

Особенности ВОСП на кабельных линиях железнодорожного транспорта

В. П. Глушко, В. В. Шмыгинский

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

e-mail: valentin.glushko@mail.ru, victor.v.s@mail.ru

Аннотация. При проектировании высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВЖМ) для обеспечения надежного и бесперебойного функционирования всех подразделений инфраструктуры потребуется большое количество информационных каналов. Однако с увеличением количества каналов мощность сигнала в каждом канале должна быть уменьшена, так чтобы не превысить суммарную максимально допустимую мощность на входе в волокно. Это приведёт к ухудшению оптического отношения сигнал/шум OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) и может вызвать уменьшение значения параметра Q-фактора, характеризующего качество организуемых трактов. Таким образом возникает необходимость рассмотрения вопроса о переходе в использовании на высокоскоростных магистральных линиях от оборудования с амплитудной модуляцией ASK (Amplitude Shift Keying) к дифференциальной фазовой модуляции DPSK (Differential Phase Shift Keying).

Ключевые слова: сеть железнодорожного электрического сообщения; качество телекоммуникационного канала; WDM-оборудование систем передачи

Модернизация первичной сети связи, проводимая на железных дорогах страны в настоящее время, ведется с применением универсального телекоммуникационного оборудования волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). Это позволяет исключить разработку дорогостоящей специализированной аппаратуры многоканальной связи для транспорта [1]. Для того, чтобы значительно повысить пропускную способность железнодорожных волоконно-оптических линий передачи, используются ВОСП технологии мультиплексирования с разделением по длине волны (wavelength-division multiplexing – WDM) [2]. Ранее тракты сетей оперативно-технологической связи (ОТС), общетехнологической (ОбТС) связи и передачи дискретной информации (ПДИ) были организованы на базе аппаратуры синхронной цифровой иерархии (СЦИ), работающей по отдельным оптическим волокнам. При модернизации сети связи передача и приём сигналов аппаратуры СЦИ выполняется с использованием оборудования технологии WDM на стандартизированных длинах волн [3]. С учётом перспективы развития всех областей железнодорожной инфраструктуры целесообразно использовать на магистральной сети связи оборудование DWDM, которое дает возможность организовать от 40 до 80 оптических каналов, имеющих пропускную способность 10 Гбит/с каждый. На региональном уровне сети устанавливается

аппаратура CWDM с возможностью организации от 8 до 18 оптических каналов с пропускной способностью 2,5–10 Гбит/с.

Мультиплексоры технологии DWDM размещаются на крупных железнодорожных узлах и станциях, где необходимо выполнять ввод и вывод больших потоков данных для связи маршрутизаторов в сетях пакетной передачи или магистральных систем СЦИ уровней S16/S4. В среднем, расстояния между такими пунктами сети могут изменяться от 90 до 160 км.

На дорожных и региональных сетях оборудование технологии CWDM устанавливается на станциях, где необходимо выполнять ввод и вывод потоков S1 для организации технологических сетей ОТС, ОбТС, ПДИ с расстояниями между ними 40–80 км [2].

При организации магистральных линий связи большой протяженности начинает проявляться одна из наиболее характерных особенностей железнодорожных ВОСП – значительная неравномерность длин участков и появление определённого числа удлинённых участков. Это может приводить к увеличению мощности помех, вносимых оптическими усилителями ASE (Amplified Spontaneous Emission). Таким образом, при выборе входных каскадов усилителей, компенсирующих затухание удлинённых участков оптических линий, практически повсеместно используются эрбиевые волоконные усилители EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier), обеспечивающие низкий уровень вносимых помех [4].

Важным моментом является выбор места включения компенсатора дисперсии DCM (Dispersion Compensating Module). Работа ВОСП с недостаточной компенсацией дисперсии влечёт за собой ухудшение раскрытия «глаз-диаграммы», увеличение коэффициента ошибок по битам и ухудшение показателя качества приёма [5]. Наиболее широкое применение в настоящее время получили DCM-модули с DCF-волокнами (Dispersion Compensating Fiber), обладающими большой отрицательной дисперсией и отрицательным наклоном характеристики. Включение компенсатора дисперсии на входе усилителя, следующего за удлинённым оптическим участком, неизбежно приведёт к увеличению уровня помех в тракте приёма. Таким образом, с точки зрения обеспечения установленного значения Q-фактора компенсаторы дисперсии целесообразно устанавливать между каскадами оптического усилителя.

При вводе магистрали в эксплуатацию большое значение имеет обеспечение равномерности спектральной характеристики усиления тракта приема. На её неравномерность оказывают влияние как характер потерь в волокне участка оптического кабеля, так и появляющиеся «завалы» в спектральной характеристике усиления каскадов усилителя. В ряде случаев удаётся компенсировать, например, уменьшение усиления в используемом диапазоне длин волн первого каскада увеличением усиления второго каскада и наоборот.

Для выполнения допустимых требований к неравномерности спектра усиления тракта на линиях связи железнодорожного транспорта используются оптические фильтры GFF (Gain Flattening Filter) [4]. На практике применяется также включение нескольких последовательно установленных оптических фильтров. Для того чтобы вносимое ими затухание не приводило к значительному росту уровня помех, фильтры размещаются не на входе усилителя, а между его каскадами.

Указанные мероприятия при расчетах, настройке и вводе в эксплуатацию железнодорожных волоконно-оптических линий связи позволяют в настоящее время добиться высокого качества организуемых трактов.

Для трафика, циркулирующего в настоящее время в магистральных сетях железнодорожного транспорта, как правило, не требуется полный спектр частот систем передачи DWDM. Однако при проектировании высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) для обеспечения надежного и бесперебойного функционирования всех подразделений инфраструктуры потребуются большое количество информационных каналов. Но с увеличением количества каналов мощность сигнала в каждом канале должна быть уменьшена, так чтобы не превысить суммарную максимально допустимую мощность на входе в волокно [4]. Это приведёт к ухудшению оптического отношения сигнал/шум OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) и может вызвать уменьшение значения параметра Q-фактора. Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос о переходе в использовании на высокоскоростных магистралях от оборудования с амплитудной модуляцией ASK (Amplitude Shift Keying) к дифференциальной фазовой модуляции DPSK (Differential Phase Shift Keying).

Как известно [3, 4], DPSK обладает более высокой помехозащищенностью. Это объясняется тем, что информация вкладывается в изменение спектра верхней и нижней боковых полос, а не в изменение амплитуды составляющих, как при ASK. Помехи, как правило, воздействуют на амплитуду сигнала. При DPSK

составляющие верхней и нижней боковых полос ($\omega \pm \Omega$), ($\omega \pm 3\Omega$), ($\omega \pm 5\Omega$),... могут иметь разные знаки, т. е. быть повернуты друг относительно друга на 180° , а их амплитуды изменяются в зависимости от индекса модуляции.

Для определения качества передачи была использована схема многоканальной волоконно-оптической системы связи с DPSK [6]. При этом результаты моделирования систем с DPSK и ASK сравнивались при одном и том же количестве организуемых каналов. Качество связи в системе будет высоким, когда параметр Q-фактор превышает величину 7 ($Q > 7$). При этом коэффициент ошибок по битам на одном регенерационном участке не будет превышать значения $BER < (1 \times 10^{-12})$. Как показали расчеты в системе с DPSK при уровне мощности источника излучения P , равном 10 дБм, Q-фактор достигает значения 9,4. При использовании ASK и том же уровне мощности источника величина Q-фактора составила лишь 4,4. Чтобы параметр Q-фактор достиг величины 9,4, мощность источника излучения должна быть не менее 13 дБм. Это может создавать опасность появления нелинейных эффектов в волокне [7]. Таким образом, при увеличении количества организуемых каналов и повышении скорости передачи сигналов в перспективе возникнет вопрос об использовании в ВОСП железнодорожных линий связи дифференциальной фазовой модуляции DPSK.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шмытинский В.В., Глушко В.П. Оборудование многоканальной связи на сети РЖД // Автоматика, связь, информатика. 2020. №2. С. 28-32.
- [2] Здоровцов И.А. Электрическая связь железнодорожного транспорта России – СССР – России. М.: Типография «Новости», 2012. 688 с.
- [3] 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.
- [4] Листвин В.Н., Трещиков В.Н. DWDM-системы. М.: Изд. «Техносфера», 2017. 352 с.
- [5] Влияние элементов WDM-систем на качественные показатели каналов. / В.П. Глушко, В.В. Шмытинский. // Сборник трудов 75-й научно-технической конференции СПбНТО РЭС им. А.С. Попова, посвященной дню Радио. СПб.: Изд. «СПбГЭТУ ЛЭТИ», 2020. С. 180-181.
- [6] 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. «СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», 2016. 37 с.
- [7] Канаев А.К., Виноградов В.В., Тукмачев В.В. Волоконно-оптические линии связи. СПб.: Изд. «Стратегия будущего», 2016. 107 с.