

# Применение оборудования МКСС-CWDM в узлах оптической коммутации и резервирования

Владислав УДОВИЧЕНКО,  
к. т. н.  
uvn@supertel.spb.su  
Сергей ЛЕБЕДЕВ  
Игорь ТОЛСТИХИН

**В статье рассмотрены блоки оптической канальной коммутации на базе переключаемых MEMS-ячеек, разработанных для использования в составе оборудования МКСС. Приведены схемы, устройство и примеры использования блоков оптического переключения, полнодоступной канальной коммутации, резервной коммутации в оптическом слое ВОСПИ. Отмечена необходимость разработки с использованием нанотехнологии отечественных компонентов для аппаратуры оптического диапазона.**

## Вводные замечания

Коммутация каналов, передаваемых по волоконно-оптическим сетям, может осуществляться двумя способами:

- с использованием хорошо разработанной электронной схемотехники, когда трафик переводится из оптического представления в электронное и обрабатывается, а затем коммутируется в тракт выходного порта с использованием буферного устройства и уже после такой процедуры снова преобразовывается в оптическую форму;
- с использованием непосредственного переключения коммутируемого оптического канала в соответствующий выходной оптический тракт коммутационного узла без преобразований О/Е/О.

Первый способ, традиционно применяемый в оптических сетях, обеспечивает обычными аппаратными средствами коммутацию как в канальном, так и в пакетном режимах, однако алгоритм, включающий преобразования О/Е/О в процессе передачи, предполагает существенные ограничения возможностей применения конкретных типов коммутационного оборудования — зависимость от тактовой скорости сигналов и характера используемых протоколов. Особенно актуальным стало требование «прозрачности» коммутационных устройств в связи с широким внедрением мультиплексирования в оптическом слое (применение методов WDM), поскольку с увеличением числа каналов трафика резко возрастает объем оборудования, обеспечивающего выполнение всех необходимых операций О/Е/О в коммутационном узле, и, соответственно, возрастают стоимость и энергопотребление, а также снижается эксплуатационная надежность.

Разработка чисто оптического канального коммутационного устройства, удовлетворяющего всем требованиям (например, регенерация сигнала в оптическом канале, использование волновой маршрутизации, контроль характеристик линейного сигнала в процессе работы системы) в настоящее время представляется как комбинирование:

- собственно коммутирующей оптической матрицы ( $N \times N$ ), обеспечивающей неблокирующее переключение между волоконными патч-кордами, подключенными к входным и выходным портам матрицы;
- с пассивными спектральными мульти-демультиплексорами (при использовании WDM и при передаче сигналов ТМ по отдельному оптическому каналу);
- стандартными SFP-транспондерами (при необходимости регенерации канального сигнала и переноса его на другую несущую длину волны).

В компании «Супертел» в ходе совершенствования тактико-технических характеристик выпускаемого оборудования разработаны блоки коммутации и переключения оптических каналов, предназначенные для решения ряда сетевых задач, которые могут встать перед различными провайдерами, использующими хорошо известные базовые платформы МКСС [1]. Далее приводятся результаты и примеры возможного применения этих разработок.

## Конструктивные решения и примеры применения коммутационных блоков

Все типы оптических коммутационных блоков, входящие в номенклатуру базовой платформы МКСС, выполнены по унифицированной конструктивной схеме, а именно:

цированной конструктивной схеме, а именно: в виде жестко соединенных с лицевой панелью стандартных плат, на которых размещены переключаемые ячейки и схемы электронного управления. В качестве основного функционального элемента коммутационных блоков выбраны MEMS-переключаемые ячейки [2], значительно превосходящие другие изделия аналогичного назначения по совокупности технико-экономических данных. Электрические команды управления к этим ячейкам подводятся через кросс-плату крейта МКСС от блока контроля БК-S. Этот блок, входящий в комплект оборудования МКСС, обеспечивает управление при любой комплектации крейта. При использовании в составе коммутационного оборудования БК-S выступает в роли интерфейса между коммутационными блоками и каналом внешнего управления, которое может осуществляться как с помощью программного пакета автоматизированной системы для сетевого эксплуатационного контроля, так и посредством компьютера на пульте дежурного оператора, а также, в случае необходимости, от любого датчика дистанционного управления, совместимого с блоком БК-S. Входные и выходные оптические порты коммутационных блоков выведены на лицевую панель через стандартные розетки под коннекторы LC-типа и обозначены необходимой маркировкой. Блоки вставляются на посадочные места крейта МКСС аналогично всем остальным типам функциональных блоков, применяемым в МКСС.

Рассмотрим назначение и примеры практического использования оборудования, в состав которого входят коммутационные блоки.

**Блок оптических переключателей  
БОП 4×1**

Назначение: переключение линейного оптического сигнала (прием и передача по отдельным волокнам) между четырьмя парами волокон, подключенных к четырем приемным и передающим портам терминального оборудования, размещенного, в общем случае, в разнесенных пунктах. БОП 4×1 обеспечивает режим поочередного интерактивного сеанса связи между центральным оператором (ЦОС) сети, имеющей древовидную структуру, и группой периферийных абонентов. Если число абонентов больше 4, можно включить каскадную последовательность блоков БОП 4×1, тогда наибольшее число возможных абонентов N будет определяться соотношением  $N = 2^{2^K}$ , где K — число каскадов блоков БОП 4×1 (рис. 1).

В качестве «абонентов» могут фигурировать не только терминальные узлы стандартных аппаратурных комплексов, но и, например, некоторый массив дистанционно управляемых или опрашиваемых объектов. В последнем случае режим циклического мониторинга этих объектов легко реализуется простыми программными средствами через блок контроля БК, обслуживающий крайт МКСС с блоками БОП 4×1. Скорость перехода между объектами в режиме мониторинга будет определяться быстродействием MEMS<sup>1</sup>-переключателей в блоках и составит величину порядка миллисекунд. Подчеркнем, что блоки обеспечивают интерактивный и совершенно «прозрачный» в отношении протоколов и скоростей передачи обмен между ЦОС и каждым периферийным абонентом, то есть каждая линия на рис. 1 соответствует двухволоконному оптическому тракту.

Общий вид блока БОП 4×1 показан на рис. 2. Все оптические розетки установлены на лицевой плате и имеют маркировки как по направлению передачи (ПД — передающее, ПР — приемное), так и по распределению подключаемых линий (1–4 — абоненты,

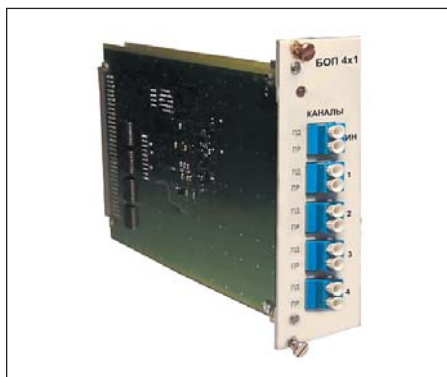


Рис. 2. Общий вид блока БОП 4×1

<sup>1</sup> MEMS (MicroElectro-Mechanical Systems) — микроэлектромеханические системы, представляющие собой совокупность микро-механических узлов, датчиков и электроники в составе единого кремниевого чипа. MEMS-технология использует модифицированные приемы технологии интегральной электроники.

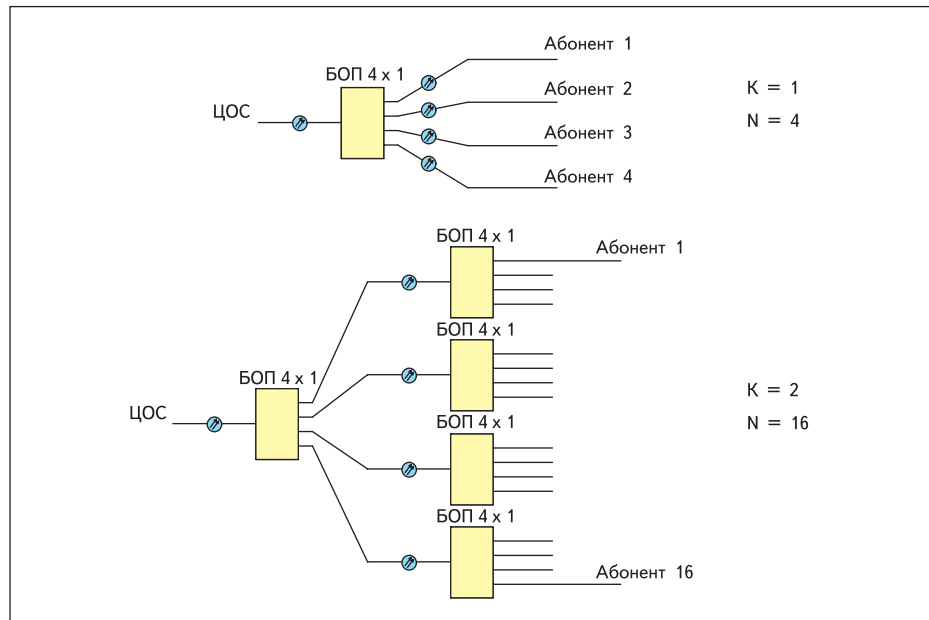


Рис. 1. Варианты включения блоков БОП 4×1 в линию

ЛИН — общая линия или ЦОС). Контроль состояния и управление блоком осуществляются через электрический 96-контактный разъем, включающийся в кросс-плату при установке БОП 4×1 в крайт МКСС.

**Блок оптической коммутации БОК 4×4**

Назначение: неблокирующая (полнодоступная) коммутация четырех входных оптических каналов между четырьмя выходными, то есть коммутатор 4×4, входящий в состав коммута-

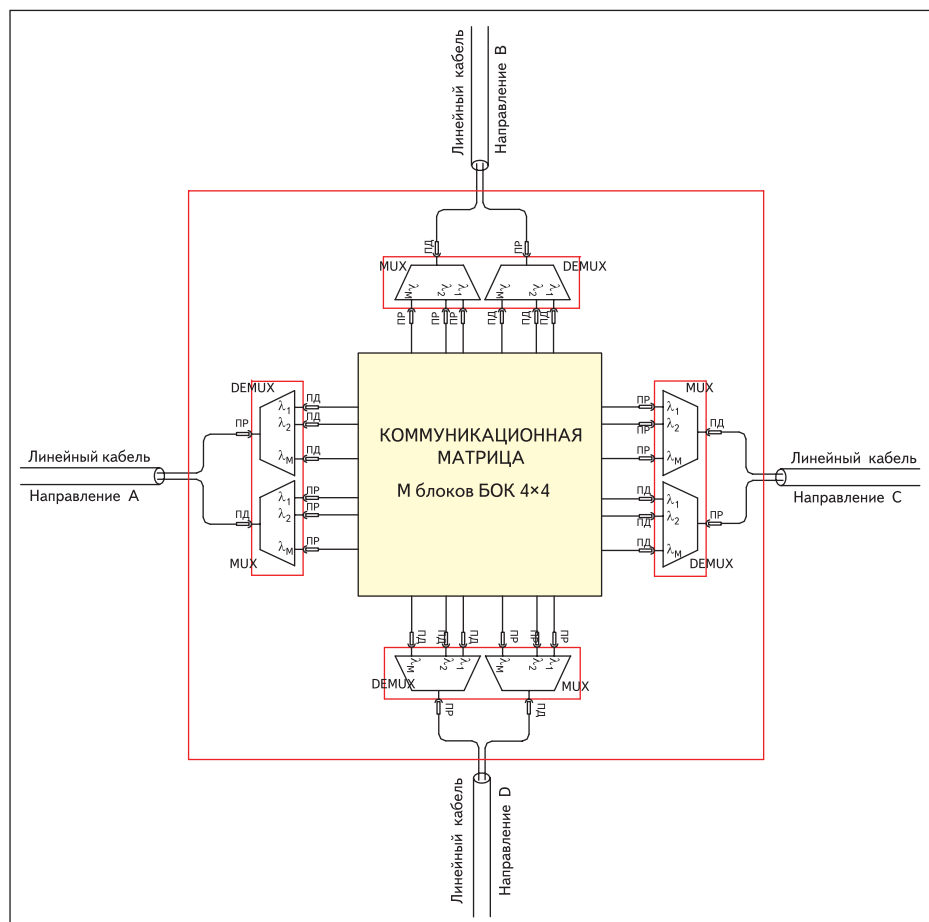


Рис. 3. Схема построения оптического коммутатора для сетевого узла системы со спектральным мультиплексированием M каналов



Рис. 4. Общий вид блока БОК 4×4

ционных узлов волоконно-оптических сетей, использующих оборудование МКСС.

Если сеть работает в режиме передачи на одной длине волны, то БОК 4×4 просто перекоммутирует подключенные к сетевому узлу каналы, например, с направления А на одно из остальных (В, С или D). Передача в обратном направлении, то есть в А, также возможна, если в этом возникает необходимость — например, при аварийном шлейфовании тракта.

Если же сеть работает с использованием технологии WDM, то очевидны два варианта: либо коммутация линейного сигнала в полном составе (а это фактически то же, что и в одноволновом режиме), либо коммутатор строится по схеме (рис. 3): на выходных портах каждого направления — пара WDM-демультиплексор и мультиплексор, общая коммутационная матрица, состоящая из М блоков БОК 4×4, где М — число несущих длин волн в составе спектрально-мультиплексированного линейного сигнала.

Блок БОК 4×4 собран по схеме Клоза на шести переключаемых MEMS-ячейках 2×2. Конструкция и схемотехнические решения унифицированы, насколько возможно, с блоком БОП 4×1. Общий вид со стороны лицевой панели блока оптической коммутации приведен на рис. 4.

Для проектировщиков разветвленных сетей с применением технологии WDM значительный интерес может представлять оценка объема оборудования, необходимого для оснащения коммуникационного узла.

В общем случае такая оценка, очевидно, будет определяться эксплуатационными особенностями такого узла: количеством WDM-мультиплексированных каналов в составе линейного сигнала, необходимостью регенерации или усиления сигналов, скоростью и, возможно, протоколами передаваемых сигналов, необходимостью контроля QoS (или вероятности ошибок BER) и т. п. Мы здесь приведем простой пример оценки для коммутатора в оптическом слое системы с CWDM.

Пусть требуется определить состав коммутационного узла для сети, в линейном сигнале которой передается 4 информационных канала в S-поддиапазоне сетки CWDM ( $\lambda = 1471, 1491, 1511$  и  $1531$  нм) и отдельный канал телемеханики в диапазоне  $\lambda \sim 1310$  нм. Необходимо обеспечить прозрачную коммутацию (то есть без промежуточных О/Е/О преобразований) каждого канала в составе линейного сигнала между четырьмя направлениями трактов, подводимых к коммутационному узлу.

Исходя из номенклатуры функциональных блоков, выпускаемых в перечне оборудования МКСС-CWDM [3], составляем схему оптического тракта, соответствующую требованиям задания (рис. 5).

Здесь в качестве блоков разделения и послекоммутационного формирования линейных сигналов используются блоки БМД-S, работающие в заданном поддиапазоне с выделением ТМ-канала, а в качестве блоков, обеспечивающих оптический канал телемеханики используются блоки БЛ-34, являющиеся интерфейсными устройствами сигналов управления между линейным трактом каждого направления и блоком контроля БК-S, вырабатывающего необходимые команды для блоков БОК 4×4. Коммутационная матрица образуется четырьмя блоками БОК 4×4, каждый для одного из информационных каналов.

На основании схемы (рис. 5) и габаритных размеров лицевых панелей задействованных в ней блоков можно составить таблицу, необходимую для требуемой оценки (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика блоков

Наименование блока	Количество блоков в узле	Ширина лицевой панели, мм
БП 48/60	1	20
БМД-S	4	40
БОК 4×4	4	40
БЛ-34	4	20
БК-S	1	40

Таким образом, общая протяженность заполнения посадочных мест в стандартном крейте для 19-дюймовой стойки составит, как легко подсчитать, 460 мм, то есть все оборудование коммутационного узла размещается в одном каркасе. Общий вид такого оборудования показан на рис. 6.

#### Блок резервной коммутации (БРК)

БРК предназначен для обеспечения оперативного переключения входных и выходных оптических портов оборудования резервированной (1+1) системы с основного тракта на резервный по сигналу системы ТМ в случае аварии или по команде с блока контроля МКСС.

Общий вид блока БРК подобен виду предыдущих блоков, поэтому не приводится.

В наиболее простых вариантах применения БРК может осуществлять автоматизированное переключение каналов с основного

тракта на резервный (или с отказавшего оборудования на исправное) с быстродействием порядка миллисекунд. Однако с помощью таких блоков возможно решение и более сложных задач по повышению живучести информационных систем. В этих случаях БРК реализуют программно-регламентированную ремаршрутизацию трафика системы при возникновении нештатной ситуации.

Приведем в качестве иллюстрации подобного применения блоков БРК одну из реальных задач, рассматривавшихся в компании «Супертел».

Техническое задание (ТЗ) заказчика: имеется кольцевая WDM-сеть, в составе которой 7 узлов, связанных между собой двухволоконными линиями. Необходимо обеспечить организацию независимо работающих трактов, соединяющих между собой узлы кольца по следующей схеме (табл. 2).

Таблица 2. Схема соединения

Тип линейного сигнала	Номера соединяемых узлов
STM-16	1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-1, 1-5, 3-6
Gigabit Ethernet	1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-1, 1-5, 3-6

Все организованные тракты должны быть зарезервированы по кольцу со временем переключения не более 50 мс.

Из ТЗ непосредственно следует, что под штатным режимом работы подразумевается автономный обмен сигналами оборудования STM-16 и Gigabit Ethernet попарно как между всеми смежными узлами сети, так и между пунктами удаленного доступа (тракты 1-5 и 3-6). В качестве аппаратуры формирования оптического WDM-слоя сети целесообразно в каждом узле использовать одинаковые наборы блоков, входящих в номенклатуру оборудования МКСС и обеспечивающих 8-канальный состав линейного сигнала (блоки транспондеров БТ-S, БТ-L и блоки мульти/демультиплексоров БМД). Восемь спектрально разнесенных каналов необходимы здесь для создания избыточной информационной емкости линейного тракта системы, обеспечивающей возможность сохранения работоспособности кольцевой сети при возникновении линейных или аппаратных отказов. При исправности всего оборудования сети (то есть при штатном режиме работы) распределение трафика по оптическим CWDM-каналам дается схемой, представленной на рис. 7.

На рис. 7 использована цветная кодировка CWDM-каналов (нумерация каналов условная; фактически распределение длин рабочих волн по каналам можно выбирать произвольно):

- канал 1 — красный;
- канал 2 — зеленый;
- канал 3 — голубой;
- канал 4 — цвет 40;
- канал 5 — розовый;
- канал 6 — цвет 23;

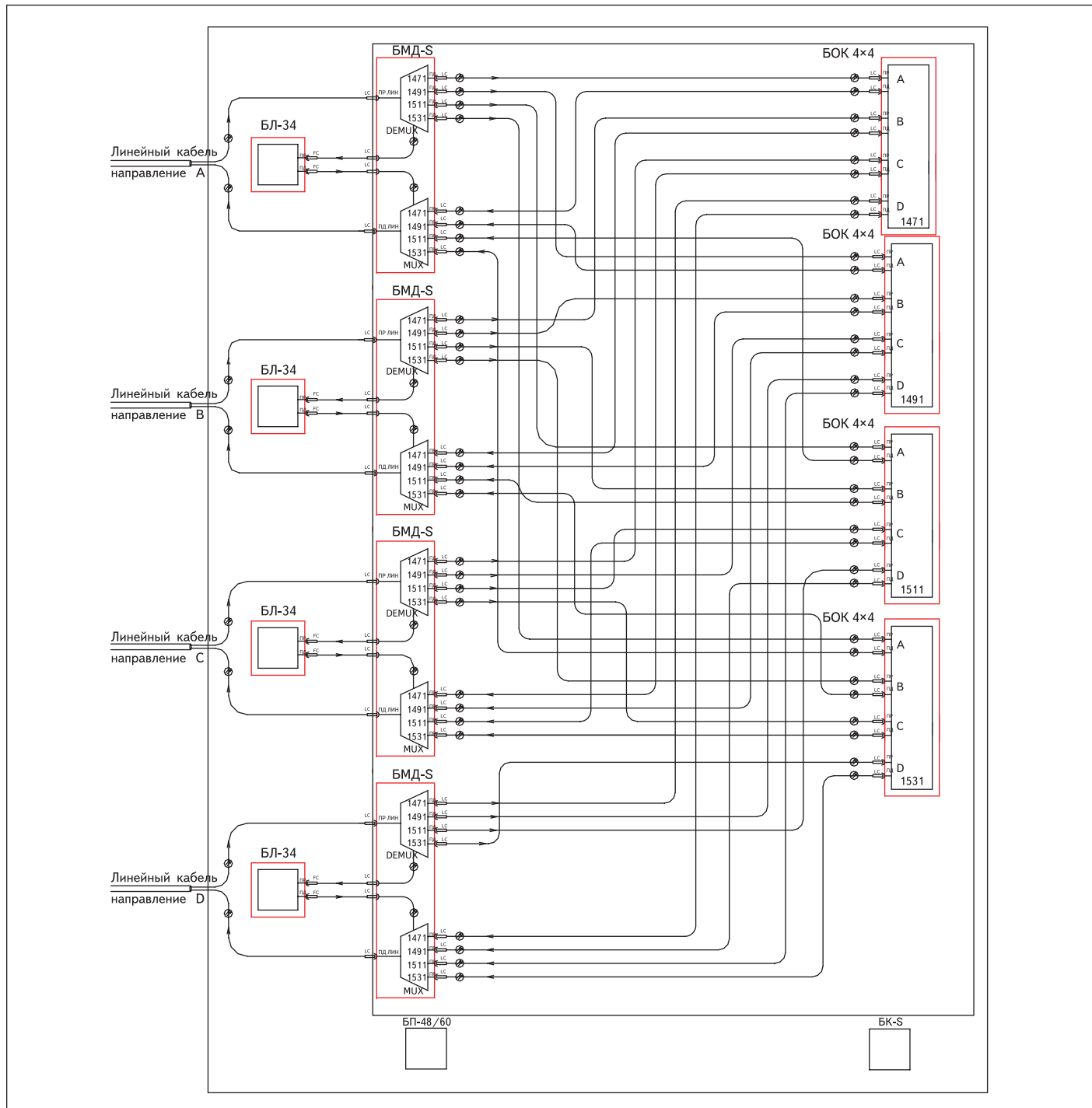


Рис. 5. Схема оптического тракта и аппаратный состав узла коммутации в оптическом слое каналов линейного CWDM-сигнала

- канал 7 — синий;
- канал 8 — цвет 61.

Серым цветом (цвет 254) обозначены каналы, длина волн для которых не нормирована. В обозначениях направлений связи числитель — номер узла исходящего сигнала, знаменатель — номер узла входящего сигнала.

Как видно из схемы (рис. 7), связь между смежными узлами осуществляется по всему кольцу на волнах каналов 1 (STM-16) и 2 (GbE). Тракт 1–5 занимает волны каналов 3 (STM-16) и 4 (GbE). Тракт 3–6 занимает волны каналов 5 (STM-16) и 6 (GbE). Каналы

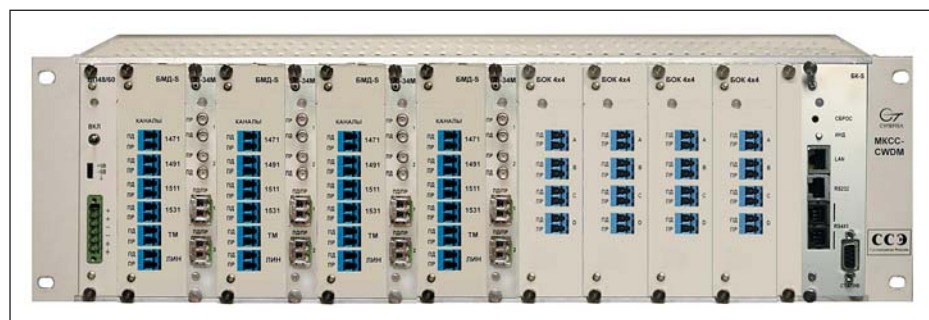


Рис. 6. Общий вид оборудования коммутационного узла с использованием блоков БОК 4x4

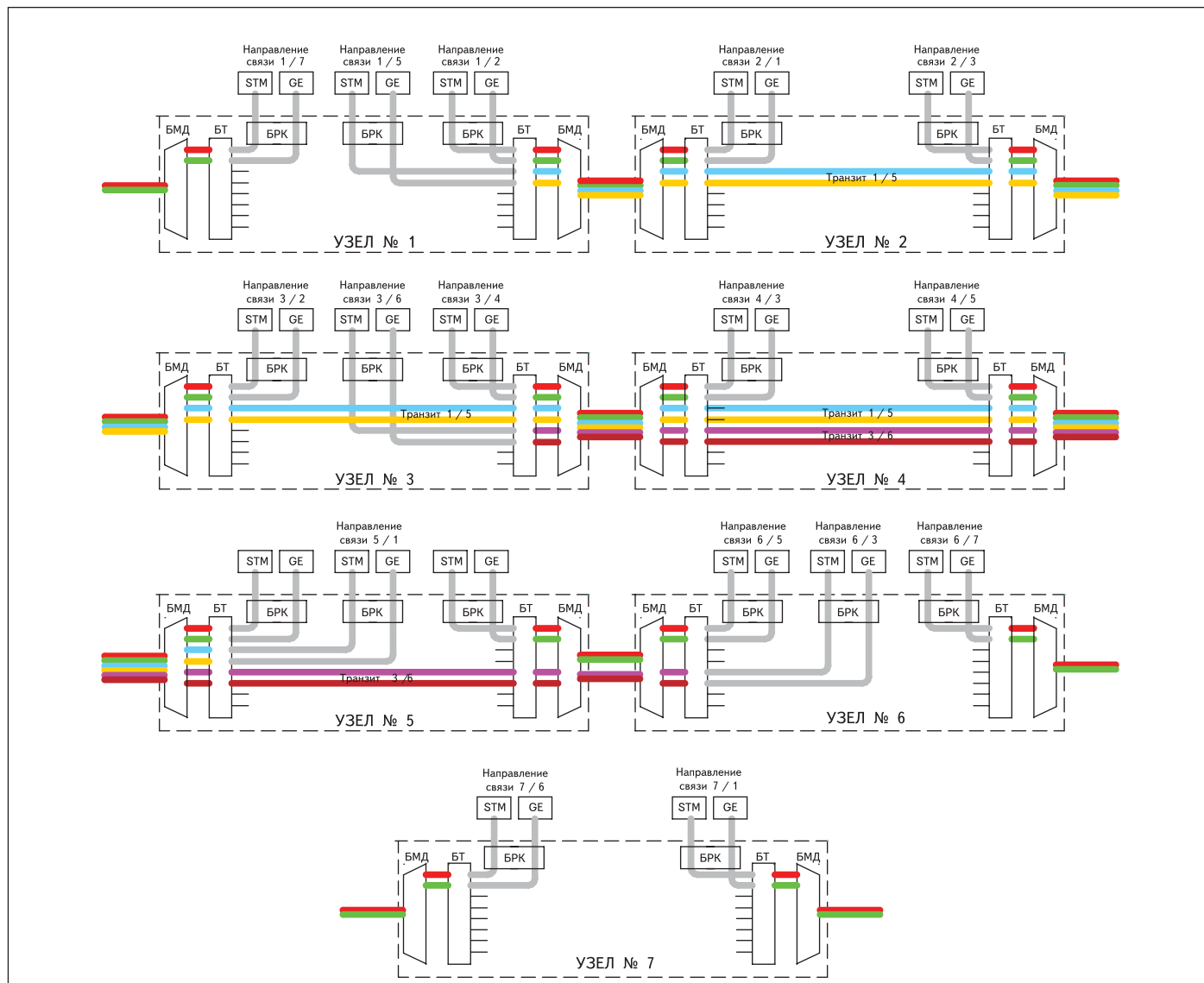


Рис. 7. Схема загрузки линейного волокна между узлами сети при работе в штатном режиме

с длинами волн 7 и 8 резервируются для каналов 1 и 2 как аварийные. Терминальное оборудование узлов подключается к блокам оптического CWDM-слоя (БТ и БМД) через каналы «ОБЩ» блоков БРК. Эти блоки, в свою очередь, через основной канал передачи «ОСН» обеспечивают соединения, соответствующие волновой нагрузке линейного тракта на рис. 7. На рис. 8 показано перераспределение этой загрузки для самой сложной аварийной ситуации — случая обрыва линии на участке с наибольшей загрузкой, между узлами 4 и 5.

Условия подключения резервного канала «РЕЗ» блоков БРК в составе узлового оборудования ясны из рис. 8: связь между узлами, соседствующими с аварийным участком, организуется теперь по резервным волнам каналов 7 и 8 (остальные «смежники» работают по-прежнему на волнах каналов 1 и 2), а направления передачи во всех трактах реверсируются. Эксплуатационный мониторинг сети может обеспечить управляющая

операционная система (например, [4]), а с учетом того, что время переключения каждой MEMS-ячейки составляет ~1 мс, реальное время аварийного переключения всей сети можно оценить интервалом порядка 10–15 мс.

### Заключение

В статье были рассмотрены устройство и некоторые области применения блоков оптической коммутации, выпускаемых ОАО «Супертел» в качестве дополнения к номенклатуре функциональных блоков базового оборудования МКСС и МКСС-CWDM. В качестве основных оптических компонентов этих блоков применены современные MEMS-ячейки, разработка и промышленный выпуск которых являются одним из достижений прикладной нанотехнологии, благодаря которым стало возможным создание принципиально новых видов компонентов для оборудования ВОСПИ. Использование коммутационных блоков позволяет сделать

очередной шаг в направлении расширения функциональных возможностей комплекса МКСС, особенно это относится к МКСС-CWDM. Достигается возможность построения систем с неограниченно разветвленной топологией оптического слоя, прозрачного в отношении скоростей и протоколов передаваемых сигналов. Более того, появляются новые возможности обеспечения живучести и эксплуатационной мобильности, если можно так выразиться, информационных сетей за счет оперативной ремаршрутизации сигналов в оптическом слое, позволяющей решать целый ряд новых задач как в крупных информационных системах, так и в сетях доступа, вплоть до абонентских.

Перспективы внедрения в оборудование ВОСПИ не только MEMS-компонентов, но и других достижений нанотехнологии настолько захватывающи, что, по нашему мнению, целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации» на 2007–2010 годы должна пре-

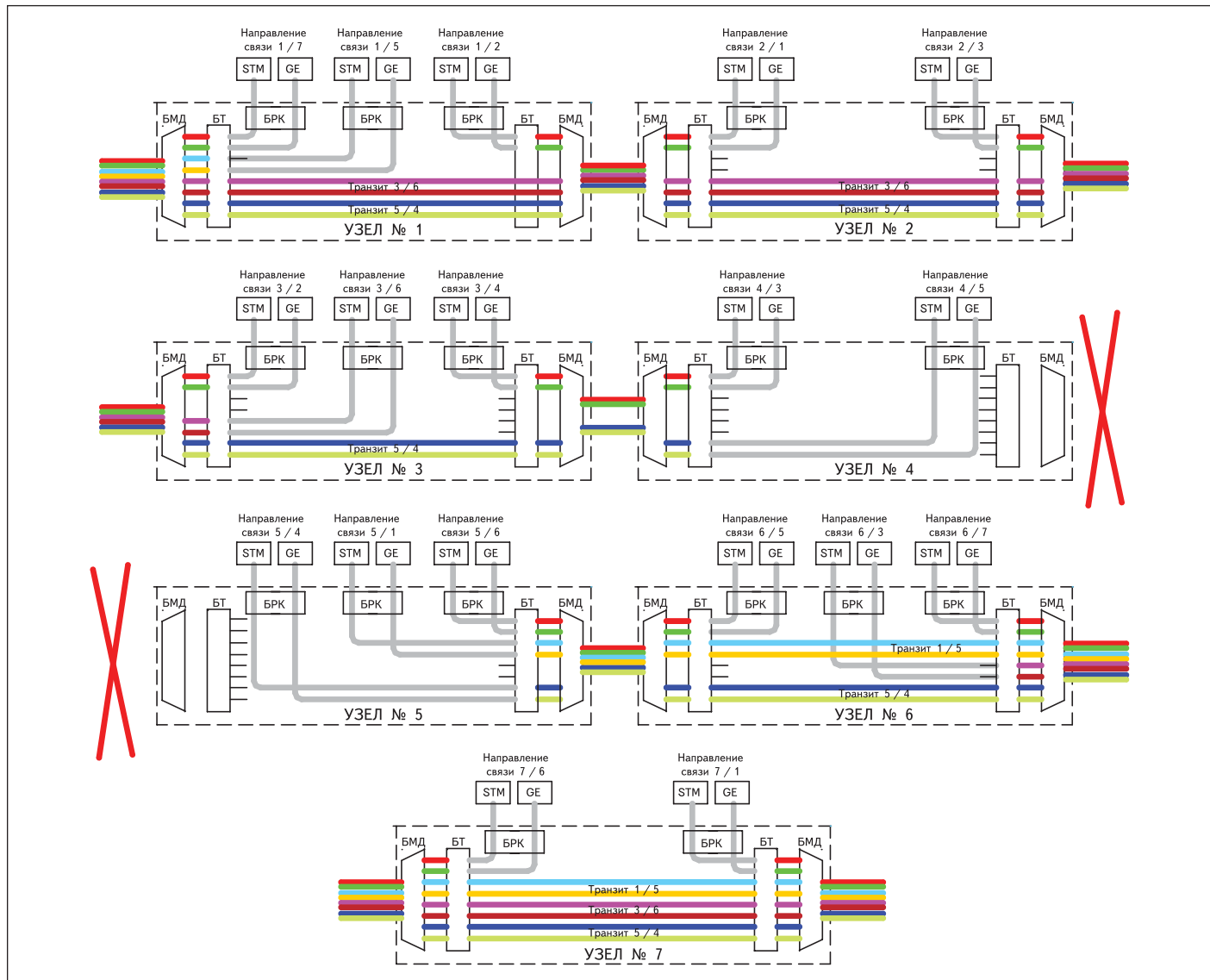


Рис. 8. Схема перераспределения волновой загрузки кольцевой сети при обрыве линейного кабеля между узлами 4 и 5

дусматривать специальные целевые разделы по постановке разработки и освоению промышленного выпуска образцов MEMS-компонентов для отечественной аппаратуры оптического диапазона.

**Литература**

1. Мультиплексор комбинированный для систем связи (МКСС). ТАИЦ.465123.060 ТУ.
2. Sercalo Microtechnology Ltd, [www.sercalo.com](http://www.sercalo.com)

3. Техническое описание блоков: БМД (ТАИЦ.465125.001), БТ (ТАИЦ.465125.002), БОК (ТАИЦ.465135.001).
4. Программное обеспечение «Супертел-NMS» (версия 2) 7. ТАИЦ.00011-01.