

## Оценка влияния параметрических процессов в оптических волокнах на распространение волн (секция «Информационные радиотехнологии»)

*В. А. Таболич*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск,  
Республика Беларусь

Описаны особенности и приведены примеры расчета параметрических и нелинейных процессов в оптическом волокне длиной 3.3 метра, работающее на длине волны 1.55 мкм. Показано, что при интенсивности в 1.7 Вт происходят незначительные изменения показателя преломления оптоволокна, при этом большой вклад будут вносить параметрические процессы или физическое разрушение оптоволокон. Выявлен характер нелинейных искажений при различных условиях передачи информации.

**Ключевые слова:** Оптическое волокно, нелинейная оптика, параметрические процессы.

### Введение

Нелинейные эффекты в волоконной оптике подобны нелинейным эффектам в других физических системах (механических или электронных). Они порождают генерацию паразитных гармоник на частотах равных сумме или разности основных частот системы. Эти дополнительные сигналы приводят к непредсказуемым явлениям потерь в оптических сетях связи. Сама по себе нелинейность не является технологическим дефектом при производстве или неправильной эксплуатации линии связи. Это неотъемлемое свойство материальной среды при распространении в ней любой электромагнитной энергии.

С повышением интенсивности возникают нелинейные эффекты, заключающиеся в том, что световой сигнал (волна или импульс) вызывает изменение характеристик волокна, по которому он распространяется, а это, в свою очередь, уже приводит к весьма существенному изменению условий распространения самого сигнала. Таким образом, возникает воздействие светового сигнала на самого себя через изменение характеристик волокна. Очевидно, возможны и перекрестные взаимодействия, если в волокне одновременно распространяются два или более сигналов [1].

В качестве исследуемой модели для рассмотрения был взят рамановский ВКР-лазер, работающий на длине волны 1,55 мкм, с ограниченной площадью накачки (до ~20...35 мкм), при длине волокна порядка 3,3 м, с эффективной нелинейностью  $\gamma=31$  Вт-1км-1 одинаково увеличивая все геометрические размеры, можно значительно увеличить эффективную площадь поперечного сечения моды и передавать по волокну значительно большую мощность без появления нелинейных эффектов [2].

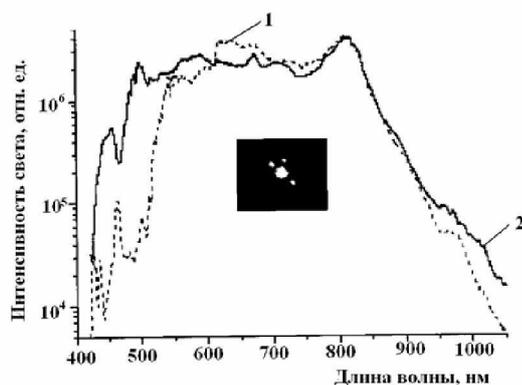


Рис. 1. Спектры вторичного излучения, генерируемые в микроструктурированном ОВ с одним циклом отверстий при накачке титан-сапфировым лазером при мощности, где 1 – 2 нДж, 2 – 3 нДж

Из спектра вторичного излучения, генерируемые в микроструктурированном ОВ с одним циклом отверстий при накачке титан сапфировым лазером при мощности видно, что при накачке 20...35 мкВт интенсивность уже получится параметрическое взаимодействие [3].

Из рисунка 1 видно, что при накачке 20...35 мкВт интенсивность уже получится параметрическое взаимодействие.

Для расчета необходимо привести все значения в единицы СИ:

$$\begin{aligned} 2 \text{ нДж} &= 2 \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \\ (35)^2 \text{ мкВт} &= 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ Вт} \\ P &= \frac{2 \cdot 10^{-9}}{1,2 \cdot 10^{-9}} = 1,7 \text{ Вт} \quad (1) \end{aligned}$$

То есть при интенсивностях порядка Вт идут параметрические процессы в оптическом волокне.

При мощности свыше 1 Вт повреждение значительно более вероятно, однако было показано, что повреждения могут происходить и при мощностях до 200 мВт, это следует из проведенных международной электротехнической комиссии (МЭК) исследований. Оценим изменение показателя преломления при значении 1,7 Вт, аналогичном случаю параметрического рассеяния.

Расчет изменения показателя преломления для  $n$  от интенсивности при равномерном распределении интенсивности по сечению оптического волокна в 50 мкм:

$$\begin{aligned} n &= 1,479 + 10^{-16} \frac{\text{см}^2}{\text{Вт}} \cdot I \quad (2) \\ n &= 1,479 + 10^{-16} \cdot \frac{1,7}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 1,479 + 0,7 \cdot 10^{-11} \end{aligned}$$

Исходя из полученных результатов показано, что при интенсивности в 1,7 Вт происходят незначительные изменения показателя преломления. При данных интенсивностях больший вклад вносят параметрические процессы или физическое разрушение оптоволокна [4]. Вместе с тем, если в кварцевом стекле присутствуют примеси, то нелинейная часть показателя преломления может увеличиваться на 6-7 порядков, и составлять  $0,7 \cdot 10^{-4}$ , что уже приводит к существенному для структуры оптического волокна изменению показателя преломления.

### Список источников

- [1] Высокоскоростное оптическое волокно будущего / URL: <http://www.ichip.ru>
- [2] **Аппельт, В.Э.** Трансформация поля в многомодовом оптическом волноводе со случайными нерегулярностями поверхности пленки / В.Э. Аппельт, А.С. Задорин, Р.С. Круглов — М.: Оптика и спектроскопия, 2005. — 645 с.
- [3] **Андреев, В.А.** Моделирование межмодовых связей при прогнозах вероятностей ошибок маломодовых линий передачи / В.А. Андреев, А.В. Бурдин, М.В. Дашков — М.: Вычислительные технологии, 2018. — 4 с.
- [4] Волоконно оптические линии связи / URL: <http://izmer-ls.ru>

## Estimation of process parameters in optical fibers during wave propagation (section "Information radio technologies")

*S. Y. Mikhnevich, V. A. Tabolich*

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

### Annotation

The features are described and examples of calculation of parametric and nonlinear processes in an optical fiber 3.3 meters long operating at a wavelength of 1.55 microns are given. It is shown that at an intensity of 1.7 W, minor changes in the refractive index of the optical fiber occur, while a large contribution will be made by parametric processes or physical destruction of the optical fibers. The nature of nonlinear distortions under various conditions of information transmission has been revealed.

**Keywords:** Optical fiber, nonlinear optics, parametric processes