

УДК 621.39-048.78

## КОНЦЕПЦИЯ ТЕРАБИТНЫХ СУПЕРКАНАЛОВ В DWDM-СИСТЕМАХ С БОЛЬШОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

И.В. СИНКЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 29 ноября 2017*

Разработаны методы повышения пропускной способности ВОСП. Выявленные тенденции и подходы к решению такой задачи позволяют актуализировать направление развития высокоскоростных оптических систем, использующих когерентное детектирование и DP-QPSK модуляцию.

*Ключевые слова:* когерентный формат, суперканал, канальная скорость, трапортеры, пространственное мультиплексирование.

### Введение

Цифровая связь по оптическим кабелям, приобретающая все большую актуальность, является одним из главных направлений научно-технического прогресса. В связи с ростом объемов передаваемой информации потребность в увеличении скорости ее передачи растет на всех уровнях, начиная с локальных сетей и соединений между компьютерами и заканчивая дальними транспортными сетями.

Развитие сети Internet, появление новых услуг связи, способствует росту передаваемых по сети потоков данных и ставит перед операторами задачу поиска пути увеличения пропускной способности транспортных сетей. При выборе решения необходимо учитывать разнообразие потребностей абонентов, потенциал для развития сети, а также экономическую целесообразность.

Задача увеличения пропускной способности волоконно-оптических систем передачи при сохранении дальности безрегенерационной передачи информации является наиболее актуальной для сетей дальней связи. Для ее решения во всем мире на смену системам, использующим модуляцию мощности и прямое детектирование, приходят когерентные оптические системы.

### Теоретический анализ

Использование когерентного формата 100 Гбит/с DP-QPSK со сверхплотным расположением каналов позволяет увеличить пропускную способность одного волоконного соединения до 12–16 Тбит/с при использовании стандартного C-диапазона. Использование расширенного C-диапазона или одновременное использование C- и L-диапазонов позволяет довести суммарную емкость до 20–30 Тбит/с.

Однако возрастание до нескольких сотен числа DWDM-каналов существенно усложняют управление сетью. Увеличение канальной скорости позволит уменьшить число каналов. Кроме того, канальные скорости 400 Гбит/с и 1 Тбит/с могут потребоваться в сетях с новым поколением Ethernet. При увеличении канальной скорости при сохранении одной несущей возникает проблема резкого уменьшения дальности передачи без регенерации. Необходимость строительства дополнительных усилительных пунктов приводит к удорожанию систем связи.

Решением, позволяющим сохранить дальность передачи и увеличить канальную скорость, является использование множества несущих в одном объединенном канале, который принято называть суперканалом. Несущие частоты, относящиеся к одному каналу, принято называть поднесущими частотами. Поскольку наибольшей производительностью обладают системы связи на основе формата DP-QPSK, то именно его целесообразно использовать в сочетании с одной из технологий передачи информации на многих поднесущих: OFDM, OWDM или Nyquist WDM.

Суперканал – это совокупность нескольких (порядка 10), очень плотно расположенных оптических каналов, которые обычно называют оптическими поднесущими. Предполагается, что суперканал при прохождении по оптической сети будет управляться оптическими маршрутизаторами и коммутаторами как единое целое и суммарная скорость передачи информации по нему будет порядка терабит. Терабитный суперканал может быть образован 10 поднесущими, каждая из которых передает сигнал со скоростью 100 Гбит/с в формате DP-QPSK. Таким образом, использование этой технологии будет способствовать поддержанию будущего стандарта Terabit Ethernet.

В работе исследованы характеристики передачи терабитного суперканала, образованного 10 поднесущими PM-QPSK ( $10 \times 100$  Гбит/с). При расстоянии по частоте между поднесущими 27,5 ГГц ( $SE=3,6$ ) дальность передачи по стандартному волокну составила 2226 км, а при расстоянии 30 ГГц – 2600 км ( $SE=3,3$ ).

Суперканалы разделены некоторой неиспользуемой (защитной) спектральной полосой, необходимой при работе с оптическими маршрутизаторами OADM и WSS. Они маршрутизируют и переключают их как единое целое.

Наибольшей готовностью для систем дальней связи со скоростью 20 Тбит/с обладает техническое решение, основанное на использовании 200 каналов со скоростью 100 Гбит/с в формате DP-QPSK в  $(C + L)$ -диапазонах.

Для реализации данной системы могут быть использованы существующие устройства:

- транспондеры для передачи 100 Гбит/с в DWDM канале на базе формата DP-QPSK;
- оптические усилители с поддержкой  $(C + L)$ -диапазона с суммарным спектральным диапазоном 80 нм;

оптические мультиплексоры с шагом 33 ГГц (0,26 нм), применяемые для подводных линий связи.

Также могут быть использованы сетка с частотой 50 ГГц и расширенный диапазон  $(C + L)$ -усилителей. Использование многоуровневых форматов DP-16QAM, DP-32QAM и DP-64QAM способствует увеличению канальной скорости и спектральной эффективности передачи, что позволяет создать DWDM-систему связи с суммарной скоростью 20 Тбит/с в  $C$ -диапазоне. Однако такое решение обуславливает уменьшение дальности передачи информации без регенерации из-за увеличения чувствительности к шумам усиленного спонтанного излучения.

Технология пространственного мультиплексирования с использованием многосердцевидных и многомодовых волокон может оказаться перспективной в будущем, но для ее практической реализации необходимо будет преодолеть много технических проблем. Эту технологию целесообразно использовать в сочетании с транспондерами 100 Гбит/с DP-QPSK. Терабитные суперканалы обеспечивают повышение эффективности управления сетями связи со скоростью 20 Тбит/с.

## Заключение

При реализации высокоскоростных систем целесообразно использовать суперканалы, обеспечивающие эффективное управление оптическими сетями. Для увеличения пропускной способности BC представляется перспективным использование DP-QPSK-модуляции, т.к. при этом значительно снижается влияние хроматической дисперсии и нелинейности оптоволокна (по сравнению с использованием сигнала с амплитудной манипуляцией). Кроме того, при когерентном детектировании, используемом при приеме DP-QPSK-сигнала, достигаются гораздо более высокая чувствительность и возможность эффективного подавления шумов от смежных несущих.

# THE CONCEPT OF THERAPIC SUPERCANNALS IN DWDM SYSTEMS WITH LARGE CAPACITY

I.V. SINKEVICH

## Abstract

The methods for increasing the capacity of the VSP are developed. The revealed tendencies and approaches to the solution of the task posed make it possible to consider the direction of development of high-speed optical systems using coherent detection and DP-QPSK modulation relevant.

*Keywords:* coherent format, superchannel, channel speed, transporters, spatial multiplexing.

## Список литературы

1. Наний О.Е., Трещиков В.Н. // Фотон-Экспресс. 2013. №106. С. 18–23.