

УДК 621.3.081

## ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВОЛС

**А. Б. Иванов**, генеральный директор ЗАО «Сайрус Системс Дизайн», к. т. н.; amficom@starlink.ru

**С. С. Котляр**, программист-аналитик ЗАО «Сайрус Системс Дизайн»

**А. Ф. Ташоян**, руководитель проектов ЗАО «Сайрус Системс Дизайн»

**Ключевые слова:** волоконно-оптическая система передачи, волоконно-оптическая линия связи, волоконно-оптический кабель, система, контроль, мониторинг, эксплуатация, обслуживание, инцидент, прогнозирование.

Рассматривая эволюцию контроля сетей телекоммуникаций как последовательность переходов от разрозненных измерений [1] к сквозному системному контролю [2] и в конечном счете к контролю качества услуг [3], можно отметить, что основной линией такого развития являлась ориентация контроля на постфакторное обслуживание сети. Однако интенсивное развитие волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) и, как следствие, повышение требований к сокращению времени обнаружения и устранения неисправностей линий связи диктуют необходимость не только скорейшего их выявления, но и прогнозирования возможности возникновения с целью принятия своевременных и экономически эффективных мер по их устранению. Поэтому следующим эволюционным шагом развития контроля представляется переход к прогностическому контролю ВОЛС, обеспечивающему возможность превентивного обслуживания сети.

**Организация прогностического контроля ВОЛС.** В основе такого контроля лежат системы мониторинга оптических кабелей (СМОК), представляющие собой дистанционно-управляемые распределенные по сети контрольно-измерительные средства (КИС), программное обеспечение (ПО) анализа результатов контроля и привязки их к функциональной и топологической схемам ВОЛС, а также базу данных (БД) объектов контроля, результатов измерений и их анализа [4–6].

КИС в таких системах строятся с использованием коммутаторов тестируемых волокон (КТВ) и оптических времяимпульсных рефлектометров (ОВИР), осуществляющих тестирование одного или поочередно нескольких свободных (темных) волокон волоконно-оптического кабеля (ВОК) с представлением результатов тестирования в виде совокупности данных — рефлектограмм оптических волокон (ОВ) [7]. Данные обрабатываются и сопоставляются с априори определенными для каждой линии тестирования порогами (масками рефлектограммы). При несоответствии полученных результатов заданным порогам констатируется факт ухудшения качества или нарушения функционирования соответствующей ВОЛС. Тестирование рабочих волокон ВОК осуществляется на длине волны, отличной от используемой для передачи данных, с мультиплексированием/демуплексированием этих длин волн на передающей и приемной сторонах соответственно. Данный метод подходит для всех волокон контролируемого кабеля. Поскольку КИС может содержать один или несколько ОВИР, а также ряд локальных КТВ, в месте их размещения можно сформировать требуемое число портов подключения ОВ к ОВИР. Для повышения эффективности покрытия кабельной сети в ее узлах могут размещаться и удаленные КТВ, организуя тем самым динамическое изменение пути тестирования. Управление и конфигурирование КТВ

в этом случае осуществляется дистанционно, например по протоколу TL-1 (Bellcore).

Очевидно, что эффективность организации контроля на реальных сетях во многом зависит от топологии контролируемой сети и при большом числе вершин графа и значительной их связности требует решения двух базовых задач:

- нахождения оптимальной топологии сети мониторинга (путей тестирования, покрывающих всю сеть) при минимальной стоимости оборудования, способного тестировать такую сеть [8];
- планирования заданий, обеспечивающих тестирование всех ребер графа (линий передачи сети) в кратчайшие сроки [9].

После решения этих задач и выполнения запланированных заданий данные с ОВИР анализируются специализированным ПО и выявляются отклонения полученных результатов от установленных пределов, фиксируя тем самым факты нарушения качества ВОЛС. Накопленная при этом статистика позволяет определить степень возможной деградации контролируемых ОВ. Очевидно, что эффективность прогностического контроля ВОК всецело зависит от способа распознавания событий на рефлектограмме ОВ, который должен обеспечивать их устойчивое выявление — локализацию и определение формы, а собственно анализ — установление значений параметров событий вне зависимости от масштаба и различного рода искажений и шумов [10, 11]. Для этих целей используются методы вейвлет-анализа, идентификации посредством специально подобранных аналитических функций и прогнозирования временными рядами параметров рефлектограммы, реализованных в виде единого аналитического программного модуля [12].

В основе данного модуля — набор функций детального описания событий, задания критериев их обнаружения и установления на них масок с целью выявления изменений рефлектограммы. Помимо сведений о характере событий, выдается аналитическая функция, описывающая конкретное событие и ошибку измерения каждого из его параметров, что дает возможность рассматривать полученную рефлектограмму не как совокупность точек, а как множество объектов, на которые она разбивается. Решая таким образом прямую задачу — анализ рефлектограммы, объектное представление позволяет решать и обратную задачу — строить естественным путем модели рефлектограмм, а также прогнозировать их изменения в будущем.

**Основные задачи контроля.** Исходя из жизненного цикла ВОЛС, можно отметить, что любые нарушения технологии ее строительства приводят или могут впоследствии привести к дополнительным трудозатратам (таблица) [13]. Дефекты могут проявиться в процессе эксплуатации ВОСП, снижая тем самым ее надежность. Причинами могут стать деградация ОВ (увеличение его затухания), а в местах дефектов, возникших при изготовлении ОВ, на этапе строительства или в процессе эксплуатации ВОЛС, — рост

Таблица

Этапы строительства ВОЛС	Нарушение технологии строительства ВОЛС	Возможные недостатки вследствие нарушения технологии	Возможные проблемы при сдаче ВОЛС в эксплуатацию	Прогнозируемые проблемы при эксплуатации ВОЛС
Входной контроль ВОК	Отсутствие входного контроля либо его проведение без буферной катушки	Обрывы, неоднородности, обнаруженные в процессе монтажа	Монтаж дополнительных вставок ВОК и повторные измерения	Невыполнение гарантийных обязательств изготовителем ВОК
Прокладка ВОК	Прокладка без группирования строительных длин ВОК	Дополнительный расход ВОК и увеличение количества муфт на трассе ВОЛС	Дополнительный расход ВОК и муфт	Дополнительные затраты на текущий ремонт и снижение надежности ВОЛС в целом
	Нарушение правил погрузки/разгрузки барабанов с ВОК	Обрывы, трещины на ОВ	Монтаж дополнительных вставок ВОК и повторные измерения	—
	Уменьшение допустимого радиуса изгиба ВОК	Обрывы, трещины, неоднородности на ОВ	Монтаж дополнительных вставок ВОК и повторные измерения	—
Измерения ВОК после прокладки	Отсутствие контрольных измерений	Обрывы, трещины, неоднородности на ОВ	Монтаж дополнительных вставок ВОК и повторные измерения	Дополнительные затраты на текущий ремонт и снижение надежности ВОЛС в целом
Монтаж оконечных устройств	Нарушение технологии монтажа оконечных устройств	Обрывы, повышенное затухание на оконечном устройстве	Ремонт оконечного устройства	Дополнительные затраты на аварийный или текущий ремонт оконечного устройства
Монтаж оптических муфт	Нарушение технологии монтажа оптических муфт	Обрывы, повышенное затухание ОВ в муфте	Ремонт оптической муфты и повторные измерения	Дополнительные затраты на аварийный или текущий ремонт оптических муфт
		Недостовверная информация о расстоянии до муфты и потерях на сварке ОВ	Повторные измерения и переоформление документации	Дополнительные затраты времени и материалов при аварийном ремонте ВОЛС
Приемосдаточные измерения	Нарушение технологии измерений ВОЛС	Недостовверность или недостаточность данных в приемосдаточных документах	Повторные измерения и переоформление документации	Дополнительные затраты времени и материалов при аварийном и текущем ремонте ВОЛС

потерь и отражений. Все это ухудшает качество передачи и, как следствие, требует:

- капитального ремонта (трудозатраты по видам работ при эксплуатации — 5%);
- аварийного ремонта (10%);
- эксплуатационных измерений (60%);
- текущего ремонта (15%);
- непредвиденных работ (10%).

Детализация основных факторов деградации и повреждений и их источников для сердцевины и оболочки ОВ (рис. 1) показывает важность контроля ВОК на протяжении всего периода эксплуатации ВОЛС. Очевидно, что наивысшей достоверности можно достичь при периодиче-

ском контроле, регулярность которого особенно важна для прогнозирования эволюции изменения свойств ОВ, так как в этом случае при обработке данных исключается ряд методических ошибок.

Таким образом, контроль ВОК на этапе строительства, как и эксплуатационный контроль, должны рассматриваться в рамках использования СМОК в виде единой задачи, поскольку, получив информацию об изначальном состоянии линии и отслеживая его изменения на протяжении всего жизненного цикла, можно планировать оптимальный график работ.

Наряду с факторами, приводящими к снижению надежности ВОЛС, нельзя упускать из виду и такие аспекты, как



Рис. 1



Рис. 2

безопасность сети. Основные факторы вторжения в сети с электронно-оптическим — оптико-электронным преобразованиями (Е-О-Е) и полностью оптические сети (AON), точки доступа и последствия вторжения для данных сетей представлены на рис. 2.

Очевидно, что нарушение технологии изготовления ОВ, ВОК и строительства ВОЛС, деградация и возникновение повреждений, а также несанкционированный доступ в такие сети негативно влияют на их качественные показатели и приводят в конечном счете к снижению эффективности обслуживания ВОСП и недовольству пользователей услугами, предоставляемыми оператором сети (рис. 3).

Для обеспечения своевременного обнаружения увеличения затухания ОВ, а в местах дефектов — увеличения потерь, вызванных, например, вторжением, и отражений, связанных с развитием микротрещин, необходимо:

- установить соответствие контролируемых параметров ВОЛС регламентированным нормам;
- определить пределы допустимых погрешностей контроля параметров ВОЛС;
- определить допустимые значения отклонений параметров ВОЛС для формирования предупреждений и тревог;
- создать оптимальный план тестирования сети;
- обеспечить достоверное высокоточное определение значений затухания, потерь и отражений в объектах линии передачи;
- обеспечить связь рефлектометрических (физических) и топологических данных;
- обеспечить своевременность оповещения о возникших инцидентах.

Решение этих задач с использованием СМОК сводится к оптимизации топологии сети мониторинга и планирования тестов, а также к достижению высокой чувствительности, точности и достоверности анализа результатов тестирования ВОК. Только в этом случае введение СМОК в строящуюся или эксплуатирующуюся сеть позволит: минимизировать время идентификации и локализации отклонений параметров ВОЛС; контролировать большие сетевые зоны одним квалифицированным специалистом; сократить парк и унификацию оборудования, необходимого для обслуживания всей сети, и в результате повысить эффективность эксплуатации телекоммуникационной сети.

**Архитектура системы контроля.** С точки зрения построения автоматизированных систем управления архитектура СМОК (рис. 4) включает в себя:

- технологический объект управления (ТОУ), в данном случае ВОЛС;



Рис. 3

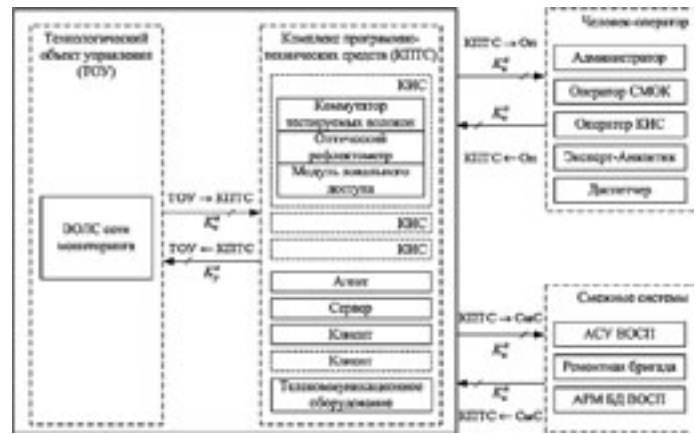


Рис. 4

- комплекс программно-технических средств (КПТС) автоматизированной системы управления тестированием ВОЛС (агент-сервер-клиент), сбором и анализом информации о состоянии ВОЛС (агент-сервер-клиент), оперативного диспетчерского управления на основе клиент-сервер;
- набор элементов типа человек-оператор в соответствии с ролями, определенными регламентом оператора связи и проектной документацией;
- смежные автоматизированные системы (СМС) для системы контроля ВОЛС.

Все группы информационных каналов  $K_u$  и каналов управления  $K_v$  на всех уровнях такой системы в основном ориентированы на обмен информацией между цифровыми устройствами с использованием ВОСП. Из этого следует, что СМОК, по сути, объединяет в себе информационно-измерительную систему, информационно-управляющую систему и систему диспетчерского управления и, как правило, включает в себя объединенные LAN/WAN-сетью центральный сервер с БД объектов системы и сервер измерений с БД результатов измерений, реализуемые в том числе и на одной рабочей станции, а также контрольно-измерительные средства, удаленно управляемые КТВ и автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов системы.

Для поддержания архитектуры клиент-сервер между выполненными на различных платформах распределенными объектами может использоваться, например, спецификация CORBA, как это реализовано в АМФИКОМ™ [6]. Применение данной технологии позволяет абстрагироваться от конкретного оборудования, обеспечивая прозрачное аппаратно-независимое взаимодействие между элементами системы, а значит, возможность контроля не только непрерывности волокна, но и других его характеристик. Для этого создаются необходимые адаптеры КИС- и CORBA-агенты: первые имеют стандартизованный интерфейс доступа, обеспечивающий требуемое взаимодействие с КИС, вторые являются связующим звеном между сервером и адаптерами КИС. Здесь агент устанавливает соединение с сервером, проверяет наличие тестов путем вызова удаленного CORBA-объекта, а также запоминает тесты и сортирует их по времени выполнения. К моменту начала тестирования адаптеру КИС передается соответствующая команда, а полученные по завершении теста результаты направляются от адаптера КИС к агенту, который возвращает их серверу опять же методом вызова удаленного CORBA-объекта. Такое взаимодействие позволяет полностью отделить логику задания и выполнения тестов от реализации работы с различными типами КИС.

Хранение и управление данными осуществляются посредством СУБД Oracle, позволяющей в первую очередь эффективно обслуживать большое количество одновременно работающих пользователей без снижения производительности системы. Это достигается, в частности, использованием механизма блокировок, учитывающего особенности многопользовательского режима работы [4]. Сервер сам обеспечивает все необходимые блокировки, которые учитываются при организации хранения данных. Кроме того, благодаря универсальности сервера Oracle (неограниченность масштаба, типов приложений и вида данных) комплекс может быть адаптирован практически под любую решаемую задачу.

ПО специализированных приложений АРМ выполнено на платформе Java, которая, благодаря наличию слоя, изолирующего кросс-платформенные приложения от собственной компьютерной системы, позволяет использовать различные операционные системы и тем самым ускорить введение в СМОК будущих приложений. При этом для обеспечения дистанционного доступа к функциям системы из любой точки сети могут использоваться модули дистанционного присутствия (МДП), реализованные как РС- или web-клиенты, а для локального доступа ко всем функциям КИС, и в частности ручного управления ОВИР и КТВ, может быть применен модуль локального доступа (МЛД).

**Формирование среды контроля** в общем случае включает в себя решение задач конфигурирования и администрирования системы.

Конфигурирование системы, как правило, осуществляется с учетом архитектуры и возможности будущего развития сети, а также структуры и регламента ее администрирования и эксплуатации и проводится интерактивно с графическим представлением объектов системы, их свя-

зей и взаимодействия. При этом описание среды контроля включает доменную, географическую и структурную организацию сети, а описание оборудования, размещаемого на местности, в зданиях, в стойках и по слотам, — физические и конструктивные параметры. Все это позволяет получить детализацию вида строение–кабель–строение, помещение–кабель–помещение и порт–волокно–порт со всеми необходимыми связями объектов контролируемой сети и среды контроля.

С процедурной точки зрения определяющими являются задачи:

- выбора компонентов КИС–ОВИР и КТВ;
- оптимизации архитектуры сети мониторинга (если ранее она не выполнялась);
- определения способов организации связи между компонентами системы по предоставленным каналам, которыми могут быть телефонная сеть общего пользования, сеть X.25 с протоколом V.11 и WAN/LAN-сеть с протоколом TCP/IP.

Полученная в результате конфигурирования среда контроля в конечном счете отражается на соответствующих функциональных, топологических и внутриобъектовых схемах.

Администрирование системы также может осуществляться интерактивно с графическим представлением администраторов и пользователей системы, решающих задачи проектирования и администрирования среды контроля, планирования и анализа результатов тестов, а также оперативного сопровождения собственно системы и ремонтно-восстановительных работ на контролируемой сети. При этом в соответствии с регламентом оператора сети задаются данные пользователей, структура их взаимодействия и характер оповещения.

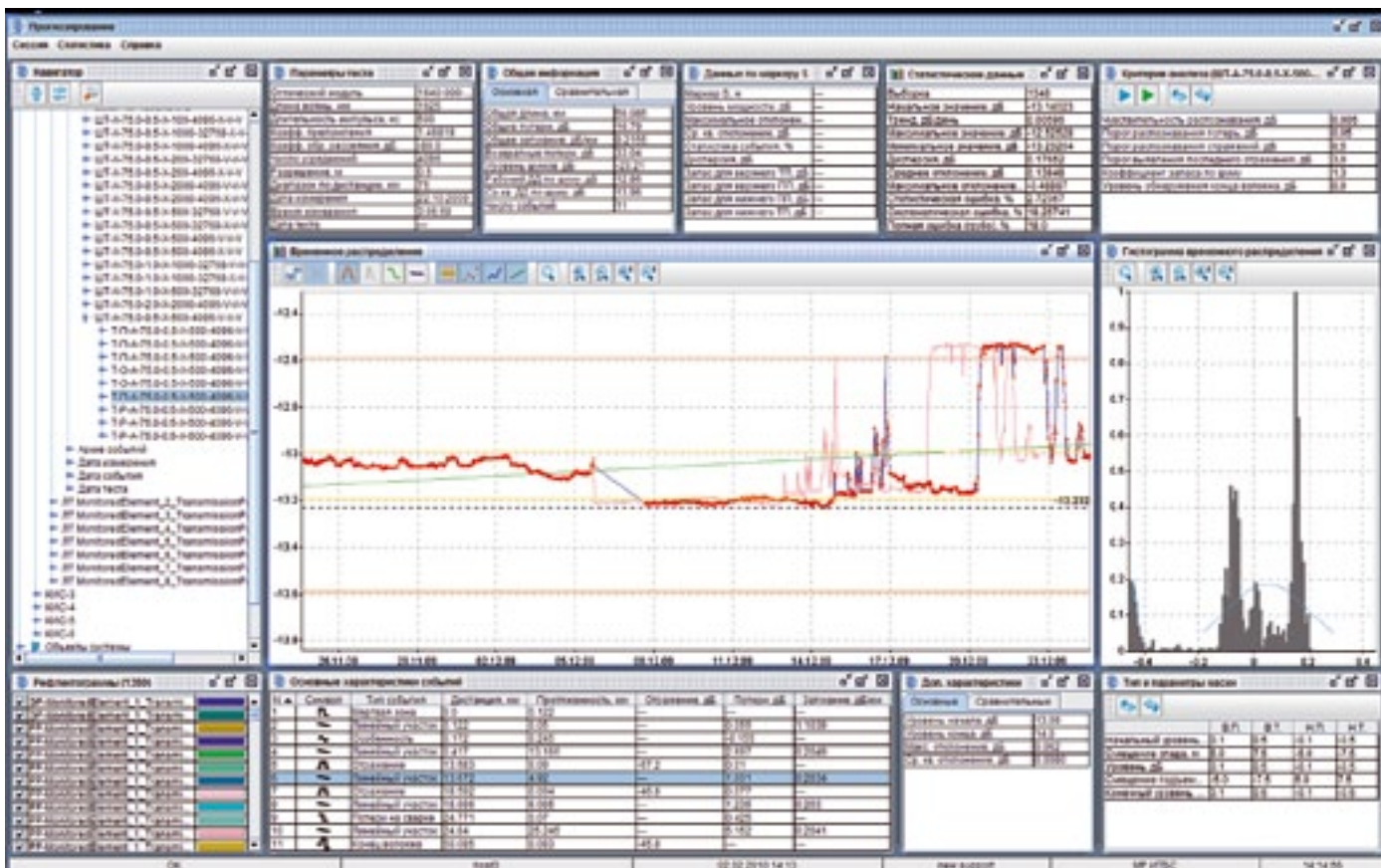


Рис. 5

**Функциональные возможности системы контроля.**

Сформированная таким образом среда контроля принципиально позволяет осуществлять планирование тестов, моделирование, задание масок, автоматический и ручной анализ и прогнозирование эволюции рефлектограмм, устанавливать связи последних с объектами среды контроля с целью локализации отклонения параметров потерь и отражений, призрака, конца или обрыва волокна и последующего оповещения пользователей о возникших инцидентах.

Для повышения эффективности использования системы в процессе эксплуатации сети интерфейс пользователя должен быть функционально ориентированным и формироваться самим пользователем в соответствии с решаемыми им задачами. Так, например, для документирования данных, хранения информации о кабелях и отслеживания процесса строительства и развития сети интерфейс пользователя должен быть сформирован в виде окон функциональной, топологической и внутриобъектовой схем с соответствующими информационно-управляющими окнами. С помощью этих окон пользователь может активизировать и другие функции системы, а также отслеживать построение сети по мере добавления новых сетевых элементов. При необходимости сравнения результатов тестирования с проектными данными сети, что вместе с функцией оптимизации топологии сети мониторинга облегчает формирование оптимальной архитектуры системы, интерфейс пользователя может быть реализован в виде окон топологической схемы, моделирования рефлектограммы, оптимизации топологии сети и соответствующих решаемой задаче информационно-управляющих окон.

Функция моделирования здесь позволяет строить теоретическую рефлектограмму по существующему проекту тестируемой линии связи, анализировать ее и сравнивать полученный результат с результатом измерений на реальной ВОЛС. Для наблюдения за состоянием сети и анализа рефлектограмм, для того чтобы иметь возможность ассоциировать рефлектометрические события с координатами тестируемого волокна, с точкой на географической карте и данными элементов сети, хранящимися в БД, интерфейс должен быть сформирован из окна соответствующей схемы (или окон схем), окна анализа и маскирования рефлектограмм. При этом пользователь может виртуально перемещаться вдоль трассы выбранного волокна на топологической схеме в строгом соответствии с положением перемещаемого маркера на рефлектограмме или, наоборот, получая при этом детальную информацию о параметрах каждого волокна и его особенностях.

Представление информации и возможностей аналитической работы с таким интерфейсом проиллюстрировано на информационном экране СМОК (рис. 5), где изображено окно функции прогнозирования, обеспечивающей краткосрочный и долгосрочный прогноз изменения параметров объектов рефлектограммы и, как следствие, параметров ВОЛС как в ручном, так и в автоматическом режимах.

Последнее в сочетании с описанным принципом построения интерфейса пользователя позволяет говорить о качественном переходе от устоявшегося понятия СМОК к системе предупреждения аварий на линиях передачи (СПАЛП™), с помощью которой можно получать прогностические данные в текущем режиме и предупреждать пользователя о возможности возникновения нештатной ситуации в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

**Методология контроля.** Методология контроля ВОК естественным образом связана с жизненным циклом сети. Так, на этапе ввода СПАЛП™ в процессе строительства сети бригада, выполняющая работы в соответствии с заданными требованиями, входит с помощью МДП в БД текущего участка, а затем проверяет и утверждает работу перед построением следующего участка сети. При этом проводится дистанционный контроль кабеля, оценивается качество сварных соединений, осуществляются фиксация с помощью маркера оптической дистанции и привязка последней к местности, создание документации.

На этапе строительства, ввода в эксплуатацию или после ремонтно-восстановительных работ по набору полученных в результате тестирования рефлектограмм определяются критерии анализа и сравнения, создаются маски, а затем в процессе наблюдения за состоянием сети автоматически выявляются недопустимые отклонения текущих и прогнозируемых рефлектограмм.

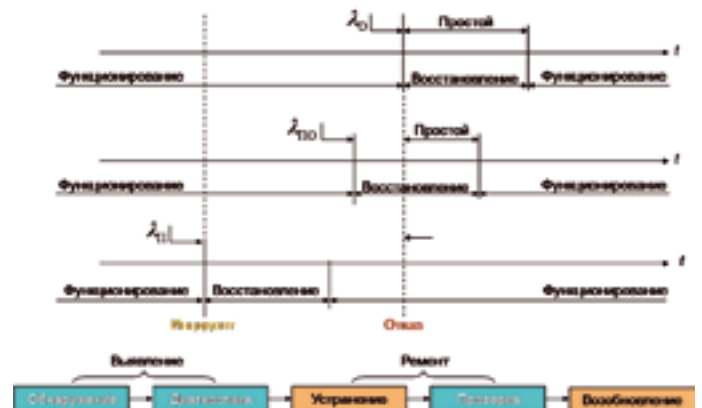


Рис. 6

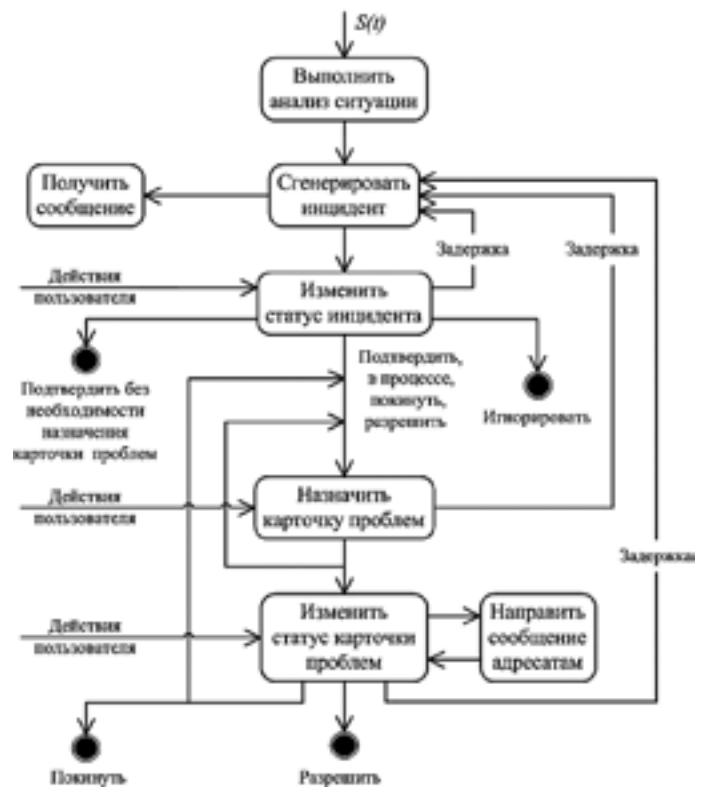


Рис. 7



Рис. 8

В процессе эксплуатации ВОСП, независимо от способа контроля, для выявления и устранения причин, вызвавших постфакторный, предотказовый и прогнозический инцидент, СПАЛП™ решает задачи обнаружения и диагностики в автоматическом режиме (рис. 6), а затем — уже в ручном режиме — проверяет результаты восстановительных работ.

При наличии отклонений (негативном прогнозе, выявлении предотказового состояния или возникновении аварии на ВОЛС) производится регистрация инцидента, жизненный цикл которого представлен на рис. 7 [14].

На этапе обработки инцидента происходит передача сообщений пользователям системы с детальной информацией о результатах идентификации и локализации отклонений с учетом параметров оптических компонентов кабеля и топологических идентификаторов.

Последовательность работ оператора СПАЛП™, отражающая один из циклов решаемых пользователем задач в период эксплуатации, показана на рис. 8.

Каждая из представленных процедур имеет свой уровень приоритета, который при необходимости может быть изменен администратором системы. Он может устанавливать приоритеты групп пользователей или каждого пользователя для работы с определенной функциональностью системы в рамках определенного иерархического уровня управления. Для некоторых групп приоритеты могут быть общими и наследуются подгруппами.

Обобщая вышеизложенное, отметим, что использование СПАЛП™ обеспечивает оптимальное с точки зрения стоимости системы решение задач автоматического обнаружения, локализации и индикации на географической карте откло-

нений характеристик ВОЛС, позволяя прогнозировать возможные неисправности в будущем, минимизируя тем самым время устранения нарушений ВОК. Очевидно, что это позволяет решить и более общую задачу — задачу автоматизированного управления технической эксплуатацией и обслуживанием ВОЛС, создания АСУ ТЭО ВОЛС современных систем телекоммуникаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. Б., Соколов И. В. От разрозненных измерений, анализа и тестирования к сквозному контролю сети // Электросвязь. — 1999. — № 12. — С. 35—40.
2. Иванов А. Б. Сквозной контроль в электросвязи как совокупность измерений, анализа и тестирования // Электросвязь. — 1999. — № 11. — С. 31—37.
3. Иванов А. Б., Соколов И. В. От сквозного контроля сети к контролю качества услуг // Электросвязь. — 2001. — № 2. — С. 37—41.
4. Иванов А. Б., Радомиров Л., Скопин Ю. Г. Методы и оборудование удаленного тестирования ВОЛС // Вестник связи. — 1998. — № 5. — С. 64—72.
5. Иванов А. Б., Соколов И. В. Системы администрирования волоконно-оптических сетей // Вестник связи. — 1998. — № 9. — С. 47—56.
6. Иванов А. Б., Крупеников А. В., Ташоян А. Ф., Хольшин С. И. Мониторинг ВОЛС: задачи и решения // Электросвязь. — 2003. — № 2. — С. 24.
7. Иванов А. Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. — М.: Сайрус Системс, 1999. — 671 с.
8. Иванов А. Б., Ширяев В. В. Оптимизация архитектуры мониторинга сети телекоммуникаций на основе генетического алгоритма // Электросвязь. — 2002. — № 8. — С. 46—49.

9. **Иванов А.Б., Котляр С.С., Стратонников А.А., Ташоян А.Ф., Ширяев В.В.** Оптимизация расписания тестирования физико-информационных сред и процессов//Электромагнитные волны и электронные системы. — 2008. — № 7. — С. 23—32.
10. **Иванов А.Б., Стратонников А.А., Ширяев В.В.** Использование вейвлет-анализа для распознавания и локализации особенностей функциональных зависимостей//Метрология и измерительная техника в связи. — 2006. — № 2. — С. 19—27.
11. **Иванов А.Б., Левченко А.С.** Вейвлет-локализация и нейросетевая идентификация событий рефлектометрических измерений//Электромагнитные волны и электронные системы. — 2008. — № 12. — С. 45—51.
12. **Иванов А.Б., Левченко А.С., Ташоян А.Ф., Хольшин С.И.** Объектно-ориентированный анализ, моделирование, прогнозирование и сравнение функциональных зависимостей//Электромагнитные волны и электронные системы. — 2008. — № 11. — С. 39—48.
13. **С. Кабыш.** ВОЛС в заботливых руках//Сети и телекоммуникации. — 2003. — № 1. — С. 52—57.
14. **Иванов А.Б., Котляр С.С., Ташоян А.Ф.** Моделирование процессов мониторинга и обслуживания сетей инфокоммуникаций сетями Петри//Электромагнитные волны и электронные системы. — 2008. — № 11. — С. 38—45.

*Получено 24.03.10*

## *Рецензии*

**Степанов С.Н.**  
**Основы телетрафика мультисервисных сетей**  
 М.: Эко-Трендз, 2010. — 392 с.

Книга посвящена изложению основных моделей и алгоритмов оценки пропускной способности звеньев и узлов мультисервисных сетей связи. Они необходимы для создания научно обоснованных средств планирования объемов сетевой инфраструктуры, обеспечивающих предоставление инфокоммуникационных сервисов с заданными показателями качества. Приведенные в книге результаты могут быть использованы и для обоснования действий оператора, направленных на повышение эффективности занятия канального ресурса. К таким управляющим действиям относятся назначение приоритетов в обслуживании заявок, использование схем резервирования канального ресурса, применение механизмов динамического изменения скорости передачи информации и т. д. Понятно, что решение перечисленных задач имеет большое значение для развития бизнеса телекоммуникационных компаний и требует теоретического обоснования, которое и составило основную часть монографии.

В книге приведены сведения, необходимые для понимания сущности процессов совместного обслуживания информационных потоков в мультисервисных сетях связи. Обсуждаются особенности реализации перспективных технологий передачи информации, модели поддержки качества обслуживания и механизмы повышения эффективности использования канального ресурса. Формулируются основные этапы планирования сети. Их реализация требует учета многих

факторов и проводится с использованием математических моделей и разработанных на их основе методик оценки показателей обслуживания заявок. Из-за сложности анализируемого объекта и многообразия ситуаций, встречающихся при описании мультисервисной сети, ее исследование ведется не в виде одной модели, а в рамках семейства моделей, каждая из которых применяется на соответствующем этапе планирования сети.

Выбор моделей требует соблюдения известного компромисса между точностью описания процесса распределения ресурса передачи информации и возможностью последующего расчета модели. Автору монографии во многом удалось решить эту довольно сложную задачу. В отобранных моделях учтены следующие факторы:

- особенности формирования входных потоков заявок от конечных групп пользователей;
- наличие повторных заявок от пользователей, получивших по разным причинам отказ в первичной попытке выделения ресурса передачи информации;
- ограниченность доступа к ресурсу передачи; наличие схем резервирования ресурса передачи и приоритизации процесса обслуживания заявок;
- возможность адаптивного изменения скорости передачи информации в зависимости от наличия свободного канального ресурса и т. д.

Таким образом, специалист, занимающийся вопросами проектирования сетей связи, получает возможность выбора расчетной модели исходя из наиболее значимых факторов формирования входных потоков заявок и механизмов использования ресурса передачи информации. Для всех рассмотрен-

ных моделей приведены эффективные алгоритмы вычисления показателей обслуживания заявок.

Значительную часть книги составляют оригинальные результаты, полученные автором самостоятельно или в соавторстве с аспирантами и коллегами, включая известного датского профессора В. Б. Иверсена. Прежде всего следует отметить оптимизированную схему оценки объема канального ресурса, минимально необходимого для обслуживания заданных потоков заявок с регламентированным качеством. Схема отличается устойчивостью и быстротой реализации, поскольку рекурсия в ней проводится по объему канального ресурса и при ее применении используются только нормированные значения вероятностей стационарных состояний. Она легко обобщается с одной модели на другую и является мультисервисным аналогом известного в среде проектировщиков рекурсивного представления формулы Эрланга

$$E(k, a) = aE(k-1, a) / [aE(k-1, a) + k],$$

где  $k=1, 2, \dots$  — число каналов, а величина  $a$  — интенсивность поступления заявок, выраженная в эрлангах.

Другим важным результатом работы являются алгоритмы оценки характеристик для ряда новых моделей, в которых с большей степенью детальности учитываются особенности совместного обслуживания заявок. К ним относятся учет повторения заблокированной заявки и использование обобщенных схем резервирования канального ресурса.

С точки зрения практического применения вызывает интерес построенная и исследованная автором модель мультисервисного звена с адаптивным изменением скорости передачи дан-