Сети с повышенной надёжностью на основе одного двунаправленного оптического волокна

Первый вариант

Сеть, показанная на Рис. 1 [1], содержит объединённые кольцевой линией связи станции S1 — S4. Линия связи, точнее, каждый её сегмент, представляет собой одно оптическое волокно, по которому сигналы передаются в обе стороны. В каждом сегменте могут использоваться двунаправленные оптические усилители (на рисунке не показаны). Станция S1 — главная, станции S2 — S4 — подчинённые; последние подключены к линии связи чрез интерфейсные блоки Q2 — Q4. Главная станция может обмениваться данными с подчинёнными через «рабочий» порт W и «защитный» порт P. Число подчиненных станций может быть б*о*льшим или меньшим.

В отсутствие неисправностей линии станция S1 передаёт и принимает данные только через порт W (Рис. 1, *а*). Данные, адресованные одной или нескольким подчинённым станциям, передаются через этот порт в составе пакета с использованием сигнала с длиной волны λW. Пакет проходит по кольцу против часовой стрелки, и его копии ответвляются интерфейсными блоками во все подчинённые станции. В соответствии с содержащейся в пакете адресной информацией одна, несколько или все подчинённые станции принимают и дешифрируют его.

Передача пакетов из станций S2 — S4 в станцию S1 по кольцу осуществляется в направлении по часовой стрелке с использованием индивидуальных длин волн: станция S2 передаёт данные на длине волны λ2W, станции S3 и S4 — соответственно на длинах волн λ3W и λ4W. Все описанные передачи (в одну и другую стороны) могут выполняться одновременно.

После возникновения и обнаружения обрыва линии в сегменте между станциями S2 и S1 (Рис. 1, *б*) последняя выключает рабочий порт W и активизирует защитный порт P. Также, как и при работе с портом W, данные, адресованные одной или нескольким станциям, передаются через порт P в составе пакета с использованием сигнала с длиной волны λP. Пакет проходит по кольцу в направлении по часовой стрелке и ответвляется интерфейсными блоками во все станции. В соответствии с содержащейся в пакете адресной информацией одна, несколько или все подчинённые станции принимают и обрабатывают его.

Передача пакетов из станций S2 — S4 в станцию S1 осуществляется в направлении против часовой стрелки с использованием индивидуальных длин волн: станция S2 передаёт данные на длине волны λ2P, станции S3 и S4 — соответственно на длинах волн λ3P и λ4P. Все описанные передачи (в одну и другую стороны), как и ранее, могут выполняться одновременно.

Если обрыв линии произошёл в сегменте между станциями S3 и S4, то последняя имеет возможность обмениваться данными с главной станцией через её порт P (Рис. 1, *в*) с использованием длин волн λP и λ4P. Станции S3 и S2 продолжают обмениваться данными с главной станцией через её порт W с использованием длин волн λW и λ2W и λ3W.

Множества длин волн, которыми оперируют порты W и P главной станции, должны быть хорошо различимыми. Например, они могут быть представлены изолированными друг от друга «длинноволновым» и «коротковолновым» диапазонами. Другой вариант — множества могут лежать в одном и том же диапазоне, но при этом они «вкладываются» друг в друга. Различаются они тем, что первому множеству принадлежат длины волн с чётными номерами, а второму — с нечётными [3].

Обнаружение обрыва линии связи и его локализация могут осуществляться разными способами, например, так.

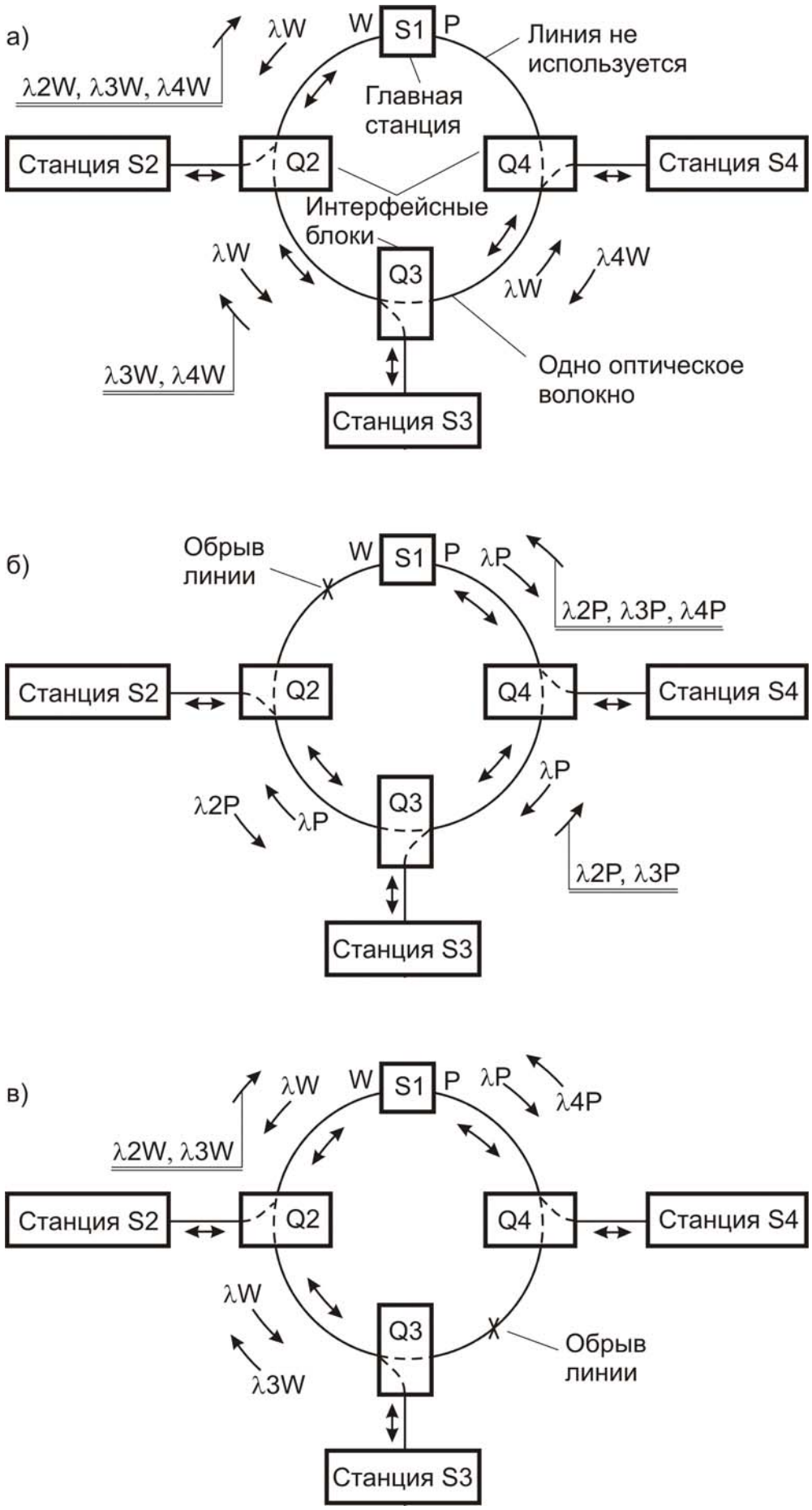

Рис. 1. Структура кольцевой сети (первый вариант): *а* — при нормальной работе; *б, в* — при обрыве линии в разных сегментах кольца

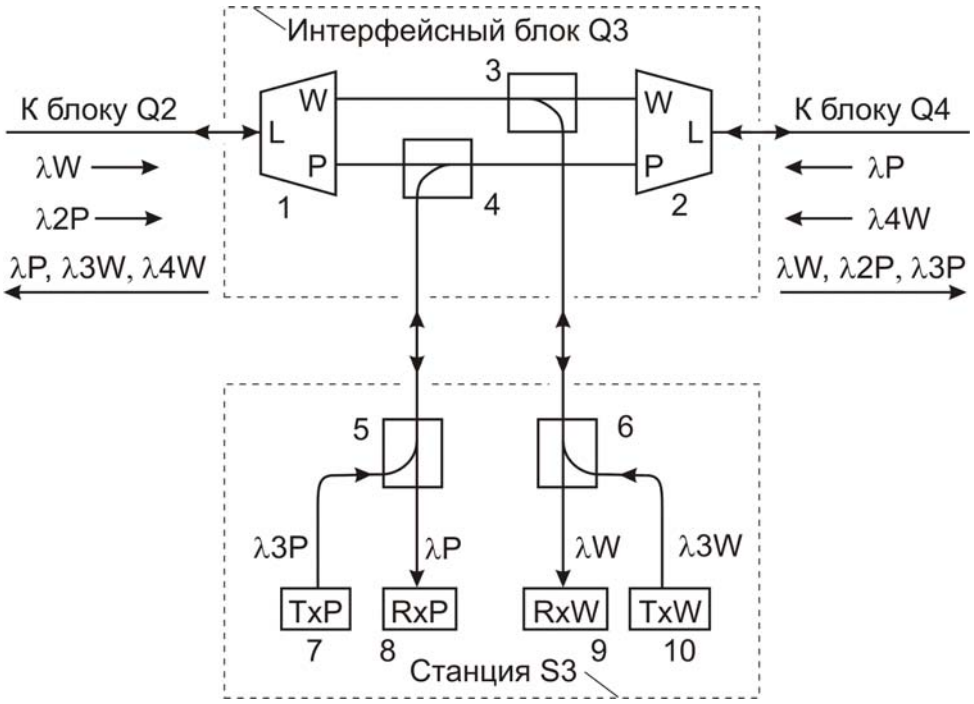

Рис. 2. Структура интерфейсного блока и расположенной рядом с ним станции

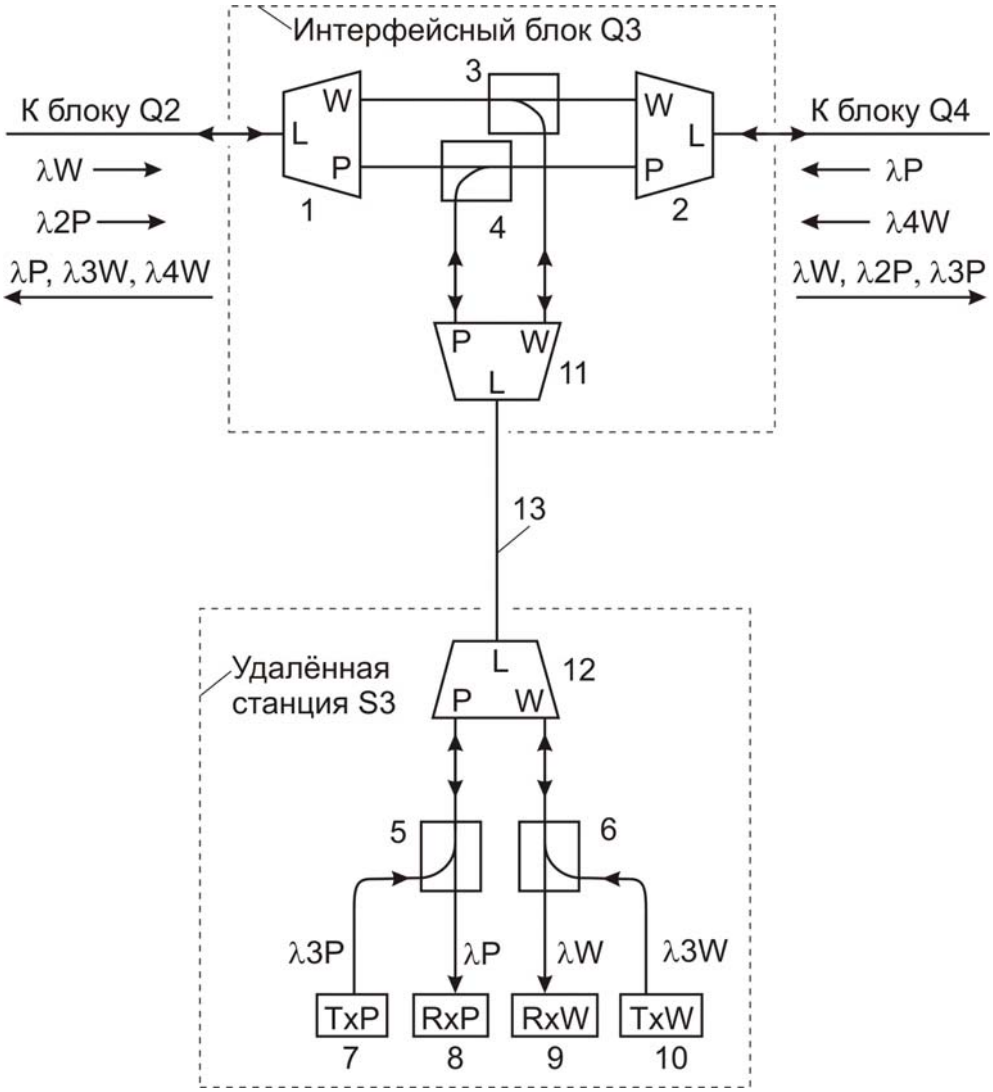

Рис. 3. Структура интерфейсного блока и удалённой от него станции

В отсутствие неисправностей линии связи (Рис. 1, *а*) станция (S1 — S4), успешно принявшая пакет или группу пакетов, подтверждает это событие ответным пакетом. Если передающая станция не может дождаться получения ответного пакета, то она повторяет передачу пакета или группы пакетов с использованием противоположного направления передачи данных. Если иметь в виду только одиночный отказ типа «обрыв линии», то использование противоположного направления передачи должно привести к положительному результату. При этом главная станция «узнаёт» об обрыве линии, и остаётся определить его место с точностью до сегмента кольца.

После этого главная станция рассылает всем подчинённым широковещательный пакет — запрос отчёта о сохранившемся направлении связи. Пакет передаётся одновременно через порты W и P, но каждая подчинённая станция получает его только с одной стороны, так как приёму второго экземпляра препятствует обрыв линии. В результате такой рассылки каждая подчинённая станция определяет, с какой стороны к ней пришёл пакет и, следовательно, «узнаёт», какой порт центральной станции (W или P) ей доступен, несмотря на обрыв линии. Каждая подчинённая станция посылает главной станции ответный пакет по исправному сектору кольца. Главная станция по совокупности направлений, с которых приняты ответные пакеты, определяет положение неисправного сегмента кольца и выдаёт соответствующее сообщение обслуживающему персоналу. Функционирование сети продолжается, несмотря на обрыв линии.

В дальнейшем при взаимодействии центральной станции с подчинёнными учитывается положение места обрыва. В частности, центральная станция может параллельно обслуживать подчинённые станции, которые расположены по разные стороны места обрыва. Здесь наблюдается парадоксальная ситуация: обрыв линии связи повлёк за собой повышение производительности системы!

После устранения неисправности центральная станция, например, по инициативе администратора сети, переводит сеть в исходное состояние.

Структура интерфейсного блока и расположенной рядом с ним станции показана на Рис. 2. Для определённости выбраны интерфейсный блок Q3 и станция S3.

Интерфейсный блок содержит два одинаковых двунаправленных WDM-мультиплексора — демультиплексора 1, 2 (далее для краткости именуемых мультиплексорами) и два одинаковых разветвителя — сумматора сигналов 3 и 4.

Мультиплексор 1 (2) передаёт с входа-выхода L на вход-выход W (и обратно) только те сигналы, которые используются портом W центральной станции. Аналогично с входа-выхода L на вход-выход P (и обратно) передаются только те сигналы, которые используются портом P центральной станции.

Разветвитель — сумматор 3 (4) отделяет часть мощности (например, 5 %) приходящего слева (справа) оптического сигнала и направляет её в сторону станции. Оставшаяся часть передаётся в сторону мультиплексора 2 (1). Сигналы, поступающие снизу, передаются влево (вправо).

Станция содержит два разделителя 5 и 6 сигналов по обозначенным стрелками направлениям, передатчики TxP 7, TxW 10 и приёмники RxP 8, RxW 9. Передатчик TxP 7 и приёмник RxP 8 оперируют сигналами порта P центральной станции. Аналогично передатчик TxW 10 и приёмник RxW 9 оперируют сигналами порта W центральной станции. Приёмники RxW 9 и RxP 8 чувствительны соответственно к сигналам с длинами волн λW и λP. Передатчики TxW 10 и TxP 7 формируют соответственно сигналы с длинами волн λ3W и λ3P. (Напомним, что рассматривается станция S3.)

Из приведенной схемы следует, что в зависимости от того, какой из приёмников получает данные, подчинённая станция «знает», с какой стороны к ней пришёл сигнал. В свою очередь, выбрав нужный передатчик, подчинённая станция может послать сигнал в соответствующем направлении.

Схема, приведенная на Рис. 3, отличается от предыдущей тем, что станция S3 удалена от интерфейсного блока Q3. Для уменьшения числа оптических волокон (от двух до

одного) в данном случае применены мультиплексоры 11 и 12, по структуре аналогичные мультиплексорам 1 и 2, и линия связи 13.

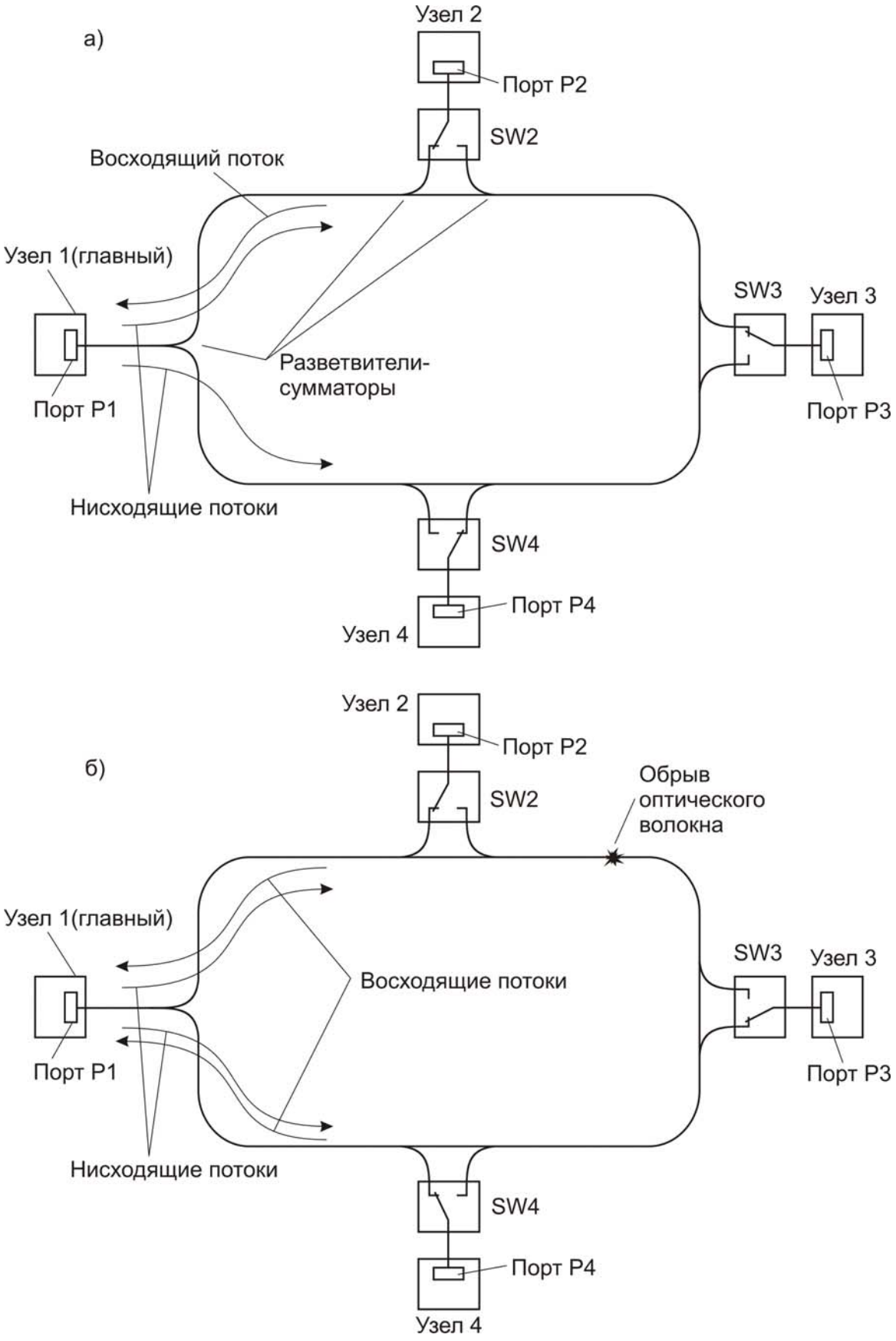

Рис. 4. Структура кольцевой сети (второй вариант): *а* — при нормальной работе; *б* — при обрыве оптического волокна

Второй вариант

В сети, показанной на Рис. 4, *а*, [2] узлы 1 — 4 соединены с одножильной двунаправленной кольцевой оптоволоконной линией через разветвители-сумматоры (для краткости — разветвители) и ключи SW2 — SW4. Ключи могут быть выполнены на основе подвижных зеркал [3]. Разветвитель отделяет часть передаваемой по кольцу мощности (например, 20 %) и передаёт её соответствующему узлу, и наоборот — передаёт в кольцо сигнал, формируемый узлом. Управление ключами SW2 — SW4 осуществляется сигналами из соответствующих узлов (эти сигналы на рисунке не показаны). Каждый узел содержит один двунаправленный порт для приёма и передачи данных. Узел 1 — главный, остальные узлы подчинённые.

В отсутствие неисправностей ключи SW2 — SW4 установлены в положения, при которых данные из узлов 2 — 4 передаются к узлу 1 (восходящий поток) по кольцу против часовой стрелки. Данные из узла 1 разветвляются и передаются по кольцу одновременно в обоих направлениях, но воспринимаются остальными узлами только с направления по часовой стрелке.

Так как кольцевая линия представляет собой общий ресурс для всех узлов, то для исключения конфликтов, связанных с одновременной передачей сигналов на одной и той же длине волны, применяют передачу с разделением сигналов во времени (технология TDM) или (и) с разделением по длине волны (технология WDM). Эти способы передачи описаны в [3] и поэтому здесь не рассматриваются.

При обрыве оптического волокна (Рис. 4, *б*) узлы 3 и 4 обнаруживают устойчивое пропадание сигнала со стороны узла 1 и переводят ключи SW3 и SW4 в противоположные состояния. Ключ SW2 остаётся в прежнем положении. Нисходящий поток данных теперь поступает в узлы 3 и 4 из нижнего полукольца. Восходящие потоки данных из этих узлов передаются в узел 1 по часовой стрелке. Таким образом, работоспособность сети восстановлена.

Отметим, что после адаптации к обрыву оптического волокна топология сети изменилась: узел 4, ранее бывший самым дальним, стал ближним. Этот факт должен учитываться при составлении узлом 1 нового расписания очерёдности перехода в активное состояние остальных узлов, если используется технология TDM.

Третий вариант

В только что рассмотренной схеме (Рис. 4) остались недублированные элементы и связи между ними, поэтому степень защиты можно повысить, применив более полное дублирование. В схему, показанную на Рис. 5, введены дополнительные порты и связи между ними. Принцип работы сети аналогичен описанному ранее.

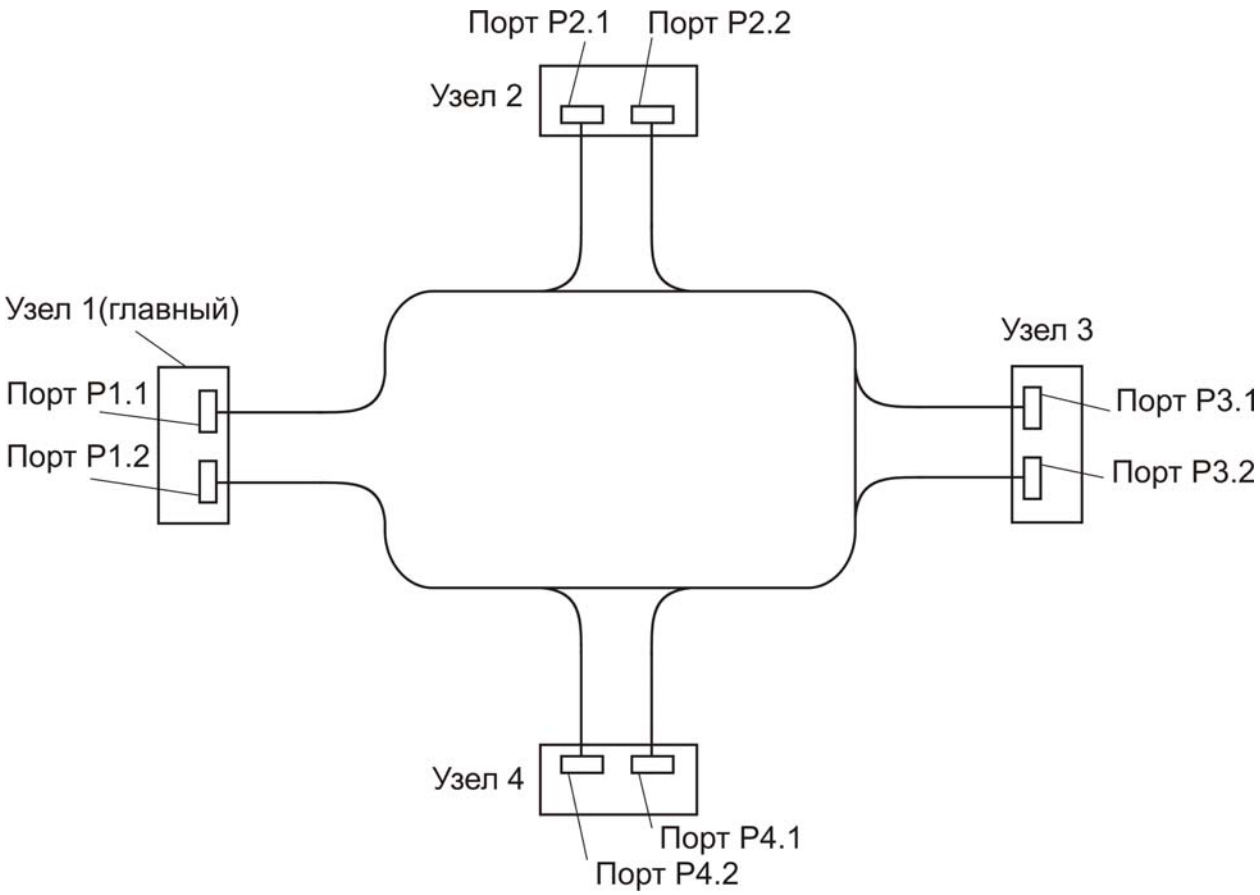

Рис. 5. Структура кольцевой сети (третий вариант)

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. США № 7.672.588 B2 http://www.uspto.gov.
2. Пат. США № 6.327.400 B1 http://www.uspto.gov
3. Шевкопляс Б.В. Элементы схемотехники оптоволоконных систем. Инженерные решения.— М.: ИП РадиоСофт, 2011. — 760 с., ил.