

Влияние элементов WDM-систем на качественные показатели каналов

В. П. Глушко¹, В. В. Шмытинский²

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

¹valentin.glushko@mail.ru, ²victor.v.s@mail.ru

Аннотация. The influence of the choice of parameters of WDM equipment (signal power of the radiation source, signal transmission rate, type of linear signal code), as well as the "equivalent fiber length" of the dispersion compensator installed on the fiber-optic line, on the quality of organized communication channels is considered.

Ключевые слова: network of electrical communication; railway transport; WDM-equipment of transmission systems; quality of telecommunication channels

На сети связи железнодорожного транспорта ведутся работы по внедрению волоконно-оптических систем передачи технологии мультиплексирования с разделением по длине волны (wavelength-division multiplexing – WDM), которые позволяют существенно увеличить пропускную способность линий передачи для организации широкополосных мультисервисных сетей [1, 2]. При этом на железных дорогах различных регионов проектируются и вводятся в эксплуатацию участки сети с системами WDM разных производителей оборудования. Технические данные и параметры используемой аппаратуры WDM могут в определенной степени отличаться. Кроме того, длины усилительных и регенерационных участков на конкретной железнодорожной магистрали могут изменяться в значительных пределах, так как они зависят от размещения пунктов ввода и вывода каналов. Каждый из организованных ранее по отдельным волокнам тракт оборудования синхронной цифровой иерархии (СЦИ) магистральных и региональных сетей связи переносится на одну из стандартных длин волн спектра WDM-систем. Поэтому возникает необходимость оценки влияния параметров трактов, реализованных в конкретной аппаратуре технологии WDM на качественные показатели каналов передачи данных, организуемых на рассматриваемом участке сети.

Для решения указанной задачи могут быть использованы методика и программа [3], позволяющие определить параметры сигналов в заданных точках WDM-систем и показатели, которые характеризуют качество связи (Q – фактор и коэффициент ошибок по битам BER). При этом имеется возможность реализации различных значений мощности сигнала источника излучения, скорости передачи сигналов, типа кода линейного сигнала оборудования WDM, а также длины волоконно-оптической линии связи и «эквивалентной длины волокна» компенсатора дисперсии, устанавливаемого в случае необходимости.

На магистральной сети ОАО «РЖД» используется аппаратура плотного (Dense) спектрального уплотнения DWDM, позволяющая организовать 40–80 оптических каналов с пропускной способностью 10 Гбит/с каждый [4]. Применение оптических усилителей (EDFA) дает возможность увеличить длину мультиплексорной секции до нескольких сотен километров. На дорожной и региональной сетях устанавливается аппаратура разреженного (Coarse) спектрального уплотнения CWDM с количеством оптических каналов до 18 и пропускной способностью 2,5–10 Гбит/с.

Значения Q -фактора при амплитудной модуляции и оптимальном пороге принятия решения в регенераторе удобно определять по «глаз-диаграмме» из соотношения [3, 5]:

$$Q = \frac{(I_1 - I_0)}{(\sigma_1 + \sigma_0)},$$

где I_1 – среднее значение тока фотодиода при приеме логической «1»; I_0 – среднее значение тока фотодиода при приеме логического «0»; σ_0 и σ_1 – среднеквадратичные значения шумовых токов при приеме логических «1» и «0».

Чтобы качество связи было высоким, параметр Q -фактор должен превышать величину 7 ($Q > 7$). При этом коэффициент ошибок по битам на одном регенерационном участке не должен превышать значения $BER < (1 \times 10^{-12})$.

Проведенные расчеты показывают, что при переходе на магистраль длиной 80 км и уровне входной мощности сигнала 10 дБм от скорости передачи 2,5 Гбит/с к 10 Гбит/с при использовании линейного кода без возвращения к нулю (NRZ) Q -фактор снизится до величины 2,51, т. е. будет значительно меньше 7. При этом коэффициент ошибок по битам будет равен $4,3 \times 10^{-3}$.

Увеличение уровня входной мощности сигнала до значения 20 дБм при том же линейном коде приведет к незначительному увеличению параметра Q -фактора до значения 2,75, а коэффициент ошибок по битам составит $2,7 \times 10^{-3}$. Таким образом, увеличение уровня входной мощности сигнала при неизменной длине участка не является эффективным средством обеспечения требуемого качества ($Q > 7$).

Рассмотрим вариант установки в WDM-системах компенсаторов дисперсии [6]. Как показывают расчеты,

при включении компенсатора дисперсии с «эквивалентной длиной волокна», равной 8 км, на магистрали той же длины 80 км в случае перехода от скорости передачи 2,5 Гбит/с к 10 Гбит/с при уровне входной мощности сигнала 10 дБм с использованием линейного кода NRZ, Q-фактор значительно возрастает и достигает величины 31,4. Это подтверждает вывод, что включение компенсатора дисперсии при указанной длине участка является эффективным средством, обеспечивающим достижение высокого качества принимаемых сигналов в WDM-системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шмытинский В.В., Глушко В.П. Многоканальная связь на железнодорожном транспорте: Учебное пособие для специалистов. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. 464 с.
- [2] Старков М.В., Скурят С.В., Меккель А.М. Модернизация технологической сети связи // Автоматика, связь, информатика. 2015. №11. С. 2-6.
- [3] Богданова Е.Г., Былина М.С., Глаголев С.Ф. Оптические системы передачи. Исследование эффективности форматов модуляции оптического излучения в высокоскоростных волоконно-оптических системах связи. СПб.: Изд. «Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», 2016. 37 с.
- [4] Шмытинский В.В., Глушко В.П. Многоканальная связь: от специализации к универсализации // Автоматика, связь, информатика. 2019. №10. С. 26-28.
- [5] Листвин В.Н., Трешиков В.Н. DWDM-системы. М.: Изд. «Техносфера», 2017. 352 с.
- [6] Канаев А.К., Виноградов В.В., Тукмачев В.В. Волоконно-оптические линии связи. СПб.: Изд. «Стратегия будущего», 2016. 107 с.