

Влияние температуры на вероятность ошибки в протяженных оптоволоконных информационных системах

А. В. Поляков, К. М. Гуралюк

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: polyakov@bsu.by*

Проведены исследования влияния изменяющихся температурных условий на вероятность ошибки (BER) в протяженных волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС). Выявлено наличие минимума в зависимости BER от температуры. Установлены параметры ВОЛС, обеспечивающие требуемое значение $BER < 10^{-9}$ для диапазона температур 270–315 К.

Ключевые слова: волоконно-оптическая линия связи; вероятность ошибки; температура.

Temperature influence on the error probability in extended fiber optical information systems

A. V. Polyakov, K. M. Guraliuk

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: polyakov@bsu.by

Studies of the influence of changing temperature conditions on the bit error rate (BER) in long fiber-optic communication lines (FOCL) have been conducted. The presence of a minimum in the dependence of BER on temperature was revealed. Fiber optic lines parameters that provide the required value of $BER < 10^{-9}$ for the temperature range of 270–315 K have been established.

Keywords: fiber optic communication line; bit error rate; temperature.

Введение

В настоящее время, по оценкам специалистов, 95–98 % информации в мире передается по наземным системам передачи данных. Доминирующие позиции по дальности, скорости и объему передаваемой информации занимают протяженные быстродействующие волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Волоконные световоды благодаря своим уникальным свойствам нашли широкое применение в современных системах автоматического контроля и управления объектами, процессами и производством. Они обладают высокой пропускной способностью, защищены от электромагнитных помех и устойчивы к воздействию агрессивных сред. Такие свойства делают их незаменимыми в различных областях, где требуется быстрая и надежная передача данных на большие расстояния. Основными факторами, ограничивающими длину секций ВОЛС, выступают потери мощности излучения и дисперсия оптических импульсов. Кроме того, еще одним фактором, который должен учитываться при проектировании ВОЛС, является обеспечение требуемой вероятности ошибки (BER) на входе порогового решающего устройства. Обычно величину BER определяют при комнатной температуре, однако, в процессе эксплуатации ВОЛС температурные условия приемного блока могут изменяться. В связи с этим возникает необходимость исследования влияния температуры на вероятность ошибки.

1. Структура ВОЛС

Для анализа выбрана наиболее часто встречающаяся для магистральных высокоскоростных ВОЛС архитектура типа «точка-точка» со спектральным мультиплексированием информационных каналов [1, 2] (рис. 1). В качестве волоконного световода использовалось кварцевое одномодовое оптоволокно с ненулевой смещенной дисперсией с коэффициентом хроматической дисперсии 2 пс/нм·км и оптическими потерями 0,22 дБ/км. Рабочий диапазон длин волн составлял 1530–1565 нм, скорость передачи информации 10 Гбит/с на один информационный канал, формат модуляции – амплитудный с возвращением к нулю (RZ). Для увеличения объема передаваемой информации использовалась технология плотного спектрального уплотнения информационных каналов. Для восстановления амплитуды оптических сигналов применялись волоконные эрбиевые усилители, при этом коэффициент усиления обеспечивал компенсацию потерь мощности излучения в волокне на регенерационном участке. Таким образом, в ВОЛС осуществлялась так называемая 1R-регенерация (re-amplifying).

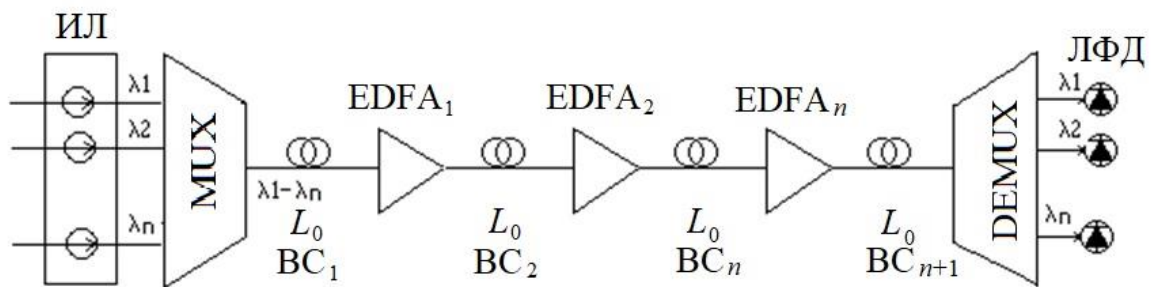


Рис. 1. Схема ВОЛС типа «точка-точка»

2. Результаты численного моделирования

Разработана математическая модель, описывающая зависимость вероятности ошибки от температуры, при этом величина BER определялась отношением сигнал-шум на входе решающего устройства. В модели учитывается температурная зависимость коэффициента лавинного умножения, темнового тока, ширины запрещенной зоны ЛФД, а также тепловые шумы нагрузочного сопротивления и потери мощности излучения при наличии межсимвольных помех, обусловленных хроматической и поляризационной модовой дисперсией. С помощью моделирования выявили наличие минимума BER в зависимости от температуры (рис. 2).

Кроме уже рассмотренных источников температурной зависимости BER, проведены исследования влияния на величину ошибки зависимости спектральной чувствительности ЛФД S_λ от температуры, учитывающие температурную зависимость области пространственного заряда, концентрации собственных носителей, ширины запрещенной зоны, граничного значения фотоионизации, коэффициента поглощения [3]. Из графиков на рис. 2 следует, что в этом случае минимум BER смещается в сторону комнатных температур и по сравнению со случаем постоянной S_λ величина BER увеличивается для температур ниже комнатных и уменьшается для температур выше комнатных.

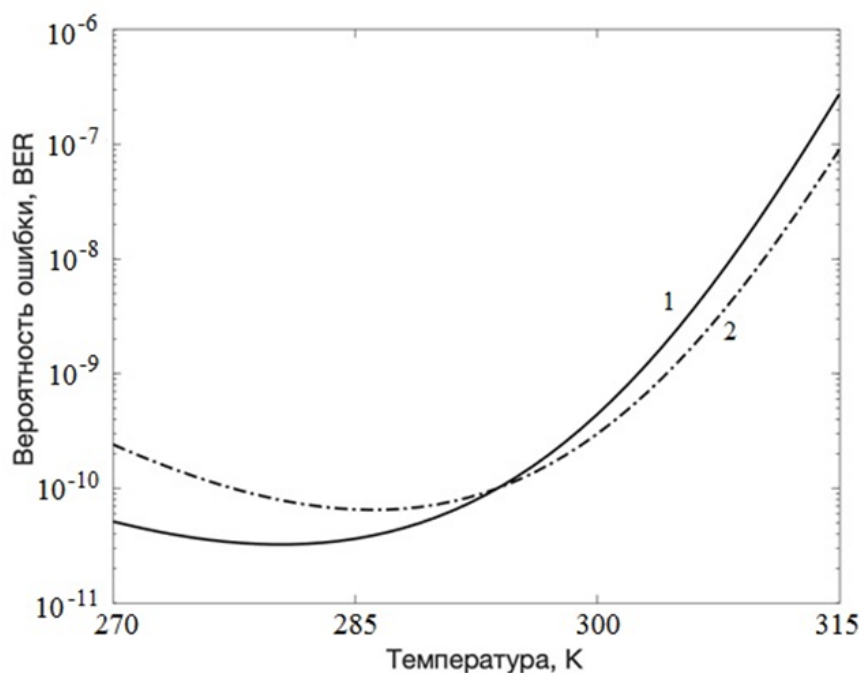


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки ВОЛС от температуры
1 – постоянное значение S_λ ЛФД; 2 – зависимость S_λ ЛФД от температуры

Заключение

Из результатов численного моделирования следует, что для того, чтобы величина BER не превышала 10^{-9} во всем температурном диапазоне от 270 K до 315 K, необходимо обеспечить мощность излучения лазера не менее 5,4 мВт, длина одной регенерационной секции не должна превышать 90 км, а число таких секций не превышает 6 штук при условии, что коэффициент усиления волоконного эрбиевого усилителя компенсирует погонные потери мощности излучения в волоконной секции.

Учет температурной зависимости спектральной чувствительности ЛФД показал, что в этом случае минимальное значение BER смещается в сторону комнатных температур и минимальная требуемая мощность излучения на входе системы уменьшается на 8–10 % до 5 мВт при выполнении условия $BER < 10^{-9}$ для всего диапазона исследуемых температур.

Библиографические ссылки

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М: Техносфера, 2006.
2. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. М.: Эко-Трендз, 2001.
3. Polyakov A. V. Temperature dependent spectral systematic error in optical measuring systems. // Physics Journal. 2015. Vol. 1. iss. 3. P. 194–199.