребителей, так и целых отраслей.

Кроме того, Европарламент принял резолюцию, призванную обеспечить защиту от угроз, связанных с растущим технологическим присутствием Китая на территории ЕС. Прежде всего, речь идет об использовании продукции китайских производителей при создании инфраструктуры 5G. Дело в том, что оборудование 5G может обладать встроенными инструментами для обхода протоколов защиты, что позволит Китаю получить несанкционированный доступ к системам телекоммуникаций на территории ЕС и личным данным граждан. Китайские законы о государственной безопасности, обязывающие частные компании сотрудничать с правительством, в том числе и за пределами страны, представляют угрозу для кибербезопасности ЕС.

На сегодняшний день политика КНР уже вызвала ряд запретов на использование произведенных китайскими фирмами приборов и устройств со стороны различных государств мира. Депутаты Европарламента призывают Европейскую комиссию и государства в составе ЕС разработать руководство по борьбе с киберугрозами и уязвимостями, связанными с закупкой

оборудования 5G. Возможные пути преодоления проблемы – диверсификация закупок за счет взаимодействия с различными поставщиками, внедрение многофазного процесса закупок, разработка стратегии по снижению зависимости Европы от иностранных технологий в сфере кибербезопасности. Также депутаты Европарламента призывают Европейскую комиссию поручить Европейскому агентству по сетевой и информационной безопасности как экспертному центру в сфере кибербезопасности разработать схему сертификации, которая обеспечит соответствие инфраструктуры 5G, создаваемой на территории ЕС, самым высоким стандартам безопасности. Подготовленная резолюция по вопросам присутствия китайских IT-решений на территории ЕС будет направлена для дальнейшей работы представителям Европейской комиссии и государств в составе ЕС.

*Публикуется с разрешения издателя «Зарубежная электронная техника», вып. 8 (6682) от 18.04.2019 11*

*(По материалам MEPs Adopt Cybersecurity Act and Want EU to Counter IT Threat from China. European Parliament News, March 20, 2019: <http://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20190307IPR30694/meps-adopt-cybersecurity-act-and-want-eu-to-counter-it-threat-from-china>)*

МОСКВА, ВДНХ, ПАВИЛЬОН №75

22-25 ОКТЯБРЯ 2019

XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

# INTERPOLITEX



СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА



[WWW.INTERPOLITEX.RU](http://WWW.INTERPOLITEX.RU)

ОРГАНИЗАТОРЫ



МВД РОССИИ



ФСБ РОССИИ



РОСГВАРДИЯ

ОРГАНИЗАТОР  
ВЫСТАВКИ «ГРАНИЦА»



ПС ФСБ РОССИИ

ЭКСПОНЕНТ-КООРДИНАТОР  
ОТ МВД РОССИИ



ФКУ «НПО «СТИС»  
МВД РОССИИ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
УСТРОИТЕЛЬ



ЗАО «ОВК «БИЗОН»