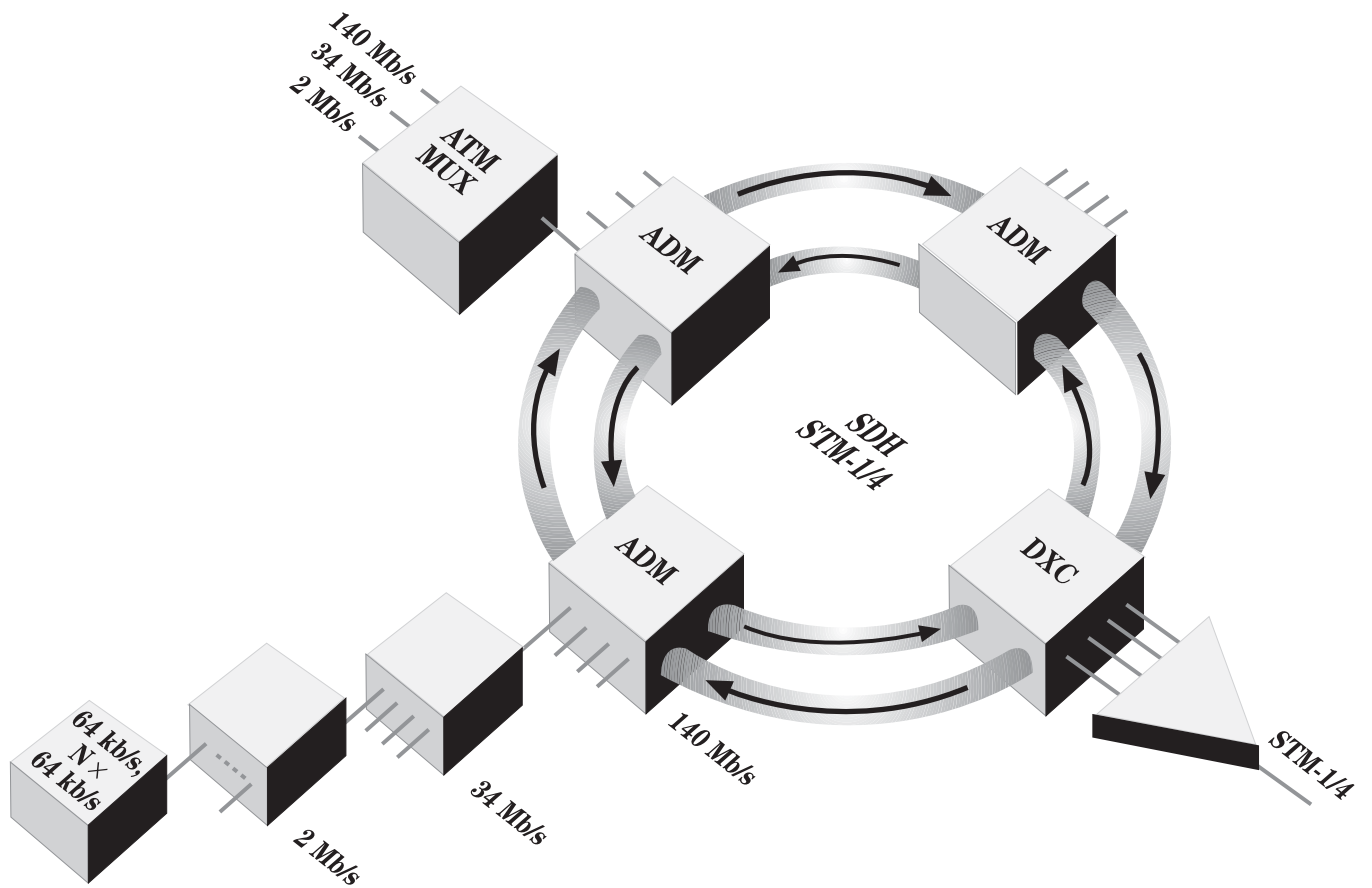


# Тестирование сетей SDH





# Тестирование сетей SDH

**Милтон Гилмор**

**Дэйвид А. Лорд**

**Telecommunications Networks Test Division  
Hewlett-Packard Company**



# Тестирование сетей SDH

**Раздел 1: Обслуживание интеллектуальной сети передачи на основе технологии SDH**

**Раздел 2: Тесты и методики тестирования при инсталляции сети SDH**

**Раздел 3: Выводы**

**Приложения**



# Содержание

Страница

<i>Предисловие</i> .....	i
<i>Выражения признательности</i> .....	iii
<i>Перечень иллюстраций</i> .....	v
<i>Перечень таблиц</i> .....	vii

## **Раздел 1 Обслуживание интеллектуальной сети передачи на основе технологии SDH**

<b>Введение</b> .....	<b>1–3</b>
<b>1.1 Преимущества SDH</b> .....	<b>1–4</b>
<b>1.2 Управление сетью SDH</b> .....	<b>1–5</b>
1.2.1 Управление конфигурацией .....	1–5
1.2.2 Управление обработкой неисправностей и рабочими параметрами .....	1–6
<b>1.3 Управление программой обслуживания сети</b> .....	<b>1–6</b>
1.3.1 Тракт низкого уровня .....	1–7
1.3.2 Тракт высокого уровня .....	1–7
<b>1.4 Управление обработкой неисправностей и техническими параметрами</b> .....	<b>1–7</b>
1.4.1 Первичные данные .....	1–8
1.4.2 Вторичные данные .....	1–8
1.4.3 Типовая сеть SDH .....	1–9
<b>1.5 Обнаружение и локализация неисправностей</b> .....	<b>1–10</b>
1.5.1 Типичные неисправности сети .....	1–10
1.5.2 Типы сетевых данных .....	1–10
1.5.3 Обрыв линии связи .....	1–12
1.5.4 Ухудшение качества связи .....	1–12
1.5.5 Неисправности аппаратных средств .....	1–13
1.5.6 Ошибки маршрутизации тракта низкого уровня .....	1–15
<b>1.6 Сети с несколькими операторами</b> .....	<b>1–16</b>
<b>1.7 Практическое обнаружение неисправностей</b> .....	<b>1–18</b>
<b>1.8 Практическая локализация неисправностей</b> .....	<b>1–19</b>
<b>1.9 Роль тестеров SDH</b> .....	<b>1–19</b>

## Содержание (продолжение)

Страница

<b>Раздел 2</b>	<b>Тесты и методики тестирования при инсталляции сети SDH</b>	
	Введение .....	2–3
2.1	Жизненный цикл сетевого оборудования .....	2–4
2.2	Состав сети SDH .....	2–7
2.3	Конфигурирование рабочих характеристик сетевых элементов .....	2–8
2.4	Базовая процедура инсталляции .....	2–10
2.5	<b>Общие аспекты испытательной установки SDH</b> .....	2–11
2.5.1	Предотвращение перегрузки оптического приемника .....	2–11
2.5.2	Синхронизация .....	2–12
2.5.3	Одновременное или последовательное тестирование .....	2–13
2.6	<b>Функциональный контроль аппаратуры SDH</b> .....	2–14
2.6.1	Функциональный контроль SDH в процессе инсталляции .....	2–14
2.6.2	Проверка правильности механической сборки .....	2–15
2.6.3	Проверка правильности маршрутизации к портам компонентных нагрузок PDH .....	2–16
2.6.4	Маршрутизация трактов к портам компонентных нагрузок SDH .....	2–17
2.6.5	Проверка правильности конфигурации идентификатора трассировки маршрута .....	2–18
2.6.6	Проверка тактовой синхронизации .....	2–19
2.6.7	Проверка защитного (резервного) переключения .....	2–21
2.7	<b>Тестирование дрожания фазы (джиттера) в сетях SDH (методики)</b> .....	2–23
2.7.1	Измерение предельно допустимого джиттера в сетевых элементах SDH .....	2–24
2.7.2	Измерение джиттера на оптическом выходе .....	2–25
2.7.3	Измерение джиттера компонентной нагрузки PDH .....	2–26
2.7.4	Джиттер из-за выравнивания указателей (тестовая конфигурация) .....	2–27
2.7.5	Нормативы на джиттер выравнивания указателя .....	2–28
2.7.6	Измерение джиттера выравнивания указателя SDH (комбинированный джиттер) .....	2–31



## Содержание (продолжение)

	Страница
	2.7.7 Джиттер извлечения (тестовая конфигурация)
2-32	2.7.8 Измерение джиттера извлечения .....2-34
2.8	<b>Заключение</b> .....2-35
<b>Раздел 3</b>	<b>Выводы</b>
	Введение .....3-3
3.1	<b>Выбор портативного тестера SDH</b> .....3-4

## Приложения

<b>Приложение 1:</b>	<b>Рекомендации ITU-T по стандартам синхронной передачи</b> . . . . .	<b>A-3</b>
A-1.1	ITU — Международный союз электросвязи (МСЭ) . . . . .	A-3
A-1.2	Разработка стандартов синхронных сетей SDH . . . . .	A-4
A-1.3	Рекомендации ITU-T для синхронной передачи . . . . .	A-4
<b>Приложение 2</b>	<b>Структура и иерархия SDH</b> . . . . .	<b>A-7</b>
A-2.1	Элементы иерархии . . . . .	A-7
A-2.2	Базовая сеть SDH . . . . .	A-8
A-2.3	Заголовок сети SDH . . . . .	A-9
A-2.4	Структура кадра STM-1 . . . . .	A-10
A-2.5	Указатели . . . . .	A-11
A-2.6	Блоки компонентной нагрузки (TUs) . . . . .	A-12
	<i>A-2.6.1 Структура кадра блока компонентной нагрузки . . . . .</i>	<i>A-13</i>
<b>Приложение 3</b>	<b>Функции заголовков</b> . . . . .	<b>A-15</b>
A-3.1	Заголовки трактов высокого уровня (VC-4) . . . . .	A-15
A-3.2	Заголовок мультиплексорной секции . . . . .	A-17
A-3.3	Заголовок регенераторной секции . . . . .	A-19
A-3.4	Заголовки трактов низкого уровня . . . . .	A-21
<b>Приложение 4</b>	<b>Аварийные сигналы и отклики сети SDH</b> . . . . .	<b>A-23</b>
A-4.1	Определения аварийных сигналов/событий SDH . . . . .	A-24
<b>Приложение 5</b>	<b>Джиттер в сетях SDH</b> . . . . .	<b>A-25</b>
A-5.1	Источники джиттера . . . . .	A-25
A-5.2	Измерения джиттера . . . . .	A-26
A-5.3	Джиттер выравнивания указателя SDH (основные сведения) . . . . .	A-28
A-5.4	Джиттер извлечения (основные сведения) . . . . .	A-30
<b>Приложение 6</b>	<b>Синхронизация сетей SDH</b> . . . . .	<b>A-31</b>
A-6.1	Измерения линейной частоты . . . . .	A-31
A-6.2	Анализ указателя . . . . .	A-32
A-6.3	Декодирования статуса синхронизации . . . . .	A-32
<b>Приложение 7</b>	<b>Автоматическое защитное (резервное) переключение</b> . . . . .	<b>A-34</b>
A-7.1	Защита линейных сетей . . . . .	A-35
A-7.2	Защита кольцевых сетей . . . . .	A-35
A-7.3	Инициирование защитного переключения . . . . .	A-37
A-7.4	Тестирование защитного переключения . . . . .	A-39

## Предисловие

С середины 80-х годов инженеры, работающие в области телекоммуникаций, затратили тысячи человеко-лет в попытках создания современных стандартов синхронной цифровой иерархии (SDH). Наградой за этот титанический труд стала “телекоммуникационная сеть двадцать первого века” - система, основанная на сетевых элементах SDH, гибкая, надежная и эффективная в эксплуатации и обслуживании.

С точки зрения оператора сети достоинства технологии SDH гарантируют пользователю предоставление полного спектра современных услуг связи. Эти достоинства, обусловленные оптимизацией сетевых характеристик, обеспечивают:

- эффективное управление полосой пропускания сети
- контроль параметров сети в рабочем режиме (без прерывания связи)
- защиту сети в динамическом режиме
- функциональную совместимость сетевых элементов различных поставщиков

Реализация этих достоинств основана на унифицированном исполнении большинства внутренних взаимосвязанных функций аппаратуры SDH.

Вместе эти функции полностью описывают функциональные рабочие характеристики сетевых элементов (NE). Поэтому проверка правильного выполнения этих основных функций является необходимой мерой, гарантирующей операторам сетей и пользователям обещанные возможности в процессе эксплуатации.

### Требования к тестам SDH

Проверка соответствия сетевого элемента SDH стандартам ITU-T и ETSI требует более широких тестовых возможностей, чем это было необходимо для выполнения простых измерений коэффициента битовых ошибок (BER) при сквозном тестировании первых сетей PDH.

Эти тестовые возможности охватывают четыре основные категории, каждая из которых связана с определенными функциями сигнала SDH.

- **Тесты транспортных возможностей сети**  
Транспортные возможности сети SDH проверяются тестами BER (измерение коэффициента битовых ошибок) и mapping/demapping (упаковка/распаковка плезиохронных сигналов в виртуальном контейнере). Эти тесты гарантируют, что сеть SDH несет полезную нагрузку (компонентный поток 2, 34 или 140 Мбит/с) и правильно доставляет ее к месту назначения.

- **Тесты указателя полезной нагрузки**  
Тесты смещения частоты синхронизации и дрожания фазы на выходе компонентного потока проверяют возможности SDH по адаптации асинхронных операций сети. Эти тесты гарантируют, что работа оборудования сети SDH не будет мешать работе другого (не SDH) оборудования, уже используемого в сетях.
- **Тесты встроенных заголовков**  
К этой категории тестов относятся имитация сигнала аварии и наблюдение за реакцией сети, а также другие специальные тесты протоколов управления сетью. Эти тесты гарантируют, что сетевая аппаратура SDH предсказуемым образом реагирует на аварийные ситуации, способные повлиять на работоспособность сети.
- **Тесты линейного интерфейса**  
Параметрические тесты, подтверждающие электрические и оптические функциональные возможности линейного интерфейса SDH.

*Обслуживание интеллектуальной сети передачи на основе технологии SDH* (первый раздел настоящего руководства) рассматривает, насколько справедливо утверждение, что технология SDH исключает необходимость применения портативных тестеров систем передачи для повседневного обслуживания сети.

Рассматриваются “встроенные” возможности сетевых элементов SDH обеспечивать контроль в рабочем режиме (без перерыва связи). На конкретных примерах типичных состояний неисправности сети демонстрируются возможности сетевых элементов:

- быстро **обнаруживать** наличие неисправности сети
- точно **локализовать** источник неисправности сети.

Кроме того, критически оценивается способность сетевых элементов SDH поддерживать эффективную эксплуатацию и техническое обслуживание сети.

Оценка способности технологии SDH выполнять стандартные задачи обслуживания сети помогает выявить практические ситуации, когда данных, поступающих от сетевых элементов SDH, недостаточно для полного и эффективного уровня поддержки. Поэтому операторам сетей, нуждающимся в разработке эффективных процедур эксплуатации и обслуживания, потребуются расширенные тестовые возможности сети.

*Именно эти расширенные тестовые возможности обеспечивают тестеры SDH. Эти тестовые возможности являются существенным дополнением к встроенным функциям текущего контроля (мониторинга), выполняемым сетевыми элементами SDH.*

**Тесты и методы тестирования при инсталляции сетей SDH** (второй раздел руководства) определяет основные тесты при инсталляции, эффективно поддерживающие эксплуатацию и обслуживание сети SDH.

В нем рассмотрена типовая процедура инсталляции сетевых элементов; указаны рабочие характеристики, конфигурируемые персоналом в процессе инсталляции. Подробно описаны наиболее важные методы тестирования, применяемые для проверки каждого шага этого процесса инсталляции и конфигурирования.

Настоящее руководство включает расширенные тестовые возможности, предоставляемые тестерами SDH для подтверждения транспортных возможностей сети, проверки влияния указателя полезной нагрузки и выполнения тестов встроенных заголовков. Параметрические испытания линейных интерфейсов выходят за пределы настоящего руководства, они рассмотрены в других публикациях компании Хьюлетт-Паккард.

***Портативное тестовое оборудование SDH необходимо для полной поддержки процедур эксплуатации и обслуживания получающих все более широкое распространение современных сетей SDH***

## Выражения признательности

Настоящее руководство, подготовленное на основе материалов ряда семинаров, разработано сверхурочно, чтобы проинформировать сетевых операторов о наилучшем использовании телекоммуникационных тестовых приборов компании Хьюлетт-Паккард для улучшения обслуживания и работоспособности их сетей.

Мы весьма признательны многим представителям мировой телекоммуникационной отрасли промышленности, как операторам сетей, так и производителям сетевого оборудования, за предоставленную информацию и полученные отзывы при подготовке этой книги. Многие из этих людей стали больше, чем просто клиенты. Теперь они наши коллеги и партнеры по разработке, с которыми мы продолжаем обмениваться информацией и знаниями, таким образом помогая друг другу расти и совершенствоваться в соответствующих областях стремительно развивающейся телекоммуникационной отрасли.

Мы признательны руководству компании Хьюлетт-Паккард, а также коллегам по работе за предложенные идеи и помощь при издании настоящего Руководства.

Описанные здесь методы тестирования разработаны компанией Хьюлетт-Паккард. Некоторые данные Руководства основаны на информации, диаграммах и рисунках, взятых из Рекомендаций ITU-T с любезного разрешения Международного Союза Электросвязи (ITU), как держателя авторских прав.

В случае необходимости читателю следует обратиться к авторской версии текста соответствующих рекомендаций ITU-T. Эти сведения могут быть получены по адресу:

*International Telecommunications Union  
General Secretariat  
Sales and Marketing Service  
Place des Nations  
CH – 1211 GENEVA 20  
Switzerland*

*Телефон: +41 22 730 61 41 (для говорящих по-английски)  
+41 22 730 61 42 (для говорящих по-французски)*

*Телекс: 421 000 uit ch*

*Факс: +41 22 730 51 94*

*X.400: S=sales P=itu C=ch*

*Internet: sales@itu.int.*

# Перечень иллюстраций

Страница

<b>Раздел 1</b>	
Рисунок 1.1	Порядок обслуживания сети SDH .....1–3
Рисунок 1.2	Основной принцип эффективного управления сетью ....1–5
Рисунок 1.3	Упрощенная трехэлементная сеть управляемых элементов .....1–6
Рисунок 1.4	Сетевые источники первичных и вторичных данных ....1–8
Рисунок 1.5	Обнаружение и локализация неисправностей трактов низкого уровня в типовой сети .....1–9
Рисунок 1.6	Обнаружение и локализация неисправностей на основании данных от сетевых элементов .....1–11
Рисунок 1.7	Неисправность — обрыв линии связи .....1–12
Рисунок 1.8	Неисправность — ухудшение качества связи .....1–13
Рисунок 1.9	Неисправность — отказ аппаратной части сетевого элемента .....1–14
Рисунок 1.10	Неисправность — ошибка маршрутизации тракта низкого уровня .....1–15
Рисунок 1.11	Локализация неисправности в сети с несколькими операторами .....1–16
Рисунок 1.12	Обслуживание сети SDH .....1–19
Рисунок 1.13	Порядок обслуживания сети SDH и роль портативных тестеров SDH .....1–20
<b>Раздел 2</b>	
Рисунок 2.1	Жизненный цикл сетевого оборудования .....2–4
Рисунок 2.2	Различные виды и частота тестирования .....2–5
Рисунок 2.3	Сравнение функционального состава сетей PDH и SDH .....2–7
Рисунок 2.4	Функции сетевого элемента .....2–8
Рисунок 2.5	Упрощенная процедура инсталляции сети SDH .....2–10
Рисунок 2.6	Инсталляция сетевого элемента SDH .....2–11
Рисунок 2.7	Применение оптических аттенуаторов для защиты приемника от перегрузки .....2–12
Рисунок 2.8	Синхронизация тестовой установки .....2–12
Рисунок 2.9	Порты стимулов и откликов .....2–13
Рисунок 2.10	Основная тестовая конфигурация для проверки инсталляции .....2–14
Рисунок 2.11	Проверка правильности маршрутизации трактов к портам компонентных нагрузок PDH .....2–16
Рисунок 2.12	Проверка правильности маршрутизации тракта к портам компонентных нагрузок SDH .....2–17
Рисунок 2.13	Проверка обнаружения идентификатора трассировки маршрута и аварийного сообщения о несовпадении .....2–19
Рисунок 2.14	Проверка иерархии тактовой синхронизации и аварийного переключения .....2–20
Рисунок 2.15	Проверка APS в линейных сетях .....2–22
Рисунок 2.16	Проверка APS в сетях с кольцевой архитектурой .....2–23
Рисунок 2.17	Определение допуска на джиттер на оптическом входе приемника методом добавки 1 дБ мощности ....2–24

## Перечень иллюстраций (продолжение)

		Страница
Рисунок 2.18	Маски допуска на джиттер SDH (G.825 ITU-T) .....	2–25
Рисунок 2.19	Оценка джиттера на оптическом выходе STM-N .....	2–26
Рисунок 2.20	Тестовая конфигурация джиттера указателя .....	2–27
Рисунок 2.21	Рекомендация G.783 ITU-T, тестовые последовательности джиттера указателя (AU-4 и TU-3) .....	2–29
Рисунок 2.22	Тестовая конфигурация джиттера извлечения .....	2–33
<b>Приложения</b>		
Рисунок А-2.1	Структура мультиплексирования SDH (на основе рекомендации G.707 ITU-T) .....	А–7
Рисунок А-2.2	Передача данных по сети SDH .....	А–8
Рисунок А-2.3	Логические сегменты сети SDH .....	А–9
Рисунок А-2.4	Структура STM-1 и VC-4 .....	А–10
Рисунок А-2.5	Структура заголовка STM-1 .....	А–11
Рисунок А-2.6	Указатели: связь между секционным заголовком и VC .....	А–12
Рисунок А-2.7	Структура кадра блока компонентной нагрузки (TU) ...	А–13
Рисунок А-2.8	Блок компонентной нагрузки (TU) внутри кадра VC-4 STM-1 .....	А–14
Рисунок А-3.1	Байты заголовка трактов высокого уровня VC-4 (выделены) .....	А–15
Рисунок А-3.2	Байты секционных заголовков STM-1 (выделены байты заголовка мультиплексорной секции) .....	А–18
Рисунок А-3.3	Байты секционных заголовков STM-1 (выделены байты заголовка регенераторной секции) .....	А–20
Рисунок А-3.4	Структура заголовка VC-12 (асинхронное размещение) .....	А–21
Рисунок А-4.1	Обслуживание без перерыва связи и аварийные сигналы .....	А–23
Рисунок А-5.1	Измерение джиттера .....	А–27
Рисунок А-5.2	Соотношение между частотой джиттера, амплитудой и единичным интервалом (UI) .....	А–28
Рисунок А-5.3	Типичный джиттер PDH, возникающий в результате выравнивания указателя .....	А–29
Рисунок А-5.4	Типовые характеристики джиттера извлечения .....	А–30
Рисунок А-7.1	Защита линейной сети .....	А–35
Рисунок А-7.2	Защита кольцевой сети .....	А–36
Рисунок А-7.3	Задержка синхронизации тестера в режиме APS .....	А–40



# Перечень таблиц

Страница

<b>Раздел 1</b>	
Таблица 1.1	Данные обнаружения и локализации неисправностей, получаемые от каждого сетевого элемента ..... 1–11
Таблица 1.2	Потенциальные возможности обнаружения неисправностей “встроенными” средствами контроля ..... 1–17
<b>Раздел 2</b>	
Таблица 2.1	Основные виды работ операторов при тестировании сети ..... 2–4
Таблица 2.2	Этапы тестирования и их назначение ..... 2–6
Таблица 2.3	Спецификации оптических приемников. Рекомендации G.957 ITU-T ..... 2–11
Таблица 2.4	Интерпретация трактовых отказов BER при механической сборке ..... 2–15
Таблица 2.5	Интерпретация отказов порта компонентных нагрузок PDH ..... 2–17
Таблица 2.6	Интерпретация отказов маршрутизации портов компонентной нагрузки SDH ..... 2–18
Таблица 2.7	Рекомендация G.783 ITU-T, джиттер указателя (комбинированный джиттер) ..... 2–30
Таблица 2.8	Измерение джиттера, установки тестера SDH ..... 2–31
Таблица 2.9	Рекомендация G.783 ITU-T по джиттеру извлечения ..... 2–34
<b>Раздел 3</b>	
Таблица 3.1	Сводная таблица типичных тестов инсталляции SDH ..... 3–3
<b>Приложения</b>	
Таблица А-5.1	Типовые требования к тестированию джиттера в течение жизненного цикла сетевого оборудования ... А–25
Таблица А-5.2	Основные рекомендации ITU-T по джиттеру ..... А–26
Таблица А-5.3	Джиттер извлечения (Рекомендация G.783 ITU-T) ..... А–30
Таблица А-6.1	Декодирование байта синхронизации S1 заголовка SDH ..... А–33
Таблица А-7.1	Таблица байтов K1/K2 из рекомендации G.783 ITU-T ..... А–38
Таблица А-7.2	Таблица байтов K1/K2 из рекомендации G.841 ITU-T ..... А–38



## **Раздел 1**

### **Обслуживание интеллектуальной сети передачи на основе технологии SDH**



## Обслуживание интеллектуальной сети передачи на основе технологии SDH

### Портативные тестеры систем передачи для повседневного обслуживания сети

Со стороны представителей технологии SDH часто можно слышать заявления, что эта технология не требует применения переносных тестеров систем передачи при повседневном обслуживании сети.

Это утверждение основывается на внутренней способности сетевых элементов поддерживать эффективную эксплуатацию и техническое обслуживание сети. Они обеспечивают эту поддержку, используя информацию, содержащуюся в самой структуре заголовка сигнала SDH или извлекаемую из него.

*Обслуживание интеллектуальной сети передачи на основе технологии SDH* (первый раздел руководства **Тестирование сетей SDH**) дает оценку справедливости этого утверждения. Здесь рассмотрена “встроенная” функциональная возможность сетевых элементов SDH обеспечивать контроль в рабочем режиме (без перерыва связи). На конкретных примерах типичных состояний неисправности сети демонстрируются возможности сетевых элементов:

- быстро *обнаруживать* наличие неисправности сети
- точно *локализовать* источник неисправности сети.

Кроме того критически оценивается способность сетевых элементов SDH поддерживать эффективную эксплуатацию и техническое обслуживание сети.



Рис. 1.1. Порядок обслуживания сети SDH

Оценка способности технологии SDH выполнять стандартные задачи обслуживания сети помогает выявить практические ситуации, или *пробелы возможностей*, когда данных, поступающих от сетевых элементов SDH, недостаточно для полного соответствия этому уровню поддержки. Поэтому операторам сетей, имеющим потребности в разработке эффективных процедур эксплуатации и обслуживания, потребуются расширенные возможности тестирования сети.

## 1.1. Преимущества SDH

Перед началом исследования требований и проблем, связанных с обслуживанием сетей SDH, следует кратко рассмотреть преимущества технологии SDH по сравнению с технологией плезиохронной цифровой иерархии (PDH).

С точки зрения оператора сети, технология SDH обеспечивает возможность создания телекоммуникационной сети, значительно *более гибкой, надежной и эффективной* в эксплуатации и обслуживании по сравнению с ее эквивалентом на основе технологии PDH.

Упомянутые основные преимущества обеспечиваются четырьмя ключевыми функциональными возможностями сетевых элементов SDH:

- **эффективное управление полосой пропускания сети**  
Удовлетворение требований по обслуживанию пользователя и высокая конкурентоспособность обеспечиваются цифровыми кросс-коммутаторами (DXC) и мультиплексорами ввода/вывода (ADM), поддерживающими программную маршрутизацию сетевых трактов (предоставление полосы пропускания по требованию)
- **уменьшение эксплуатационных расходов**  
Расширенный мониторинг сети в процессе ее эксплуатации (без прерывания связи) обеспечивается на основании данных, получаемых сетевыми элементами непосредственно из структуры сигнала SDH (заголовка)
- **автоматическая защита сети**  
Сети SDH “самовосстанавливаются” при обнаружении состояния неисправности. Для самовосстановления сети используются методы защитного переключения, предусмотренные стандартами SDH как для сетевых трактов, так и для оптических линий связи
- **функциональная совместимость сетевых элементов различных поставщиков**  
Требуемые рабочие характеристики совместимых элементов SDH полностью определены рекомендациями ITU-T. Поэтому (теоретически) возможна совместная работа сетевых элементов различных поставщиков. Такая возможность обеспечивает коммерческую выгоду при закупках оборудования операторами сети

**Тестеры SDH обеспечивают расширенные возможности тестирования. Эти возможности являются необходимым дополнением к средствам встроенного контроля сетевых элементов SDH.**

## 1.2. Управление сетью SDN

Инженеры разрабатывают сетевые элементы SDN с целью создания эффективной сети передачи. Однако сами по себе сетевые элементы SDN не могут реально обеспечить “эффективной сети передачи”.

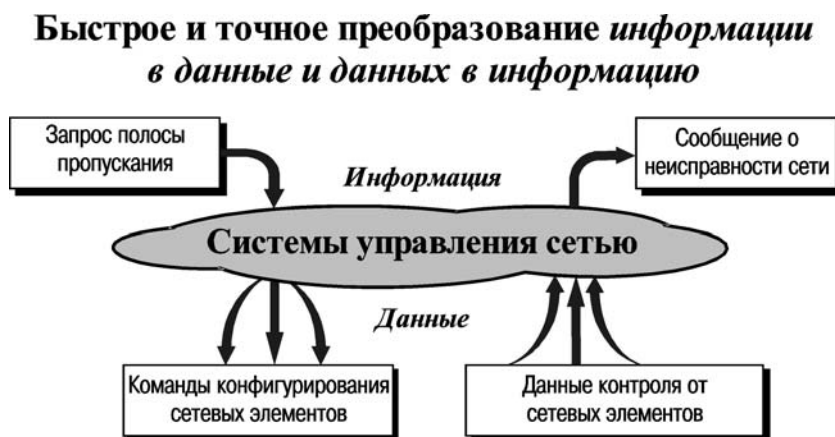


Рис. 1.2. Основной принцип эффективного управления сетью

Оператор может реализовать все потенциальные возможности сетевой технологии SDN только в том случае, если *единая система управления сетью* управляет *всеми* сетевыми элементами. В идеальном случае это будет *одна* система управления. Такая система управления должна иметь следующие возможности:

- выдавать команды конфигурирования на все сетевые элементы в сети SDN,
  - обеспечивая эффективное *управление конфигурацией* сетевых трактов, то есть установку правильной сквозной маршрутизации для новых сетевых трактов
- принимать и обрабатывать (анализ/корреляция) данные об ошибках и аварийных ситуациях от всех сетевых элементов сети передачи,
  - обеспечивая эффективное *управление обработкой неисправностей и рабочими параметрами* сетевых каналов и трактов

### 1.2.1. Управление конфигурацией

Роль управления конфигурацией практически сводится к быстрому и точному преобразованию *информации в данные*. Программное обеспечение, заложенное в систему управления сетью, *быстро и точно* преобразует *запросы на маршрутизацию тракта* (информация) в *команды конфигурирования* (данные). Эти команды данных должным образом выполняются всеми сетевыми элементами, такими как мультиплексоры ввода/вывода (ADM) и цифровыми кросс-коммутаторами (DXC).

## 1.2.2. Управление обработкой неисправностей и рабочими параметрами

Подсистемы управления обработкой неисправностей и рабочими параметрами выполняют противоположную задачу - *преобразование данных в информацию*. Они получают данные об ошибках и аварийных ситуациях из сетевых элементов и преобразуют их в сообщения о рабочих параметрах сети. Эта функция управления эффективно выполняется только в том случае, если системы управления обработкой неисправностей и рабочими параметрами имеют доступ к соответствующим данным о конфигурации сети (данные о маршрутизации каналов и трактов).

## 1.3. Управление программой обслуживания сети

Теперь рассмотрим данные о работе сети, поступающие от сетевых элементов. Это именно те данные об ошибках и авариях, (именуемые в ИТУ-Т “дефектами и аномалиями”), которые обеспечивают решение задач по обслуживанию сети. Также предполагается, что системы управления обработкой неисправностей и рабочими параметрами имеют доступ к любому элементу в сети передачи. В идеальной сети управление всеми сетевыми элементами объединяется в единую сеть управления телекоммуникациями (TMN).

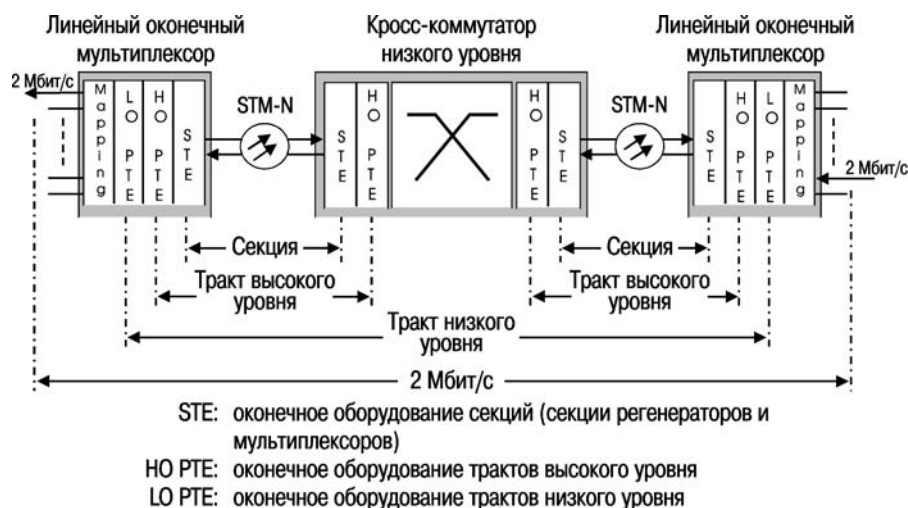


Рис. 1.3. Упрощенная трехэлементная сеть управляемых элементов

Для определения возможности обслуживания сети SDH, необходимо ответить на два важных вопроса:

- какие данные о неисправностях и состоянии системы вырабатывают сетевые элементы
- где конкретно эти данные можно получить в сети

Чтобы ответить на эти вопросы, рассмотрим простой пример с трехэлементной сетью, поясняющий передачу элементами сети SDH сигнала 2Мбит/с (наиболее широко используемого сигнала в современных сетях).

В настоящее время фирмы-поставщики оборудования SDH предлагают управляющие программы только для своих собственных сетевых элементов. По этой причине для сети SDH, в которой используется оборудование нескольких изготовителей, требуется наличие нескольких систем управления; обычно по одной такой системе от каждого изготовителя, если в сети установлен хотя бы один его сетевой элемент. Однако и для сети SDH, в которой используется оборудование только одного изготовителя, оператору часто требуется несколько управляющих программ по следующим причинам:

- если управляющая программа предназначена для управления только одним фрагментом сети (например, одной кольцевой схемой мультиплексоров ввода/вывода)
- цифровые кросс-коммутаторы и мультиплексоры ввода/вывода или линейные оконечные мультиплексоры имеют свои собственные системы управления элементами, и эти системы не интегрированы в единую систему управления.



### 1.3.1. Тракт низкого уровня

Транспортировка сигнала 2 Мбит/с по сети SDH осуществляется трактом низкого уровня (LO) внутри структурированного сигнала. Этот сигнал называется VC-12 (VC - виртуальный контейнер). Сборка VC-12 происходит в линейном оконечном мультиплексоре LTM, в точке ввода сигнала 2 Мбит/с в сеть SDH.

Разборка происходит только в точке выхода сигнала 2Мбит/с из сети (в удаленном LTM). Эти точки сборки и разборки называются *окончаниями тракта низкого уровня*. На рис. 1.3 они находятся в оконечном оборудовании тракта низкого уровня (LO PTE).

Только в этих трактовых окончаниях низкого уровня, где происходит разборка каждого VC-12, можно получить данные рабочих параметров передачи (ошибки четности и сигналы аварии) конкретного VC-12, и соответствующего конкретного потока 2Мбит/с обслуживания абонента. Следовательно, сеть SDH может обеспечить данные, указывающие на состояние любого индивидуального тракта VC-12 низкого уровня при сквозной передаче.

### 1.3.2. Тракт высокого уровня

При высокой плотности передачи по сети SDH несколько виртуальных контейнеров VC-12 мультиплексируются в две структуры сигналов более высокого уровня VC-4 и STM-N (*структура мультиплексирования SDH показана на рис. А-2.1*):

- VC-4 получается путем мультиплексирования 63 сигналов VC-12 и переносится *трактом высокого уровня*. Существует *окончание VC-4*, где для любого цифрового кросс-коммутатора, мультиплексора ввода/вывода или линейного оконечного мультиплексора (DXC/ADM/LTM) требуется доступ к любому тракту низкого уровня внутри VC-4
- кадр STM-N получается мультиплексированием  $n$  сигналов VC-4 (где  $n = 1, 4, 16$  или  $64$ ). Передается по оптической (обычно) или электрической *секции*. *Окончание STM-N* имеется в принимающих DXC/ADM/LTM

Данные о рабочих параметрах в этих окончаниях VC-4 и STM-N обеспечивают сквозные измерения этих параметров для каждого тракта высокого уровня и передающей секции (линии связи), используемой для транспортировки тракта низкого уровня VC-12.

## 1.4. Управление обработкой неисправностей и техническими параметрами

Повторно анализируя приведенную выше простую трехэлементную сеть, можно определить сетевые источники данных, которые используются для контроля передачи сигнала обслуживания 2 Мбит/с по сети SDH.

### 1.4.1. Первичные данные

Первичные данные - это данные, свойственные только виртуальному контейнеру VC-12, содержащему основной сигнал 2 Мбит/с.

Первичные данные:

- доступны только на *окончании тракта низкого уровня* (это выход потока 2 Мбит/с из сети SDH)
- состоят из *данных обнаружения ошибок четности трактов низкого уровня и данных об аварийных состояниях* (четность ВР-12 VC-12 и аварии VC-12, см. **Приложение А-4 “Аварийные сигналы и отклики сети SDH”**)
- обеспечивают *непрерывный мониторинг рабочих параметров сквозной передачи* тракта низкого уровня (канал VC-12)
- являются идеальным средством обнаружения наличия *сетевых неисправностей*, влияющих на работу конкретного тракта низкого уровня, но не средством их локализации

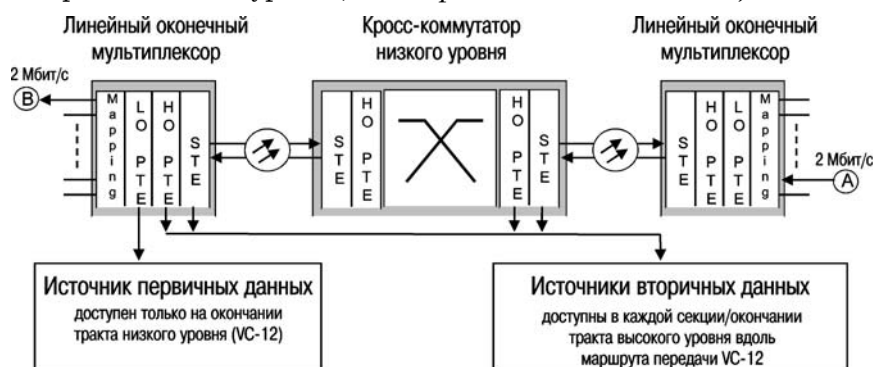


Рис. 1.4. Сетевые источники первичных и вторичных данных

### 1.4.2. Вторичные данные

Вторичные данные называются так, потому что они *не относятся* к отдельным VC-12, содержащим потоки 2 Мбит/с, а являются *мерой оценки суммарных рабочих параметров* нескольких каналов VC-12.

Вторичные данные:

- доступны в каждой *секции* и в *окончании тракта высокого уровня* по всему маршруту передачи
- состоят из *данных обнаружения секционных ошибок и аварийных состояний трактов высокого уровня*, а также *обнаружения ошибок четности*
- обеспечивают *непрерывный мониторинг рабочих параметров* сквозной передачи каждой *секции* и каждого *тракта высокого уровня*
- обнаруживают:
  - проблемы *секционных данных*, возникающие на уровне физической среды передачи (оптические линии связи) или аппаратуры секционных окончаний, кроме ошибок (маршрутизации/конфигурирования) и неисправностей аппаратных средств, **свойственных только** каналам VC-12
  - проблемы *данных трактов высокого уровня (VC-4)* в оконечном оборудовании VC-4, а также ошибки маршрутизации VC-4

Вторичные данные также помогают локализовывать источники некоторых, но не всех, сетевых проблем, которые могут повлиять на тракты низкого уровня.

(Более подробно об этой функциональной возможности, предоставляемой сетевыми источниками данных о рабочих параметрах, см. *раздел 1.5 “Обнаружение и локализация неисправностей”*).

### 1.4.3. Типовая сеть SDH

Упрощенную трехэлементную сеть можно заменить более сложной и реальной сетью SDH, представленной на рис. 1.5. Здесь поток обслуживания абонента 2 Мбит/с вводится в сеть SDH на уровне местного кольца доступа, затем он поступает в национальную магистральную сеть для передачи на большое расстояние, а затем возвращается во второе местное кольцо SDH, прежде чем выйти из сети SDH.

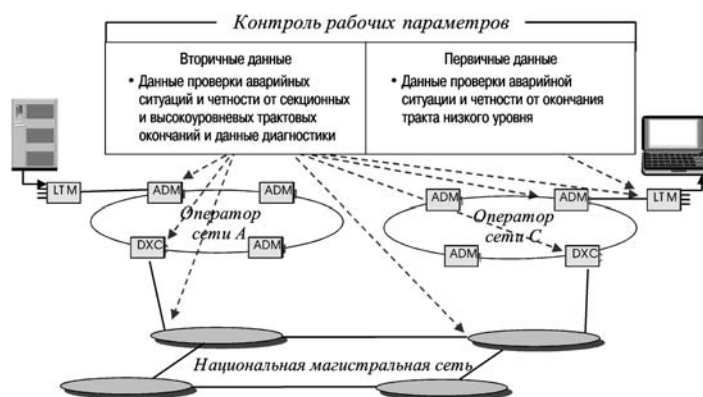


Рис. 1.5. Обнаружение и локализация неисправностей трактов низкого уровня в типовой сети

В этом случае тракт низкого уровня, несущий поток обслуживания 2 Мбит/с, проходит через большое количество сетевых элементов SDH, включая:

- несколько мультиплексов ввода/вывода низкого уровня (2 Мбит/с в STM-1 или в STM-4)
- обычно два или более кросс-коммутаторов 4/1 трактов VC-12
- несколько мультиплексов ввода/вывода высокого уровня (от STM-1 до STM-16)
- обычно один или несколько кросс-коммутаторов 4/4 трактов VC-4

Из этого более реального примера сети видно, что в ней существует только одно место, обеспечивающее первичные данные контроля рабочих параметров, которые свойственны только VC-12, содержащему сигнал обслуживания 2 Мбит/с. Этим местом является точка окончания тракта VC-12.

Для целей локализации неисправностей вторичные данные можно получить в каждой секции и окончании тракта высокого уровня (VC-4) вдоль всего тракта передачи VC-12. Эти вторичные данные рабочих параметров не всегда способны обеспечить отыскание источника неисправности в сети, который влияет на тракт низкого уровня. Ниже более подробно рассмотрены вопросы обнаружения и локализации неисправностей.

## 1.5. Обнаружение и локализация неисправностей

Прежде всего здесь рассматриваются данные контроля, встроенные в сетевые элементы SDH. Необходимо специально рассмотреть вопрос достаточности этих данных для обнаружения и локализации наиболее общих проблем передачи трактов низкого уровня системой управления сетью. Особый интерес представляют четыре основных источника неисправностей сетей передачи SDH: ошибки маршрутизации, обрыв линии связи, ухудшение качества связи, отказы аппаратных средств.

### 1.5.1. Типичные неисправности сети

Приводимый ниже перечень неисправностей составлен в произвольном порядке. Однако, по информации сетевых операторов наиболее частым общим источником неисправностей в сети SDH являются ошибки маршрутизации трактов низкого уровня.

- **Обрыв линии связи или оптического волокна**  
Типичные причины:  
случайный обрыв при проведении земляных работ, оседание грунта, землетрясение
- **Ухудшение качества связи (неприемлемо высокий коэффициент фоновых ошибок)**  
Типичные причины:  
накопление дрожания фазы (джиттера), низкая принимаемая мощность, оптические отражения из-за некачественных соединений или неточной сварки волоконно-оптического кабеля
- **Отказ аппаратных средств сетевого элемента**  
Типичные причины:  
хотя сетевые элементы, подобно всем современным электронным устройствам, являются высоконадежными, в процессе их эксплуатации возможны отказы
- **Ошибка маршрутизации тракта (появление неисправности на уровне трактов низкого или высокого уровня).**  
Типичные причины:  
неправильная маршрутизация трактов в мультиплексорах ввода/вывода или цифровых кросс-коммутаторах (возможно, вызванная ошибкой оператора в процессе установки сетевых трактов при использовании нескольких систем управления конфигурацией или в результате сбоя в программном обеспечении системы управления конфигурацией)

### 1.5.2. Типы сетевых данных

Какие данные можно получить из сети для более подробной информации об этих неисправностях? Для ответа на этот вопрос полезно снова упростить задачу, вернувшись к примеру упрощенной трехэлементной сети. Это поможет точно установить место в сети, где есть свободный доступ к данным и известен тип этих данных.

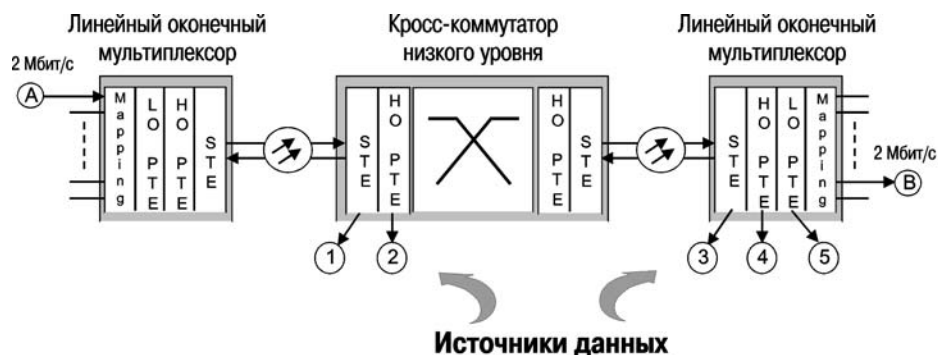


Рис. 1.6. Обнаружение и локализация неисправностей на основании данных от сетевых элементов

От каждого из этих элементов сети можно получить данные, указанные ниже в таблице.

Элемент	Типы данных	Источники данных
Тракт низкого уровня	Проверка четности (BIP-2 - четность чередующихся битов глубины 2) Аварийные сигналы (AIS - сигнал индикации аварийного состояния, TPI - идентификация трассировки текущего маршрута (J2))	Только на окончании тракта низкого уровня 5
Секция	Проверка четности (B1, B2) Аварийные сигналы (LOS, LOF, AU-LOP) Принимаемая оптическая мощность LOS - потеря сигнала, LOF - потеря кадра, AU-LOP - потеря указателя административного блока	Каждое окончание секции на тракте передачи каналов низкого уровня 1 и 3
Тракт высокого уровня	Проверка четности (B3) Аварийные сигналы (AIS - сигнал индикации аварийного состояния, TPI - идентификация трассировки маршрута (J1), TU-LOP - потеря указателя блока компонентной нагрузки)	Каждое оконечное оборудование тракта высокого уровня (HO PTE) на передающих трактах. 2 и 4
Сетевой элемент	Внутренняя диагностика (отказы аппаратных средств, ошибки в трактах внутренних сигналов)	Все сетевые элементы на передающих трактах.

Таблица 1.1. Данные обнаружения и локализации неисправностей, получаемые от каждого сетевого элемента.

Рассмотрим по очереди каждый из типов неисправностей сети и оценим эффективность сетевых элементов и системы управления обработкой неисправностей как при их обнаружении, так и при их локализации.

### 1.5.3. Обрыв линии связи

Это наиболее просто обнаруживаемая неисправность в сети SDH. Все тракты низкого уровня, несущие нагрузку на оборванной линии связи, принимают сигнал AIS (сигнал индикации аварийного состояния) на окончании тракта и сообщают об этой трактовой ошибке системе управления обработкой неисправностей.

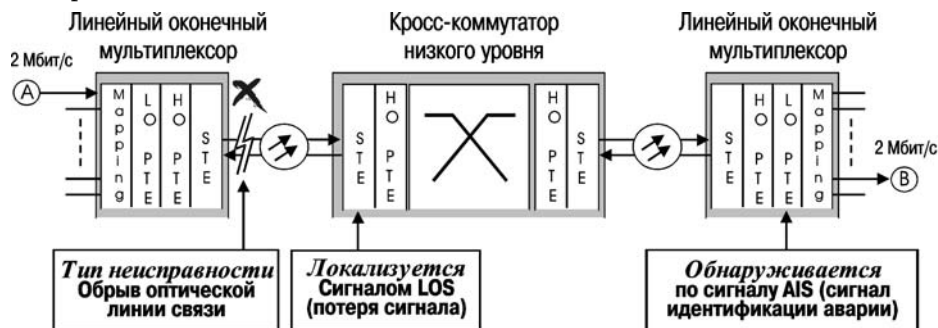


Рис. 1.7. Неисправность - обрыв линии связи

Кроме того на принимающем конце оборванной линии сетевой элемент вводит состояние потери сигнала (LOS) и сообщает об этом системе управления обработкой неисправностей.

Таким образом обеспечивается:

- 100-процентная вероятность обнаружения отказа тракта низкого уровня, вызванного обрывом линии связи; при этом система вырабатывает сообщение об аварийном состоянии блока компонентной нагрузки (TU AIS)
- 100-процентная вероятность локализации источника неисправности тракта низкого уровня (если система управления обработкой неисправностей имеет доступ по всем сетевым элементам, используемым для транспортировки трактов низкого уровня); система при этом вырабатывает сообщение об аварийном состоянии “потеря сигнала” (LOS)

### 1.5.4. Ухудшение качества связи

В этом примере предполагается, что ошибки передачи (высокий коэффициент фоновых ошибок) на первой оптической линии связи приводят к появлению ошибок четности ВР-2. Окончание тракта низкого уровня обнаруживает эти ошибки четности, но не будет автоматически передавать сообщение системе управления обработкой неисправностей до тех пор, пока:

- оператор не разрешит для тракта низкого уровня выработку дополнительно аварийного сигнала о превышении порога ошибок и
- коэффициент ошибок четности ВР-2 не превысит установленный оператором порог.

При этих обстоятельствах тракт низкого уровня информирует систему управления обработкой неисправностей о возникшей проблеме: ухудшение качества связи при этом не только обнаруживается, но информация об этом сообщается системе управления обработкой неисправностей.

При отсутствии доступа ко всем сетевым элементам обслуживающему персоналу потребуется внешний портативный тестер SDH для контроля тракта низкого уровня в точке его ввода в сеть.

При возникновении ошибок в волоконно-оптических линиях связи возможна выработка аварийного сигнала превышения порога, связанного с трактами низкого уровня, хотя при этом не вырабатывается эквивалентный аварийный сигнал на уровне самой среды передачи (секционный уровень). Возможна и обратная ситуация. Потенциальными причинами этого являются неравномерное распределение ошибок или неправильная установка порога числа ошибок (установки порога числа ошибок VC-12 выше порога числа ошибок волоконно-оптической линии связи).

Однако для локализации неисправности необходимо, чтобы на принимающем конце неисправной волоконно-оптической линии связи обнаруживались *вторичные данные*, в данном случае, ошибки четности В1 и В2. Как и ранее, сетевое оборудование автоматически не сообщает об этих ошибках В1 и В2 системе управления обработкой неисправностей до тех пор, пока:

- оператор не разрешит выработку дополнительного аварийного сигнала о превышении порога числа ошибок проверки четности В2 для волоконно-оптической линии связи *и*
- число ошибок В2 не превысит установленный оператором порог.

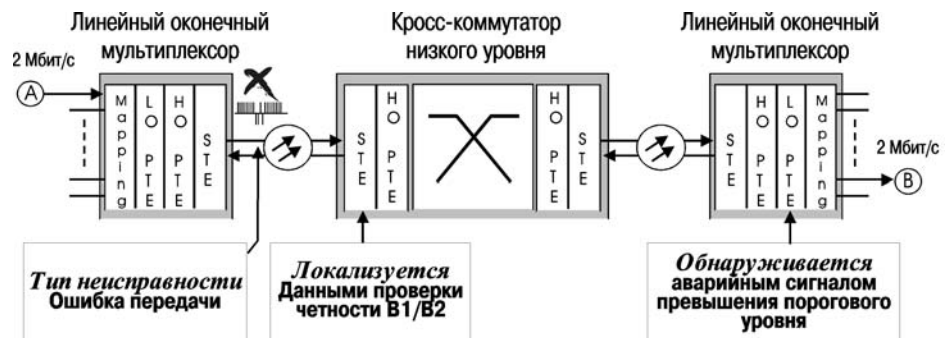


Рис. 1.8. Неисправность - ухудшение качества связи

Если не доступны все сетевые элементы, инженерам, обслуживающим сеть, потребуется внешний портативный тестер SDN для контроля в точке ввода в сеть тракта низкого уровня.

Коротко это означает:

- 100-процентную вероятность обнаружения сетью проблем трактов низкого уровня, связанных с ухудшением качества передачи по волоконно-оптическим линиям связи в том случае, если оператор разрешит выработку дополнительного аварийного сигнала превышения порога числа ошибок четности В1-2, и число ошибок превысит этот порог
- 100-процентную вероятность автоматической локализации источника проблем, связанных с трактами низкого уровня при соблюдении следующих условий:
  - оператор разрешит выработку дополнительного аварийного сигнала о превышении числа ошибок В2, связанного с обрывом линии связи, и этот порог будет превышен
  - система управления обработкой неисправностей имеет доступ ко всем сетевым элементам, транспортирующим тракты низкого уровня

### 1.5.5. Неисправности аппаратных средств

Предположим, что неисправность аппаратуры, обрабатывающей тракты низкого уровня (схема маршрутизации VC-12) в цифровом кросс-коммутаторе (DXC), или, возможно, в мультиплексоре ввода/вывода (ADM) низкого уровня, привела к обнаружению ошибок четности В1-2 на окончании тракта низкого уровня. Сетевое оборудование по-прежнему не сообщает автоматически об этих ошибках В1-2 системе управления обработкой неисправностей до тех пор, пока:

- оператор не разрешит в окончании тракта низкого уровня выработку дополнительного аварийного сигнала превышения порога
- коэффициент ошибок четности ВІР-2 не превысит установленный оператором порог

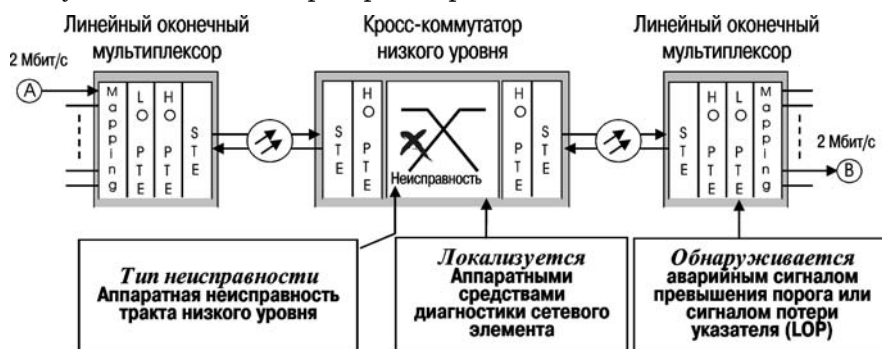


Рис. 1.9. Неисправность - отказ аппаратной части сетевого элемента

При этих обстоятельствах тракт низкого уровня сообщает системе управления обработкой неисправностей о возникающих проблемах, поэтому неисправность обнаруживается и регистрируется автоматически.

Для локализации источника проблемы требуются вторичные данные, единственным потенциальным источником которых является внутренняя диагностика сетевого элемента, при условии доступа к этому уровню детальной диагностики. Однако не все сетевые элементы обладают такой диагностикой.

Если неисправный сетевой элемент не имеет детальной внутренней диагностики, он не может обнаружить собственную аппаратную проблему; таким образом система управления обработкой неисправностей не получает вторичных данных, чтобы локализовать источник неисправности трактов низкого уровня. В этом случае для локализации неисправности обслуживающему инженеру требуется внешнее тестовое оборудование SDH, чтобы измерить число ошибок четности ВІР-2 без перерыва связи в промежуточных точках тракта передачи.

Таким образом, обеспечивается:

- 100-процентная вероятность автоматического обнаружения проблемы тракта низкого уровня, возникшей в результате неисправности аппаратуры обработки этого тракта, если оператор разрешит выработку дополнительного аварийного сигнала превышения порога числа ошибок четности ВІР-2, и этот порог будет превышен
- 100-процентная вероятность автоматической локализации источника проблем, связанных с трактами низкого уровня при выполнении следующих условий:
  - неисправный сетевой элемент обладает детальной внутренней диагностикой, способной обнаруживать неисправности
  - система управления обработкой неисправностей обладает доступом ко всем сетевым элементам, используемым для транспортировки трактов низкого уровня

При этом типе неисправностей в сети не появятся ошибки четности байтов В1, В2 или В3 трактовых окончаний высокого уровня и секционных окончаний, поскольку неисправность появляется в сетевом элементе после того, как он выполнит проверку на четность (трактовое окончание оборудования высокого уровня (НО РТЕ) и секционное оконечное оборудование (STE) регенерируют байты проверки четности В1, В2, В3, полученные из ошибочного сигнала и передают их в каждом новом линейном сигнале).

**Если ни одно из этих условий не выполнено, локализация источника проблемы требует использования внешнего тестового оборудования SDH.**



### 1.5.6. Ошибки маршрутизации тракта низкого уровня

Предположим, что ошибка возникла в результате нарушения маршрутизации тракта виртуального контейнера VC-12 в кросс-коммутаторе (DXC). Нарушение маршрутизации может возникнуть и в мультиплексоре ввода/вывода (ADM). Обнаружение нарушения маршрутизации на окончании тракта низкого уровня произойдет при выполнении следующих условий:

- сетевой элемент окончания тракта поддерживает идентификацию трассировки маршрута низкого уровня (J2) и
- оператор включит на сетевом окончании дополнительный режим выработки аварийного сигнала при идентификации трассировки маршрута

При этих условиях окончное оборудование трактов низкого уровня сообщает о возникшей проблеме системе управления обработкой неисправностей. Неисправность обнаруживается и регистрируется автоматически.

Вероятно, что в перспективе некоторые сетевые элементы будут обладать способностью контроля данных в промежуточных точках трактов низкого уровня, которые не оканчиваются сетевым элементом. Такое средство может обеспечить локализацию ошибок маршрутизации.

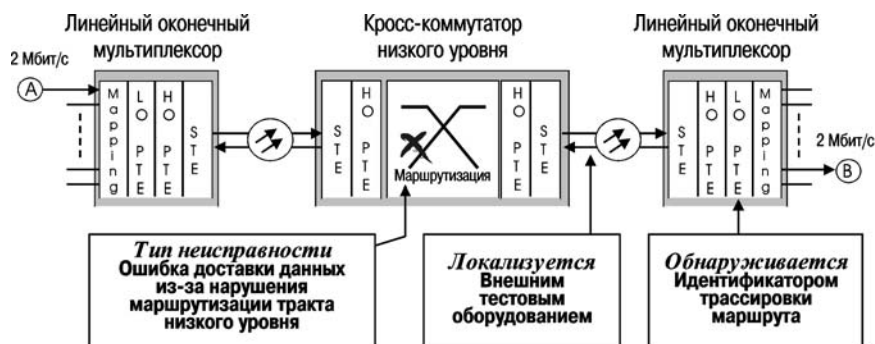


Рис. 1.10. Неисправность - ошибка маршрутизации тракта низкого уровня

Локализация источника ошибок маршрутизации усложняется из-за отсутствия вторичных данных от этого источника.

Таким образом:

- существует 100-процентная вероятность автоматического обнаружения в сети ошибок маршрутизации трактов низкого уровня при выполнении следующих условий:
    - сетевой элемент трактового окончания поддерживает сообщения идентификации трассировки маршрутов низкого уровня (J1, J2) и
    - оператор разрешил дополнительный режим выдачи аварийного сигнала идентификации трассировки маршрута низкого уровня на окончном оборудовании тракта низкого уровня
- 1 для локализации источника этой проблемы требуется внешнее тестовое оборудование SDH

Для контроля без перерыва связи идентификации трассировки маршрута (J2) в промежуточной точке передающего тракта низкого уровня необходимо внешнее тестовое оборудование SDH.

## 1.6. Сети с несколькими операторами

В предыдущем разделе был сделан вывод о 100-процентной вероятности локализации неисправностей, возникающих в результате обрыва линии связи, ухудшения качества связи или отказов оборудования только в том случае, если система управления обработкой неисправностей имеет доступ ко всем сетевым элементам, выполняющим транспортировку низкоскоростных потоков обслуживания абонентов. Однако в реально эксплуатируемых сетях этот доступ не всегда возможен.

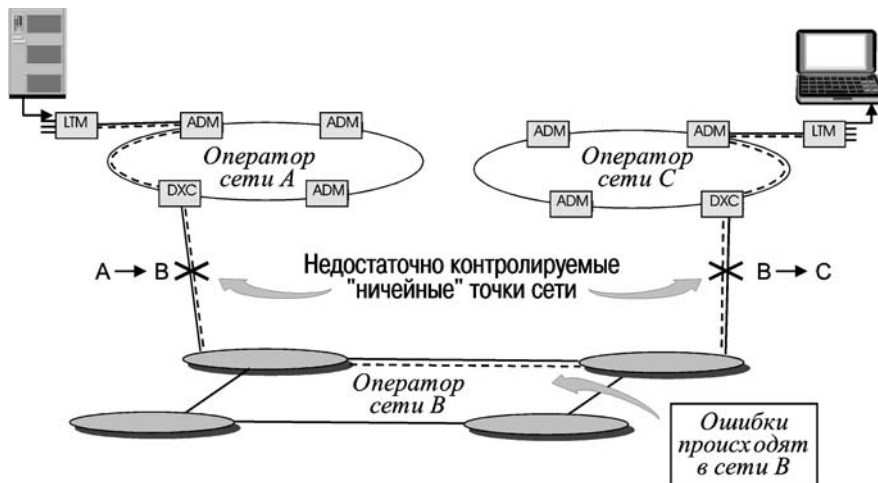


Рис. 1.11. Локализация неисправности в сети с несколькими операторами

Рис. 1.11 показывает обычную ситуацию, когда вывод о 100-процентной вероятности локализации неисправности оказывается неверным. Тракт низкого уровня, предоставляющий услуги абонентам, пересекает три отдельные сети SDH, обслуживаемые различными операторами. Этот тракт имеет окончания в двух различных сетях, объединенных третьей магистральной сетью дальней связи.

Предположим, что ошибки передачи возникли на волоконно-оптической линии связи в сети B. Эти ошибки могут быть обнаружены конечным оборудованием сети C, генерирующим аварийный сигнал превышения порога: это указывает на ухудшение качества канала связи. Однако, никаких дополнительных данных управления обработкой неисправностей для выявления источника этой проблемы в сеть C не поступает.

Для дальнейшего исследования **оператору сети C необходимо воспользоваться внешним тестовым оборудованием SDH**, чтобы измерить ВР-2 в рабочем режиме на неисправном тракте в точке его ввода в сеть. Поскольку ошибка присутствует в этой точке ввода, индицируя источник ошибки за пределами сети C, никакого дополнительного тестирования в этой сети не требуется.

Оператор сети А должен знать о возникшей проблеме. Данные об аварийном состоянии на удаленном конце REI/RDI (*индикация удаленной ошибки тракта/индикация удаленного дефекта* тракта низкого уровня), передаваемая обратно от трактового окончания низкого уровня сети С, проинформирует оператора системы управления сети А. Однако никаких дополнительных данных для обнаружения источника проблемы в систему управления обработкой неисправностей сети А не поступает.

Самый быстрый способ для оператора сети А определить, что не сеть А является источником проблемы, измерить ошибки четности ВІР-2 без прерывания связи на неисправном тракте низкого уровня в точке выхода из сети. **Это также требует внешнего тестового оборудования SDN.**

У оператора, отвечающего за сеть В, не будет доступа к данным рабочих параметров, относящимся только к неисправному тракту низкого уровня. Если не выработан аварийный сигнал превышения порога, связанный с неисправной линией связи, то система управления обработкой неисправностей сети В вообще не узнает о существовании проблемы. В этом случае самый быстрый путь подтверждения, что проблема находится в сети В - измерить без перерыва связи ошибки четности ВІР-2 на неисправном тракте как в точке ввода, так и в точке вывода из сети В.

	Тип проблемы	Обнаружение	Основной метод обнаружения в сетевом окончании
Тракт низкого уровня	Ошибка маршрутизации	Да – для всех	Идентификация трассировки тракта (J2)
	Отказ аппаратуры		LOP/AIS; диагностика сетевого элемента
	Ухудшение качества связи		Аварийный сигнал превышения порога числа ошибок (B1, B2)
Секция	Обрыв линии связи	Да – для всех	Аварийный сигнал LOS (потеря сигнала)
	Отказ аппаратуры		Аварийные сигналы LOS/LOF/AIS; диагностика сетевого элемента
	Ухудшение качества связи		Аварийный сигнал превышения порога числа ошибок (B1, B2)
Тракт высокого уровня	Ошибка маршрутизации	Да – для всех	Идентификация трассировки тракта (J2)
	Отказ аппаратуры		Аварийные сигналы LOP/AIS; диагностика сетевого элемента
	Ухудшение качества связи		Аварийный сигнал превышения порога (BIP-2)

**Таблица 1.2. Потенциальные возможности обнаружения неисправностей “встроенными” средствами контроля**

В таблице 1.2. объединены возможности сети SDH по *обнаружению неисправностей*, которые можно обеспечить, используя встроенные средства обработки данных об ошибках и аварийных сигналах. С точки зрения оператора, приятно сознавать, что технология и оборудование SDH имеют возможность обнаруживать все наиболее вероятные проблемы в сети, независимо от того, где они возникают: в секции, тракте высокого или низкого уровня.

### 1.7. Практическое обнаружение неисправностей

Однако основным для оператора остается вопрос о том, как можно максимально использовать потенциальные возможности SDH по обнаружению неисправностей в действующей сети.

Для полной реализации потенциала по обнаружению неисправностей сеть SDH должна использовать сетевые элементы, обладающие следующими свойствами.

1. Соответствие всем последним рекомендациям ITU-T по сетям SDH.
2. Поддержка всех без исключения функций контроля, в том числе идентификации трассировки маршрута (J2).
3. Возможности конфигурирования (обеспечения) автоматической выработки сообщений в адрес системы управления обработкой неисправностей. Это предусматривает выработку аварийных сигналов при превышении порога, при несовпадении трассировки маршрута и так далее.
4. Работа с единой системой управления всей сетью.

Для проверки соответствия сетевых элементов рекомендациям IUT-T, а также поддержки всех без исключения функций контроля (пункты 1 и 2) проводятся испытания на правильность проектирования (иногда их называют *испытаниями на соответствие*).

Многие сетевые операторы в процессе выбора новых сетевых элементов также выполняют полный цикл таких испытаний в лабораторных условиях. Они также делают это перед загрузкой нового программного обеспечения в сетевые элементы действующей сети или при установке новых типов аппаратных средств.

При выполнении процедуры инсталляции необходимо гарантировать, чтобы сетевые элементы после конфигурирования были способны автоматически сообщать системе управления о сетевых проблемах (пункт 3).

Максимум эффективности при обнаружении сетевых ошибок достигается только в том случае, если обработка данных по техническому обслуживанию выполняется единой для всей сети системой управления обработкой неисправностей (пункт 4).

*Обнаружение* проблемы - только *первый шаг* в поддержании требуемого уровня качества передачи в сети. Сетевые элементы SDH способны вырабатывать данные об ошибках и аварийных сигналах. Однако, требуется нечто большее, а именно: *локализация неисправностей*.

## 1.8. Практическая локализация неисправностей

Когда инженер по обслуживанию сети знает о существовании проблемы, ему необходимо локализовать источник и *устранить* неисправность.



Рис. 1.12. Обслуживание сети SDH

Очевидно, что *локализация источника неисправности является значительно более сложной задачей, чем просто ее обнаружение*. Гарантией того, что обслуживающий персонал сети обладает способностью локализовать все общеизвестные сетевые неисправности, является обязательное соблюдение следующих условий:

- наличие *интерфейса обслуживающего уровня* для доступа к данным об ошибках и аварийных сигналах в системе управления обработкой неисправностей
- наличие *портативного тестового оборудования SDH* для получения тестовых данных от тех точек сети, откуда не поступают данные "встроенной" диагностики

Тестовые данные от этих двух источников необходимы для локализации типовых неисправностей, таких, как ошибки маршрутизации (трактов высокого и низкого уровней), а также для локализации некоторых типов неисправностей аппаратной части сетевых элементов.

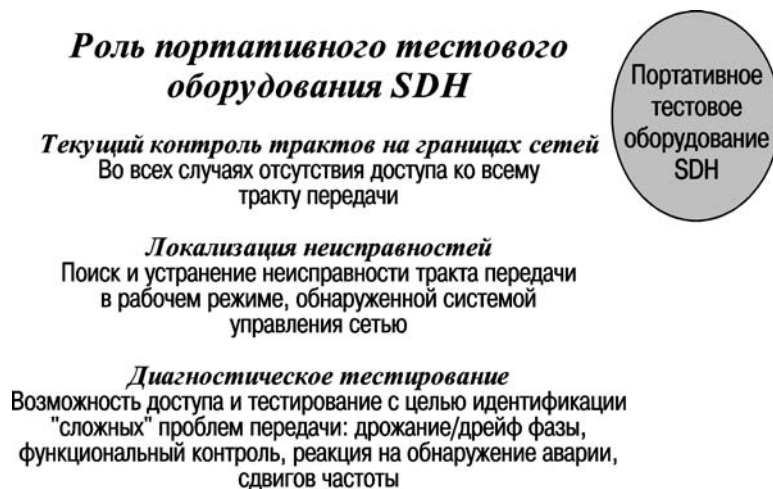
## 1.9. Роль тестеров SDH

Из приведенного обзора возможностей "встроенного" контроля сети SDH, назначения портативных тестеров SDH и требований к тестам, связанным с обнаружением и локализацией типовых сетевых неисправностей, можно сделать следующий вывод:

*портативное тестовое оборудование SDH необходимо для всесторонней поддержки процедур эксплуатации и обслуживания современных сетей SDH, число которых непрерывно возрастает*

Главная роль внешнего тестового оборудования - обеспечить обслуживающий персонал данными об аварийных сигналах и ошибках при тестировании сети в промежуточных точках передающего тракта без прерывания связи. Эти данные об аварийных ситуациях и ошибках дополняют данные “встроенной” диагностики о неисправностях и рабочих параметрах сети, поступающих в системы обслуживания сети от сетевых элементов SDH.

Эти два источника данных (результаты тестирования в рабочем режиме с использованием портативных тестеров SDH и данные “встроенной” диагностики от сетевых элементов) вместе гарантируют *100-процентное обнаружение и 100-процентную локализацию* всех общеизвестных сетевых неисправностей.



**Рис. 1.13. Порядок обслуживания сети SDH и роль портативных тестеров SDH**

Портативные тестеры SDH необходимы обслуживающему персоналу сети также при диагностике сложных сетевых проблем. Тестеры SDH обеспечивают повторяемость и полноту диагностических тестов. Примером таких сложных проблем является измерение уровня дрожания/дрейфа фазы, присутствующего в сигнале PDH, выводимом из сети SDH. Другие примеры при проверке правильности функционирования сетевых элементов SDH: обнаружение аварийного сигнала и реакции на него, или обработка сигналов “сдвига частоты”. Эти аспекты практических тестов сетевого оборудования SDH изложены в разделе 2.

## **Раздел 2**

### **Тесты и методики тестирования при инсталляции сети SDH**





## Тесты и методики тестирования при установке сети SDH

В разделе 1 рассмотрены внутренние возможности сети SDH поддерживать ее режимы эксплуатации и способы обслуживания. На примерах обычных сетевых неисправностей рассмотрены данные об ошибках и аварийных сигналах, вырабатываемые сетевыми элементами SDH. Выполнена оценка этих данных по их способности обнаруживать наличие сетевых неисправностей, а затем локализовать их источники. При оценке основное внимание было уделено следующим аспектам.

- *Фактически существующие* функции сетевого обслуживания, поддерживаемые средствами “встроенного” мониторинга (различные прикладные задачи обслуживания, которые встроенный мониторинг поддерживает полностью, частично или не поддерживает)
- Встроенные средства мониторинга, *необходимые* для обнаружения всех возможных неисправностей, но являющиеся вариантами комплектации при заказе сетевого оборудования и вследствие этого инженеры, обслуживающие сеть, должны их конфигурировать/включать
- Роль портативного тестового оборудования SDH в стратегии *эффективного* обслуживания сетей.

В разделе 2 рассмотрены основные тесты установки, обеспечивающие эффективную эксплуатацию и обслуживание сети SDH

Указаны рабочие характеристики сетевых элементов, которые должны быть сконфигурированы персоналом, а также методика тестирования, используемая для проверки правильности конфигурации. Кроме того, описывается процедура установки сетевых элементов SDH и процедуры, используемые для проверки каждого шага этого процесса.

В отличие от рабочих характеристик сети PDH, рабочие характеристики сети SDH гибко конфигурируются под управлением программных средств. Это та самая гибкость, которая обеспечивает указанные ниже высокие эксплуатационные свойства технологии SDH.

- Эффективное управление полосой пропускания (маршрутизация трактов с использованием мультиплексоров ввода/вывода и цифровых кросс-коммутаторов)
- Снижение эксплуатационных расходов (всеобъемлющий текущий контроль в рабочем режиме)
- Высоконадежная передача (динамическое резервирование сети - “самовосстановление”)
- Функциональная совместимость оборудования различных производителей

Наконец, перечислены наиболее важные характеристики, необходимые для портативного тестового оборудования сетей передачи с целью поддержки повседневного обслуживания сети.

## 2.1. Жизненный цикл сетевого оборудования

Жизненный цикл любого сетевого оборудования состоит из пяти основных этапов:

- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР)
- проверка правильности проектирования (включая полевые испытания)
- производство
- инсталляция и ввод в эксплуатацию
- эксплуатация и техническое обслуживание

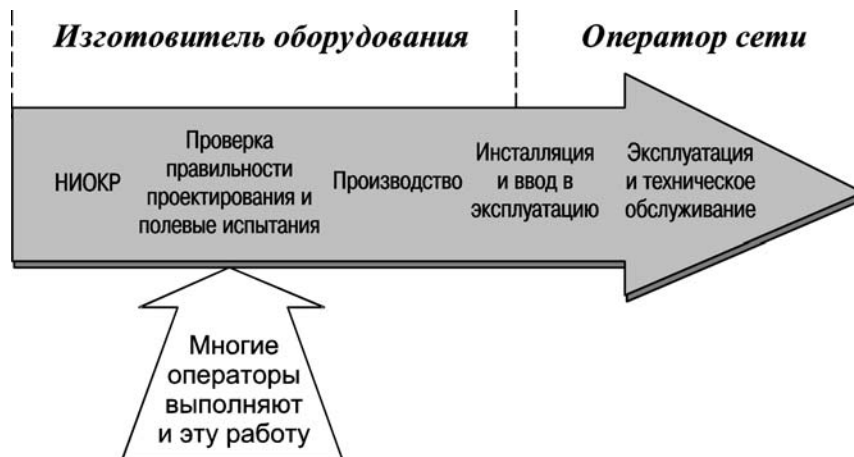


Рис. 2.1. Жизненный цикл сетевого оборудования

Операторы сетей обычно участвуют в 2 или 3 из этих этапов.

Виды работ	Цели сетевого оператора при тестировании
<b>Проверка правильности проектирования и полевые испытания</b>	Проверка технических решений и оценка поставщиков: – проверка соответствия рекомендациям ИТУ-Т – проверка ожидаемого уровня рабочих параметров оборудования при установке в сеть
<b>Инсталляция и ввод в эксплуатацию</b>	Проверка правильности выполнения каждого шага процедуры инсталляции: – корректировка механической сборки – корректировка конфигурации рабочих параметров сетевых элементов. – повторная проверка оборудования на сетевом уровне
<b>Эксплуатация и техническое обслуживание</b>	Поддержание ожидаемого уровня рабочих параметров сети: – обнаружение, локализация и устранение любых неисправностей – проверка качества услуг, предоставляемых новому клиенту

Таблица 2.1. Основные виды работ операторов при тестировании сети

При планировании развертывания сложного сетевого оборудования SDH очень важно, чтобы разработчики сети заранее выработали

взаимосвязанную тестовую стратегию по каждому из этих этапов. Это гарантирует создание скоординированного набора методик испытаний, полностью охватывающих все аспекты построения новой сети передачи на основе технологии SDH. Оно начинается с подбора сетевых элементов, соответствующих ITU-T, и продолжается до достижения ожидаемого эффекта при эксплуатации и техническом обслуживании сети.

### Минимизация затрат при управляемом риске

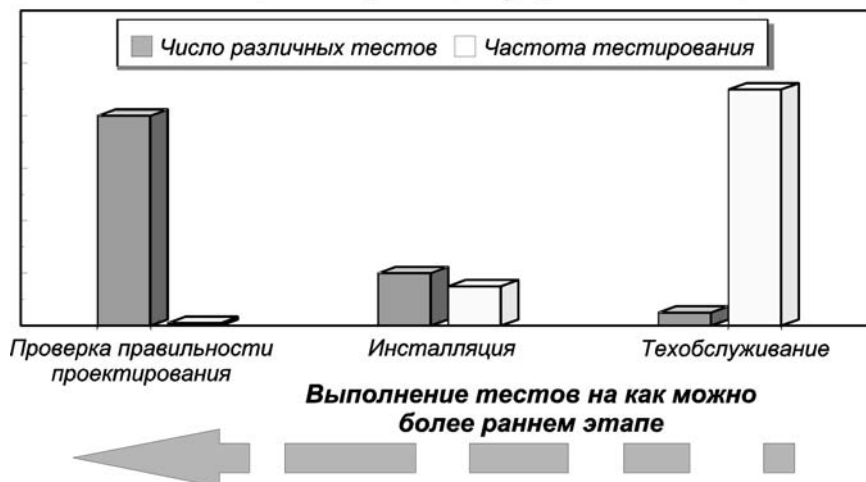


Рис. 2.2. Различные виды и частота тестирования

Тестирование уменьшает риск, но оно стоит денег – два известных факта, которые следует принимать во внимание при разработке тестовой стратегии, охватывающей построение и эксплуатацию сети SDH.

Этап тестирования	Назначение и использование
<b>Проверка правильности проектирования</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Выполняется при выборе нового оборудования SDH или перед инсталляцией нового программного обеспечения в существующее оборудование (низкая частота).</li> <li>– Фокусируется на проверке полного соответствия сетевого оборудования опубликованным рекомендациям ITU-T.</li> <li>– Большое число сложных тестов, выполняемых на небольшой выборке интерфейсов/каналов сетевого элемента.</li> <li>– Включает как функциональные, так и параметрические испытания.</li> </ul>
<b>Инсталляция</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Выполняется при инсталляции нового оборудования SDH или после инсталляции нового программного обеспечения в существующее оборудование (низкая и средняя частота).</li> <li>– Фокусируется на проверке рабочих характеристик, которые могут быть нарушены в процессе инсталляции (а также при отгрузке), правильности механической сборки и конфигурации программных средств.</li> <li>– От небольшого до среднего числа относительно простых тестов, выполняемых на всех интерфейсах/каналах сетевого элемента.</li> <li>– В основном функциональный контроль, небольшое число параметрических испытаний.</li> </ul>
<b>Техническое обслуживание</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Непрерывный мониторинг при помощи системы управления с целью обнаружения неисправностей.</li> <li>– Для локализации источника некоторых неисправностей необходимо ручное тестирование.</li> <li>– Фокусировка на обнаружении и устранении источника неисправности.</li> <li>– Небольшое число относительно простых тестов, выполняемых в промежуточных точках неисправного тракта передачи.</li> <li>– В основном функциональный контроль, небольшое число параметрических испытаний.</li> </ul>

**Таблица 2.2. Этапы тестирования и их назначение**

Для оператора основной причиной инвестирования в оборудование SDH является получение эффективной в эксплуатации и обслуживании передающей сети. Достижение этой цели основывается на построении сети, состоящей из сетевых элементов, полностью соответствующих рекомендациям ITU-T по SDH, на поддержке полного набора функций мониторинга, правильном конфигурировании сети, обеспечивающем все необходимые функциональные возможности в процессе ее эксплуатации (автоматические сообщения о неисправностях, динамическое “самовосстановление” и так далее).

Получение такой эффективной сети, снижающей общие затраты на тестирование, требует выработки *взаимосвязанной* тестовой стратегии, направленной на исключение различных рисков на каждом из указанных выше этапов.

## 2.2. Состав сети SDH

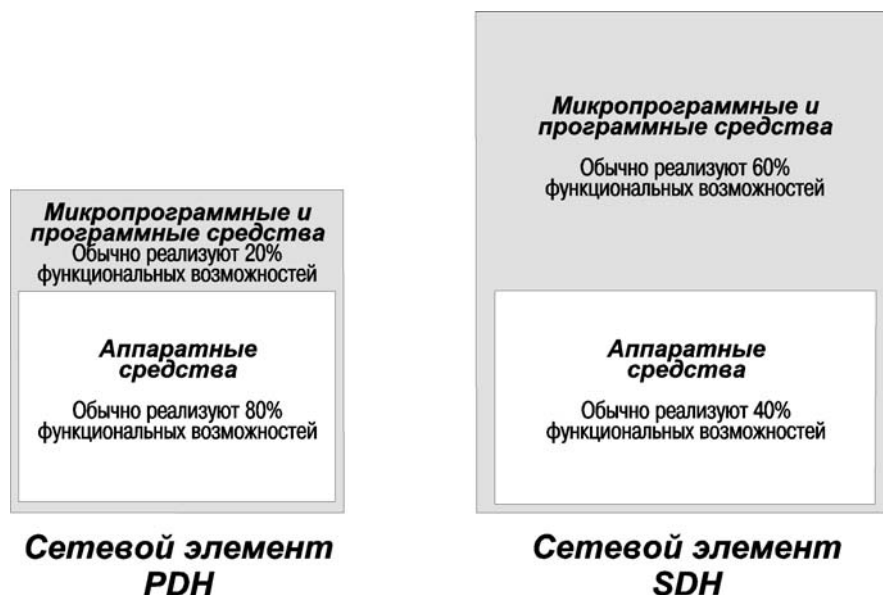


Рис. 2.3. Сравнение функционального состава сетей PDH и SDH

Сетевые элементы SDH, в отличие от оборудования PDH, изначально разрабатывались для эксплуатации и технического обслуживания сети под управлением компьютера. Достижение этой цели породило два фундаментальных различия между оборудованием PDH и SDH:

- сетевые элементы SDH выполняют значительно большее число рабочих функций, чем их эквиваленты в PDH
- большинство функций, поддерживаемых сетевыми элементами SDH, конфигурируется программным способом (в отличие от PDH, где эти функции реализованы на аппаратном уровне)

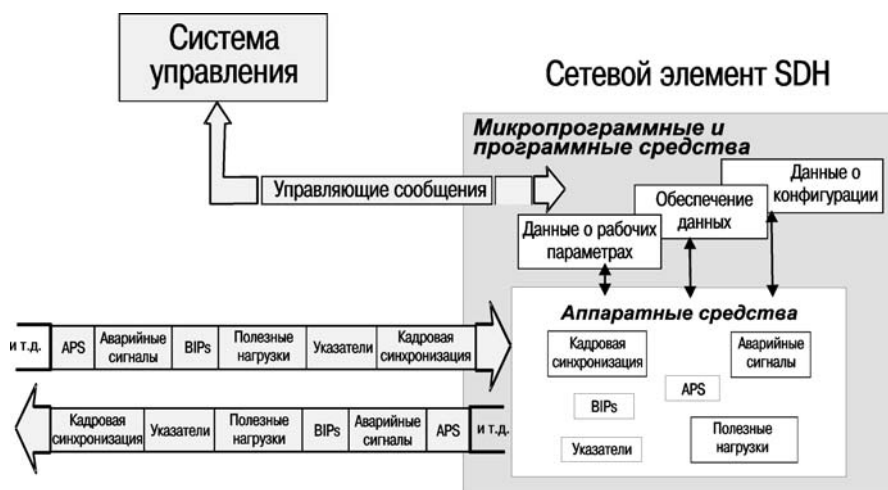


Рис. 2.4. Функции сетевого элемента

Сетевой элемент SDH обеспечивает реального времени функции передачи непосредственно в аппаратной части. Примерами таких функций являются:

- *кадровая синхронизация* (выравнивание) принимаемого сигнала SDH
- *обработка указателей* для компенсации сдвига частоты в синхронной сети
- *размещение и извлечение полезной нагрузки (упаковка и распаковка)*

Большинство этих аппаратных функций получает исходные данные, которые используются системой управления. Однако, технический персонал должен правильно сконфигурировать аппаратуру, прежде чем система управления получит доступ и сможет использовать эти данные.

Аппаратные средства сетевых элементов управляются внутренними системами программного обеспечения. Эти системы выполняют следующие функции:

- *обеспечение доставки данных* - сквозная маршрутизация трафика в сетевом элементе
- *контроль рабочих параметров* - обработка данных об ошибках и авариях
- *конфигурирование* - инициализация рабочих функций сетевых элементов

### 2.3. Конфигурирование рабочих характеристик сетевых элементов

При инсталляции сетевого элемента необходимо устанавливать связи между исходными данными, получаемыми от аппаратуры, и данными внутренних систем программного обеспечения. Эти связи устанавливаются в процессе конфигурирования рабочих функций сетевых элементов.

Ниже приведены характерные примеры важных функций, которые должны конфигурироваться техническим персоналом в сетевых элементах:

- *маршрутизация тракта* через мультиплексор ввода/вывода и цифровой кросс-коммутатор (часто ее называют *обеспечением тракта доставки*)
- *установление иерархии тактовой синхронизации* первичного и вторичного эталонных генераторов:
  - если сетевой элемент обнаруживает неисправность в первичном эталонном генераторе, он автоматически переключается на вторичный эталонный генератор; если отказывает вторичный генератор, он автоматически переключается на третий и так далее
- *выбор и конфигурирование метода резервного (защитного) переключения*
- *выбор коэффициента ошибок для каждого из пороговых значений, превышение которых вырабатывает аварийные сигналы (B2, B3, BIP-2) для каждого тракта и секции, оканчивающейся сетевым элементом:*
  - установка аварийного сигнала превышения порога, разрешающая автоматическую передачу системе управления сообщений об ухудшении качества связи
- *определение идентификаторов трассировки текущих маршрутов и аварийного сигнала несовпадения идентификатора трассировки для всех трактов высокого и низкого уровней, оканчивающихся сетевым элементом:*
  - установка идентификатора трассировки маршрута и соответствующего ему аварийного сигнала гарантирует, что сетевой элемент автоматически сообщит системе управления об ошибках маршрутизации
- *присвоение метки сигналу и задание аварийного сигнала несовпадения метки сигнала для всех трактов высокого и низкого уровней, оканчивающихся сетевым элементом:*
  - присвоение метки сигналу является одной из функций трактовых заголовков; в сущности, эта метка сообщает системе о типе принятой полезной нагрузки; установка метки сигнала и соответствующего ему аварийного сигнала гарантирует, что при приеме полезной нагрузки другого типа сетевой элемент автоматически сообщит об этом системе управления

Как было указано выше (см. *подраздел 1.5. “Обнаружение и локализация неисправностей”*), аварийные сигналы превышения порога и несовпадения идентификатора маршрута предназначены для обнаружения стандартных сетевых неисправностей. Поэтому важно, чтобы во время установки инженеры конфигурировали эти и другие подобные функции для обеспечения эффективной эксплуатации сети. Ниже (см. *подраздел 2.6. “Функциональный контроль аппаратуры SDH”*) рассмотрены методы тестирования, применяемые персоналом для определения правильности конфигурации.

## 2.4. Базовая процедура инсталляции

Прежде чем перейти к обсуждению тестов инсталляции, стоит остановиться на обобщенной (упрощенной) процедуре инсталляции. Она включает установку оборудования, загрузку программного обеспечения и проверочные тесты.



Рис. 2.5. Упрощенная процедура инсталляции сети SDN

Часть процедуры инсталляции, относящаяся к сборке оборудования SDN точно такая же как и для оборудования PDH: приемка сетевого оборудования, механическая сборка статива и устанавливаемой в него аппаратуры, конфигурирование и установка плат (оптический интерфейс, процессор и платы компонентной нагрузки), подключение кабелей питания и синхронизации, а также кабелей между интерфейсами компонентной нагрузки и цифровым распределительным кроссом.

После завершения процесса механической сборки следует этап, связанный с системами программной поддержки сетевых элементов. Компьютер управления сетевыми элементами используется для выполнения следующих операций:

- загрузка программных средств операционной системы в сетевой элемент
- конфигурирование требуемых рабочих характеристик

По окончании всей сборки и конфигурирования персоналу следует выполнить тесты, разработанные для проверки успешного выполнения каждого шага процедуры инсталляции. Эти тесты направлены на выявление неисправностей рабочих характеристик сетевого элемента, возникших при отгрузке оборудования или в процессе инсталляции программного обеспечения.



## 2.5. Общие аспекты испытательной установки SDH

В процессе установки технический персонал обычно использует местный компьютер для управления сетевым элементом. Значительно реже используется система управления всей сетью.

Процедуры функционального контроля, описанные в подразделе 2.6, предполагают выполнение следующей базовой установки для каждого сетевого элемента:

- каждый сетевой элемент полностью собран и укомплектован платами
- порты компонентной нагрузки сетевого элемента соединены кабелями с цифровым кроссом
- сетевой элемент подключен к управляющему компьютеру

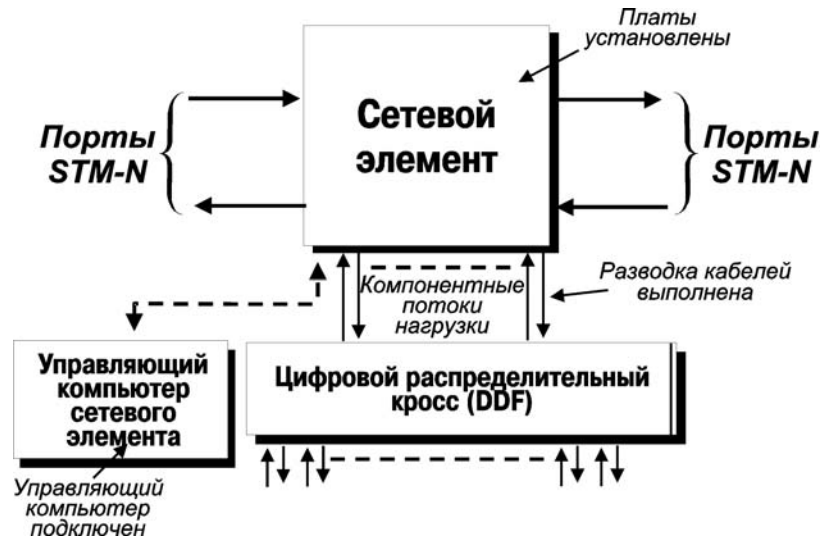


Рис. 2.6. Установка сетевого элемента SDH

*Предупреждение:* использование на входе оптического приемника сигнала с оптической мощностью, превышающей допустимый уровень, может вызвать повреждение.

### 2.5.1. Предотвращение перегрузки оптического приемника

При подключении оптического излучателя к оптическому приемнику необходимо предпринимать меры предосторожности, чтобы предотвратить перегрузку приемника. Уровни перегрузки для различных оптических приемников определены в рекомендации G.957 ITU-T. Если передаваемая оптическая мощность превышает заданное значение, следует использовать оптический аттенуатор.

Скорость интерфейса	Применение	Минимальная перегрузка	Минимальная чувствительность	Приближенное среднее значение
STM-1	Близкое расстояние	-8 дБм	-28 дБм	-18 дБм
	Дальнее расстояние	-10 дБм	-34 дБм	-22 дБ
STM-4	Дальнее и близкое	-8 дБм	-28 дБм	-18 дБм
STM-16	Близкое расстояние	0 дБм	-18 дБм	-9 дБм
	Дальнее расстояние	-9 дБм	-27 дБм или -28 дБм	-18 дБм

Таблица 2.3. Спецификации оптических приемников. Рекомендация G.957 ITU-T

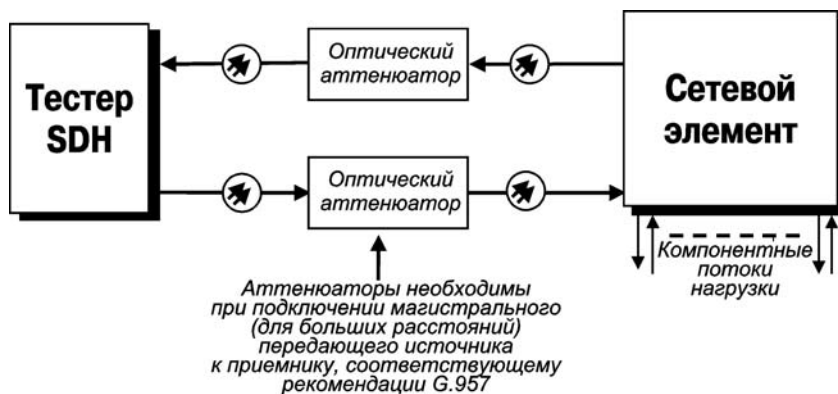


Рис. 2.7. Применение оптических аттенюаторов для защиты приемника от перегрузки

При выполнении функционального контроля хорошей практикой является использование для оптического приемника входного сигнала средней мощности рабочего диапазона приемника (средний уровень мощности между порогом чувствительности и уровнем перегрузки).

### 2.5.2. Синхронизация

Для всех испытаний SDH необходима синхронизация испытательной установки. Это гарантирует, что во время тестирования не произойдет неуправляемого выравнивания указателя. На рис. 2.8. показано использование внешнего тактового генератора с частотой 2 МГц для синхронизации работы сетевого элемента и тестера SDH.

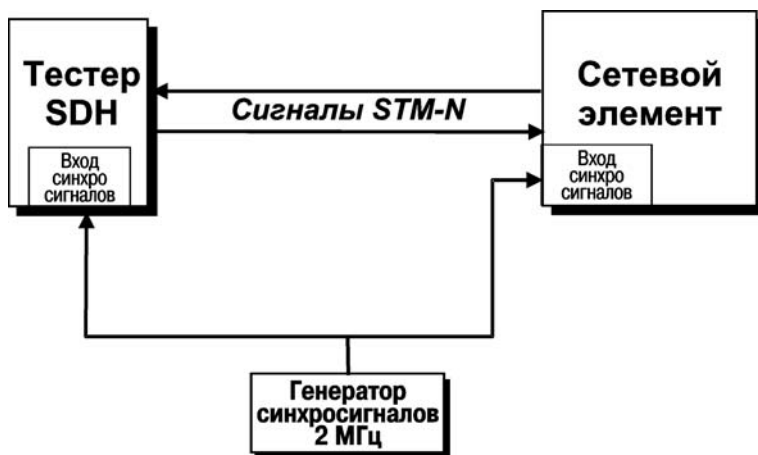


Рис. 2.8. Синхронизация тестовой установки

Альтернативные методы синхронизации включают:

- конфигурирование сетевого элемента на выделение синхросигнала непосредственно из принимаемого потока STM-N (сетевой элемент синхронизируется от тестового сигнала). Этот метод не следует использовать при выполнении тестов смещения частоты потоков STM-N: сетевой элемент будет отслеживать поступающий сдвиг частоты и поэтому никогда не обеспечит этого сдвига
- конфигурирование сетевого элемента на использование собственного встроенного тактового генератора при синхронизации тестера синхросигналом, выделенным из принимаемого потока STM-N

### 2.5.3. Одновременное или последовательное тестирование

Для многих функциональных тестов SDH требуется один вход стимулирующих сигналов и наблюдение за откликами на нескольких выходах (полезная инструкция общего характера для тестирования аварийных состояний методом стимул/отклик содержится в *Приложении А-4 “Аварийные сигналы и отклики сети SDH”*. В качестве примера может служить тестирование отклика мультиплексора ввода/вывода на принятый сигнал неисправности мультиплексорной секции (MS-AIS). При обнаружении этого дефекта мультиплексор должен передать:

- сигнал индикации аварии административного блока (AU-AIS) во все транзитные тракты прямого направления
- сигнал индикации отказа на удаленном конце (терминале) тракта высокого уровня (HP-RDI, ранее HP-FERF) во все оконечные тракты обратного направления
- сигнал индикации аварии AIS во все выводимые потоки компонентной нагрузки
- сигнал индикации отказа на удаленной мультиплексорной секции в обратном направлении (MS-RDI, ранее MS-FEER)
- сообщение системе управления о дефекте мультиплексорной секции (MS-AIS)

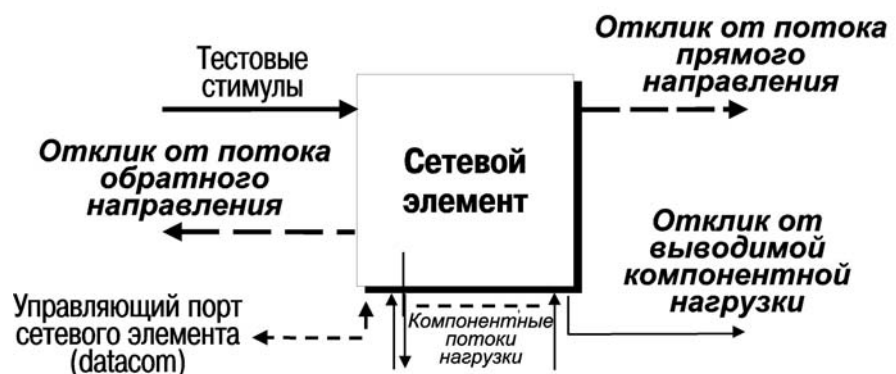


Рис. 2-9. Порты стимулов и откликов

Поэтому при проектировании испытательной установки SDH и соответствующей тестовой процедуры необходимо принять решение о последовательной или параллельной проверке всех откликов. Компромисс находится между стоимостью *измерительной аппаратуры* и *временем тестирования*.

## 2.6. Функциональный контроль аппаратуры SDH

### 2.6.1. Функциональный контроль SDH в процессе инсталляции

Из рассмотренной выше испытательной установки, действующей по принципу стимул/отклик, можно выделить тестовую конфигурацию общего применения для проверки правильности инсталляции сетевого элемента SDH. Этот пример предполагает тестирование мультиплексора ввода/вывода (ADM), однако подобная конфигурация может использоваться и для проверки линейных оконечных мультиплексоров (LTM) и цифровых кросс-коммутаторов (DXC).

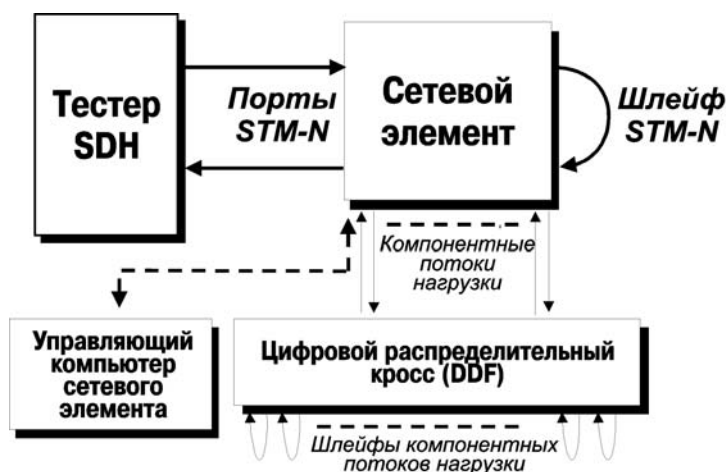


Рис. 2.10. Основная тестовая конфигурация для проверки инсталляции

- Подключить тестер к линейному интерфейсу STM-N (прием/передача) с одной стороны сетевого элемента.
- Установить внешний шлейф с другой стороны сетевого элемента.
- Установить шлейфы портов компонентной нагрузки на цифровом кроссе.
- Установить управление сетевым элементом при помощи местного порта управления или интерфейса управления.

Эта испытательная установка сводит к минимуму число кабельных переключений во время тестирования, уменьшая как время, так и затраты на тестирование. Она поддерживает большинство тестов, выполняемых при типовой инсталляции оборудования SDH (рассмотрены ниже при описании методик испытаний).

*Обязательно пользуйтесь оптическим аттенуатором при подключении оптического передатчика дальней связи (высокая мощность) к оптическому приемнику (см. подраздел 2.5.1.), а также синхронизируйте тестовую конфигурацию (см. подраздел 2.5.2.).*

## 2.6.2. Проверка правильности механической сборки

Контроль частоты битовых ошибок (BER) для каждого тракта виртуального контейнера (VC-n), обрабатываемого сетевым элементом, проверяется у сетевого элемента:

- правильность кабельных соединений между портами нагрузки и цифровым кроссом
- основные рабочие характеристики электронных компонентов (включая оптические).

### *Тесты частоты битовых ошибок (BER) на трактовом уровне (методика тестов)*

1. Сконфигурировать сетевой элемент для выполнения функций ввода/вывода на всех установленных портах компонентной нагрузки:
  - поставить в соответствие каждому порту компонентной нагрузки отдельный тракт VC-n внутри потока STM-N
  - не устанавливать функцию несовпадения идентификатора трассировки маршрута; это позволит не устанавливать идентификатор трассировки маршрута в тестере
2. Сконфигурировать тестер SDH:
  - установить тип размещения нагрузки, контролируемый канал виртуального контейнера VC-n, псевдослучайную тестовую последовательность (PRBS) в размещаемой полезной нагрузке
  - Передать тестовую последовательность в тестируемый канал
3. Выполнить измерения частоты битовых ошибок (BER) (использовать короткий период измерения):
  - проверить правильность сигнала тестером SDH, т.е. отсутствие обнаруженных аварийных сигналов и ошибок; *при возникновении отказов обратиться к табл. 2.4 для определения возможной причины*
4. Повторить шаги 2 и 3 для всех трактов передаваемого потока STM-N.

Отказ	Возможные причины
Потеря псевдослучайной последовательности (PRBS)	– Неисправность кабелей цифрового кросса (DDF) – Тракт VC-n сконфигурирован для симплексного режима работы (должен быть для дуплексного)
Низкий коэффициент ошибок (PRBS)	– Перекрестные помехи в кабелях DDF
Низкий коэффициент ошибок (B1/B2)	– недостаточная мощность на оптическом приемнике тестера (почистить соединители, проверить установку аттенюаторов)
Низкий коэффициент ошибок (MS-REI)	– низкая мощность на входе оптического приемника сетевого элемента (почистить соединители, проверить установку аттенюатора)
Трастовая ошибка RDI (ранее FERF)	– Установлены и активизированы сигналы несовпадения идентификатора маршрута и сигнал несовпадения метки (только для выводимых компонентных нагрузок PDH; проверить конфигурацию сетевого элемента)

Таблица 2.4. Интерпретация трастовых отказов BER при механической сборке

### 2.6.3. Проверка правильности маршрутизации к портам компонентных нагрузок PDH

Этот тест проверяет правильность трактовой маршрутизации в мультиплексорах ввода/вывода (ADM) и цифровых кросс-коммутаторах (DXC). Он определяет, какие тракты виртуальных контейнеров VC-n оканчиваются в сетевом элементе при выводе размещенной полезной нагрузки в порты компонентных нагрузок PDH.

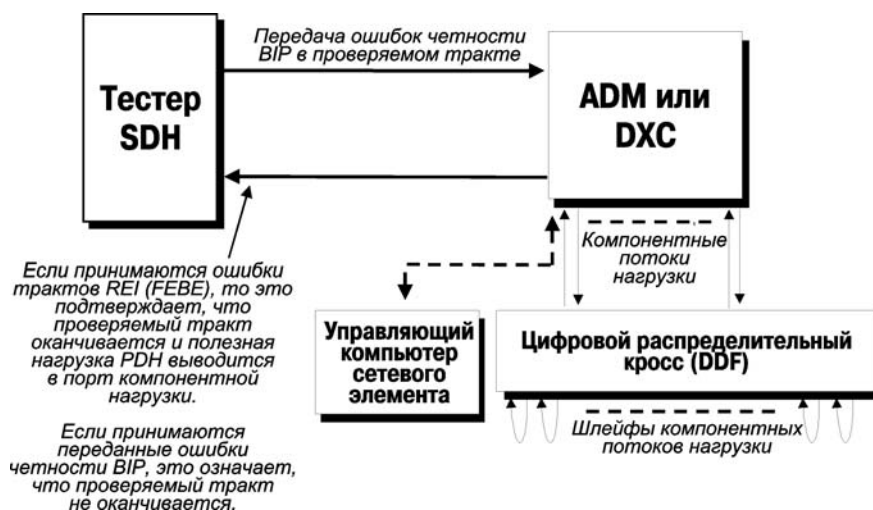


Рис. 2.11. Проверка правильности маршрутизации трактов к портам компонентных нагрузок PDH

#### Маршрутизация трактов к портам компонентных нагрузок PDH (методика тестов)

- Сконфигурировать сетевой элемент для выполнения функций ввода/вывода в выбранных портах нагрузки PDH:
  - поставить в соответствие каждому выбранному порту компонентной нагрузки отдельный тракт VC-n в линейном потоке STM-N.
- Сконфигурировать тестер SDH:
  - установить тип размещения нагрузки, тестируемый канал VC-n и тестовую последовательность ПСП (PRBS) в размещенной полезной нагрузке PDH.
- Передать ошибки четности ВІР ( ВЗ или ВІР-2 соответственно) в проверяемом тракте VC-n.
- Выполнить измерение коэффициента ошибок (использовать период измерения в зависимости от частоты появления передаваемых ошибок ВІР: низкий коэффициент ошибок требует более продолжительного периода измерения).
- Проанализировать результаты:
  - если при приеме тестер показывает только трактовые ошибки REI, это означает, что проверяемый тракт окончен; следовательно полезная нагрузка PDH вводится в порт компонентной нагрузки
  - если при приеме тестер показывает передаваемые ошибки ВІР, то проверяемый тракт не оканчивается; следовательно он ходит либо транзитом через сетевой элемент, либо выводится в порт компонентной нагрузки SDH; при возникновении отказов следует обращаться к таблице 2.5. для выяснения возможных причин.
- Повторить шаги 2 и 3 по всем каналам VC-n в передаваемом линейном потоке STM-N.

*Не включайте режим несовпадения идентификатора маршрута. Это исключает необходимость установки идентификатора трассировки маршрута в тестере*

Отказ	Возможная причина
Потеря псевдослучайной последовательности (PRBS)	– неисправность кабеля цифрового кросса – тракты VC-п сконфигурированы для работы в симплексном режиме. (должны быть в дуплексном)
Низкий коэффициент ошибок (PRBS)	– перекрестные помехи в кабелях цифрового распределительного кросса DDF
Низкий коэффициент ошибок (B1/B2)	– низкая мощность на входе оптического приемника тестера (почистить соединители, проверить установку аттенюаторов)
Низкий коэффициент ошибок (B1/B2)	– низкая мощность на входе оптического приемника сетевого элемента, подключенного к тестеру (почистить соединители, проверить установку аттенюаторов)
Трастовая ошибка RDI	– установлены и активированы сигналы несовпадения идентификатора маршрута и сигнал несовпадения метки (только для выводимых компонентных нагрузок PDH, проверить конфигурацию сетевого элемента)

Таблица 2.5. Интерпретация отказов порта компонентных нагрузок PDH

#### 2.6.4. Маршрутизация трактов к портам компонентных нагрузок SDH

Этот тест проверяет маршрутизацию тракта VC-4 к портам компонентных нагрузок SDH.

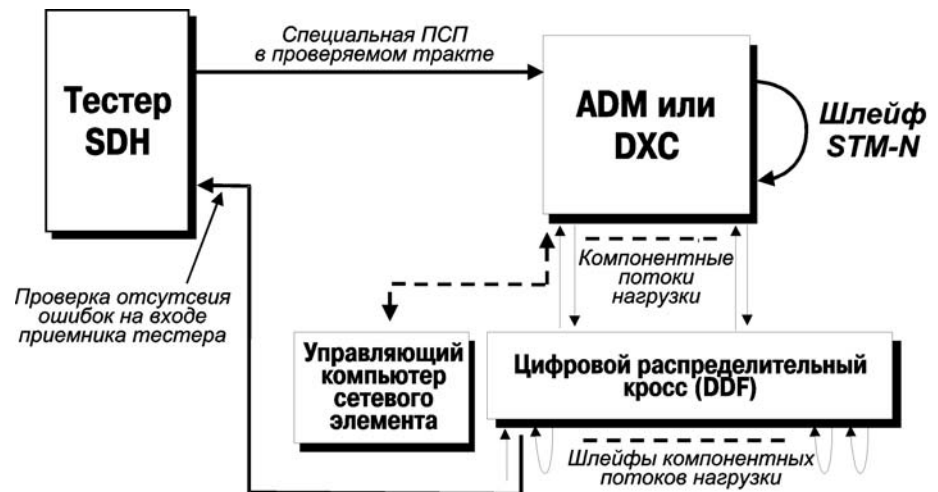


Рис. 2.12. Проверка правильности маршрутизации тракта к портам компонентных нагрузок SDH

### **Маршрутизация трактов VC-4 портов компонентной нагрузки SDH (методика теста)**

1. Сконфигурировать сетевой элемент для выполнения функций ввода/вывода в выбранных портах компонентной нагрузки SDH:
  - поставить в соответствие каждому выбранному порту компонентной нагрузки отдельный тракт VC-п, содержащийся внутри линейного потока STM-N.
2. Подключить вход приемника тестера к проверяемому компонентному потоку нагрузки SDH.
3. Сконфигурировать тестер SDH:
  - установить скорость канала передачи, скорость канала приема
  - установить размещение массива контейнера C4, проверяемый канал VC-4, тестовую ПСП (PRBS)
  - убедиться, что в других (фоновых) каналах VC-4 передается другая (отличающаяся от установленной ПСП) последовательность
  - выполнить измерения BER (использовать короткий период измерения).
4. Проверить, что тестер SDH не обнаруживает ошибок или аварийных сигналов.  
*При возникновении отказов следует обращаться к таблице 2.6. для выяснения возможных причин.*
5. Повторить шаги 2, 3 и 4 для каждого порта компонентной нагрузки SDH.

Отказ	Возможная причина
Потеря псевдослучайной последовательности (PRBS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– неисправность кабеля цифрового кросса</li> <li>– тракты VC-п выводятся (доставляются) к ошибочным портам компонентной нагрузки</li> </ul>
Низкий коэффициент ошибок (PRBS/B1/B2/B3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перекрестные помехи в кабелях DDF (порт STM-1e).</li> <li>– низкая мощность на входе приемника тестера (оптический порт), подключенного к тестеру (почистить соединители, проверить установку аттенуаторов)</li> </ul>
Низкий коэффициент ошибок (PRBS/B3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– низкая мощность на входе оптического приемника сетевого элемента (почистить соединители, проверить установку аттенуаторов)</li> </ul>

**Таблица 2.6. Интерпретация отказов маршрутизации портов компонентной нагрузки SDH**

### **2.6.5. Проверка конфигурации идентификатора трассировки маршрута**

Этот тест проверяет правильность конфигурации сетевого элемента для выполнения функции идентификатора трассировки маршрута оконечного тракта. Кроме того, он проверяет автоматические сообщения, предназначенные для системы управления, о соответствующих аварийных сигналах несовпадения идентификатора трассировки.

#### **Обнаружение несовпадения идентификатора трассировки и передачи сообщения (методика теста)**

1. Сконфигурировать сетевой элемент для выполнения функций ввода/вывода в выбранных портах компонентных нагрузок PDH:
  - поставить в соответствие каждому выбранному порту компонентной нагрузки отдельный тракт VC-п, содержащийся в потоке STM-N
  - для проверяемого тракта сконфигурировать идентификатор трассировки маршрута и разрешить сигнал несовпадения идентификатора трассировки.
2. Сконфигурировать тестер SDH:
  - установить тип размещения нагрузки, проверяемый канал VC-п, тестовую псевдослучайную последовательность (PRBS) в размещенной полезной нагрузке PDH.



При тестировании трактов низкого уровня запретить аварийный сигнал несовпадения идентификатора трассировки для трактов высокого уровня (VC-4). В противном случае, убедиться, что тестер передает ожидаемый идентификатор в тракте высокого уровня. Если ни один из этих шагов не выполнен, тестер обнаружит ошибку HP-RDI тракта высокого уровня.

3. Передать ожидаемый идентификатор трассировки маршрута в проверяемый тракт VC-n. Убедиться, что тестер SDH и управляющий компьютер сетевого элемента не обнаруживают аварийных сигналов, связанных с проверяемым VC-n.
4. Изменить один или несколько символов в идентификаторе трассировки маршрута, передаваемого тестером. Убедиться, что управляющий компьютер сетевого элемента принимает аварийное сообщение о несовпадении идентификатора трассировки; также проверить, что тестер обнаруживает трактовую ошибку RDI (оба сигнала связаны с проверяемым VC-n).
5. Повторить шаги 1-5 для всех трактов VC-n, оканчивающихся в сетевом элементе.

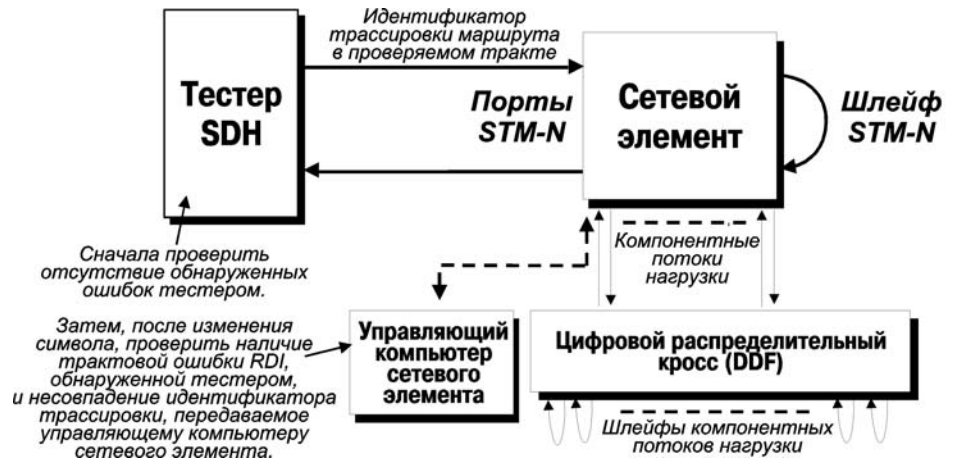


Рис. 2-13. Проверка обнаружения идентификатора трассировки маршрута и аварийного сообщения о несовпадении

### 2.6.6. Проверка тактовой синхронизации

Сетевая синхронизация является фундаментальной проблемой, стоящей перед теми, кто вводит в эксплуатацию и обслуживает оборудование SDH.

Возрастающая сложность сетей SDH предъявляет все более жесткие требования к общесетевой синхронизации, когда качество передачи непосредственно зависит от точности и параметров синхронизации.

Иерархия синхронизации, при которой частота первичного эталонного генератора (ПЭГ) плохо распределяется между сетевыми элементами нижних уровней иерархии, может серьезно повлиять на качество связи сети. В лучшем случае это может привести к возрастанию активности указателя, влияющего на увеличение фазового дрожания (джиттера) нагрузки, так как всплески активности указателя проникают в сеть. В худшем случае излишняя активность указателя может привести к искажению или даже к потере данных полезной нагрузки.

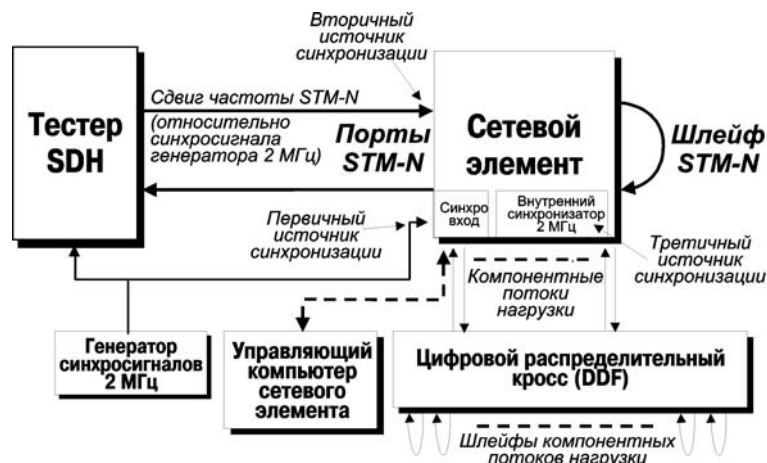


Рис. 2.14. Проверка иерархии тактовой синхронизации и аварийного переключения

Следующий тест определяет правильность конфигурации иерархии тактовой синхронизации в сетевом элементе.

В этом примере приведены 3 альтернативных источника синхронизации.

- Первичный: внешний генератор синхросигналов частотой 2 МГц (также используется для синхронизации тестера SDH)
- Вторичный: принимаемый линейный сигнал STM-N (передаваемый тестером SDH)
- Третичный: собственный внутренний тактовый генератор сетевого элемента

#### *Иерархия тактовой синхронизации и ее аварийное переключение (методика теста)*

1. Сконфигурировать иерархию тактовой синхронизации сетевого элемента в соответствии с рис. 2.14.
2. Сконфигурировать тестер SDH:
  - не разрешать сигнал несовпадения идентификатора трассировки
  - установить тип размещения нагрузки, проверяемый канал VC-n, тестовую псевдослучайную последовательность (PRBS) в полезной нагрузке; использовать внешний первичный эталонный генератор (ПЭГ) с частотой 2 МГц
  - слегка сместить частоту передаваемого линейного сигнала STM-N (например, на  $+ 2 \cdot 10^{-6}$ ).
3. Выполнить измерение коэффициента битовых ошибок (BER) (использовать длительный период измерений, обычно 1 час). Проверить, что тестер не обнаружил ошибок или аварийных сигналов.
4. При помощи тестера SDH проверить отсутствие сдвига частоты между передаваемым и принимаемым сигналом STM-N. При наличии сдвига частоты перепроверить конфигурацию сетевого элемента и правильность соединений.
5. Отсоединить генератор 2 МГц от сетевого элемента (но оставить его подключенным к тестеру SDH):
  - сетевой элемент автоматически должен перейти на вторичный источник тактовой синхронизации
  - проверить, что тестер не обнаружил ошибок и аварийных сигналов, а сообщение об отказе первичного источника тактовой синхронизации передано управляющему компьютеру сетевого элемента.
6. При помощи тестера SDH проверить наличие сдвига частоты между

*Тестер должен обладать функциональной возможностью выполнения измерений на линейной частоте STM-N*

- линейным сигналом STM-N, передаваемым тестером, и сигналом STM-N, принимаемым от проверяемого сетевого элемента:
- измеряемый сдвиг должен медленно дрейфовать в направлении передаваемого значения (то есть, к  $+ 2 \cdot 10^{-6}$ ); это доказывает, что сетевой элемент синхронизируется сигналом STM-N, передаваемым тестером SDH.
7. Отсоединить синхронизацию STM-N от сетевого элемента:
    - сетевой элемент автоматически должен перейти на третичный (внутренний 2 МГц) источник тактовой синхронизации
    - проверить, что управляющий компьютер сетевого элемента получил сообщение об ошибке синхронизации.
  8. Измерить сдвиг частоты сигнала STM-N, принимаемого тестером (сделать выдержку для стабилизации значения). Результат измерений покажет нестабильность частоты внутреннего тактового генератора сетевого элемента.

Неэффективное распределение синхросигналов по всей сети SDH вызывает дополнительное увеличение джиттера и вандера (дрожание и дрейф фазы). Это неизбежно приводит к нарушению сетевой синхронизации (см. *Приложение 6 “Синхронизация сетей SDH”*).

### 2.6.7. Проверка защитного (резервного) переключения

Эффективная работа автоматического защитного переключения (APS) необходима для того, чтобы избежать длительного прерывания связи (предоставления услуг) из-за отказов в волоконно-оптических кабелях (ВОК) или регенераторах. Функции APS следует проверять при оценке оборудования SDH и при проведении установки системы.

Поэтому необходимо проверить правильность конфигурации защитного переключения, обеспечивающего перемаршрутизацию трафика в случае сетевой неисправности или ухудшения качества связи. Очень важно, чтобы время прерывания, вызванное защитным переключением, было как можно короче, безусловно меньше 50 мс, определенных в рекомендациях ITU-T. Ниже рассмотрена методика теста для быстрого и надежного измерения времени переключения. Это гарантирует не только соответствие сетевых элементов рекомендациям, но и высокое качество предоставляемых услуг.

Разработчики анализаторов сетей передачи компании Хьюлетт-Паккард уделяют особое внимание вопросам синхронизации и рассинхронизации (см. *Приложение 7 “Автоматическое защитное (резервное) переключение”*).

Передатчик анализатора SDH компании Хьюлетт-Паккард вырабатывает псевдослучайную тестовую последовательность (PRBS) для измерений приемником анализатора. Приемник обнаруживает принятую тестовую псевдослучайную последовательность (PRBS) и измеряет длину пакета ошибок, вызванных срабатыванием защитного переключения.

Анализатор индицирует результаты в миллисекундах с разрешением в 1 мкс и заданной погрешностью 50 мкс. Он также показывает длительность самого длинного пакета ошибок, самого короткого пакета и последнего пакета: это обеспечивает проверку переходных процессов режима переключения. Эта методика исключает необходимость использования запоминающего осциллографа.

Посылаемые сетевому элементу команды резервного переключения мультиплексорной секции (MSP) запускают выполнение функции автоматического защитного переключения (APS). Эти команды содержатся в байтах K1/K2; они передаются и принимаются, используя текстовые сообщения APS (см. табл. А-7.1. и А-7.2. в Приложении 7). Это исключает необходимость для инженеров помнить протокол сообщений, определенный ИТУ-Т. Тестер может также посылать и принимать байты резервирования трактов высокого (K3) и низкого (K4) уровня (хотя протокол обмена этими байтами еще не определен). Посылка LOS, LOF, MS AIS, SF ( $SF = B2 > 10^{-3}$ ) или SD ( $SD = B2 > 10^{-6}$ ) вызывает резервное переключение мультиплексорной секции.

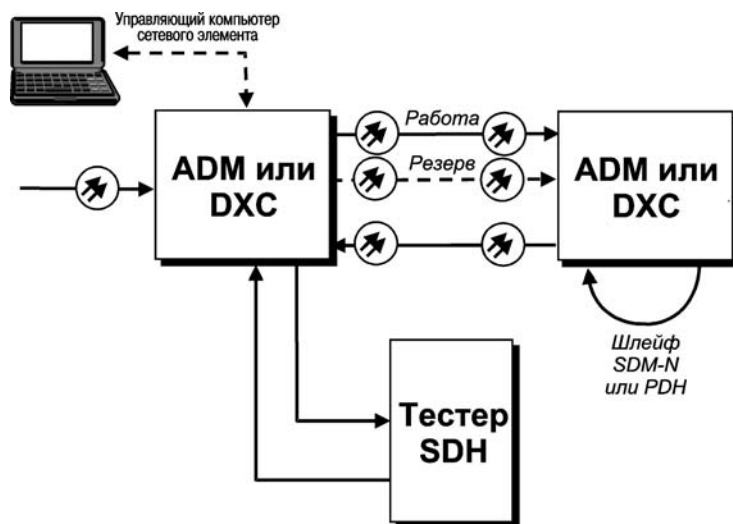


Рис. 2.15. Проверка APS в линейных сетях

### Проверка работы APS (методика теста)

1. Подключить тестер к сетевому оборудованию следующим образом:
  - для линейной сетевой архитектуры
    - подключить тестер к портам ввода/вывода PDH или SDH мультиплексора ввода/вывода
    - замкнуть шлейфом порты ввода/вывода на удаленном терминале (рис. 2.15).
  - для кольцевой архитектуры сети
    - подключить тестер к портам ввода/вывода PDH или SDH мультиплексора ввода/вывода
    - замкнуть шлейфом порты ввода/вывода на удаленном терминале (рис. 2.16).
2. Убедиться, что тестеры и сетевое оборудование засинхронизированы.
3. Выбрать скорость передающего интерфейса компонентной нагрузки SDH или PDH и выбрать необходимую тестовую последовательность:
  - использовать ручной режим (MANUAL) старт/стоп
  - выполнить измерения.
4. Проверить, что тестер не принимает ошибок и аварийных сигналов.
5. Запустить процесс защитного переключения, используя систему управления сетью или отключив BOK от работающей секции.
 

Другой способ - подключить тестер к работающей секции и запустить резервное переключение непосредственно, без системы управления или отключения кабеля:

  - для этого воспользоваться функцией генерации сообщения MSP, встроенной в тестер; это возможно как для линейной (рек. G.783 ИТУ-Т) так и для кольцевой (рек. G. 841 ИТУ-Т) архитектуры сети
  - сгенерировать SF или SD, введя в сигнал ошибки четности B2.

Если одновременно требуется измерить время переключения, использовать другой тестер для передачи и приема компонентного сигнала нагрузки.

Точное измерение времени переключения APS является несложной процедурой, если использовать анализатор цифровых систем передачи.

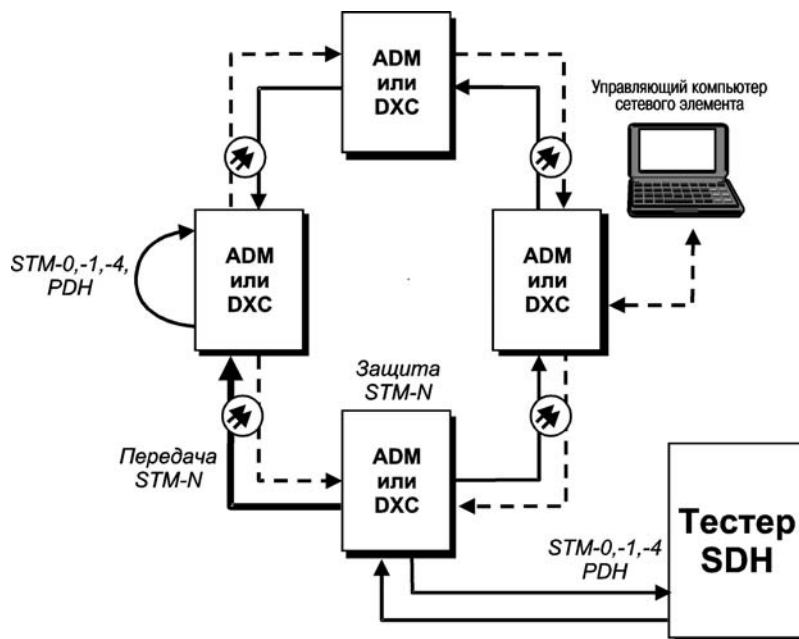


Рис. 2.16. Проверка APS в сетях с кольцевой архитектурой

Некоторые соображения по погрешности: время выполнения защитного переключения исключает время обнаружения, необходимое для начала переключения, и время задержки переключения. Однако, обычно они находятся в пределах микросекунд, а время переключения по спецификации составляет 50 мс: поэтому их влияние незначительно. В хороших тестерах погрешность обычно менее 50 мкс. Это обеспечивает достоверное измерение времени защитного переключения в пределах заданной спецификации 50 мс.

6. Измерить и зарегистрировать результаты измерения времени перерыва связи (предоставления услуг связи):
  - отсутствие ошибок и аварийных сигналов подтверждает, что непрерывность передачи трафика после переключения восстановлена
  - сравнить результаты с рекомендациями G.783/G.841 ITU-T (не более 50 мс).
  - документ G.783 ITU-T рекомендует, чтобы резервное переключение выполнялось в течение 50 мс после обнаружения сигнала отказа (SF) или сигнала ухудшения (SD), инициирующих переключение
  - документ G841 ITU также рекомендует время переключения менее 50 мс после обнаружения сбоя сигнала (SF) или ухудшения сигнала (SD) для кольцевых сетей без избыточного трафика, без предшествующих запросов межсетевых соединений и при длине ВОК не более 1200 км.

## 2.7. Тестирование дрожания фазы (джиттера) в сетях SDH (методики)

Теперь перейдем от функциональных испытаний к тестированию дрожания фазы SDH. Этот подраздел охватывает следующие измерения:

- предельно допустимый джиттер (допуск) на оптическом входе STM-N
- джиттер на оптическом выходе STM-N (также называемый генерацией джиттера)
- джиттер смещения указателя (известен под названием комбинированного джиттера)
- джиттер извлечения нагрузки.

Первоначально измерения джиттера были предназначены для проверки сетевого элемента в процессе его разработки, то есть инженеры готовили эти тесты для проверки правильности проектирования (тесты на соответствие). Однако, многие сетевые операторы обычно выполняют эти тесты джиттера при инсталляции сетевых элементов и вводе их в эксплуатацию.

### 2.7.1. Измерение предельно допустимого джиттера в сетевых элементах SDH

Конфигурация приведенная на рис. 2.17, поддерживает *рекомендованную методику тестирования* для проверки допуска на джиттер на входе оптического приемника сетевого элемента.

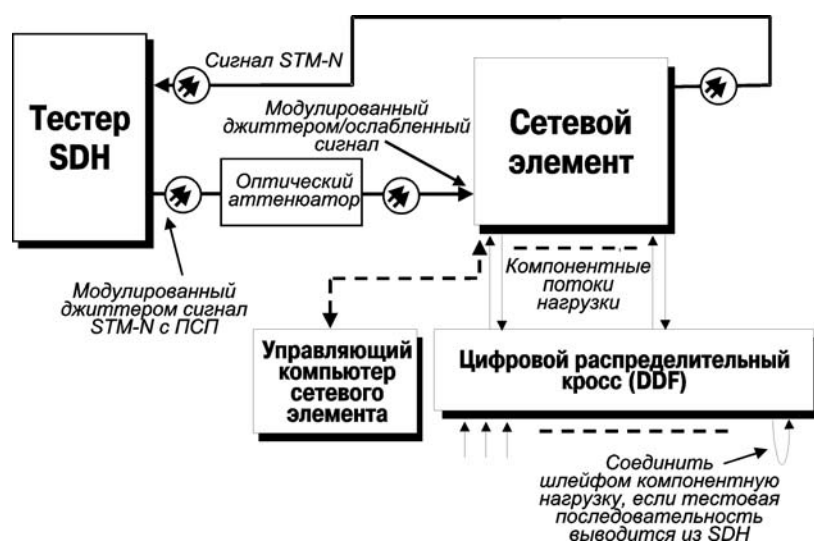


Рис. 2.17. Определение допуска на джиттер на оптическом входе приемника методом добавки 1 дБ мощности

#### Определение предельно допустимого джиттера на оптическом входе приемника (методика теста)

1. Сконфигурировать сетевой элемент для маршрутизации через него выбранного проверяемого тракта VC-n:
  - выбрать самый высокоскоростной тракт, поддерживаемый сетевым элементом, в качестве тестируемого тракта; это сэкономит время контроля
2. Сконфигурировать тестер SDH:
  - установить тип размещения нагрузки, тестируемый канал VC-n, тестовую псевдослучайную последовательность (PRBS) в полезной нагрузке
  - убедиться, что генерация джиттера запрещена (на выходе передатчика STM-N джиттер отсутствует)
3. Проверить, что тестер SDH не обнаружил аварийных сигналов и ошибок.
4. Используя оптический аттенюатор, уменьшать мощность на оптическом входе сетевого элемента, пока тестер не зафиксирует в ПСП (PRBS) тестируемого канала коэффициент ошибок BER, равный  $10^{-10}$ .  
Примечание: чувствительность оптического приемника определяется значением входной мощности, вызывающей на выходе коэффициент ошибок  $10^{-10}$ .
5. Используя оптический аттенюатор, увеличить мощность на оптическом входе приемника на 1 дБ. Это улучшит коэффициент ошибок до значения менее  $10^{-10}$ .

На практике, при использовании опорного уровня BER  $10^{-10}$  требуется слишком большое время тестирования. Использование более высокого уровня BER значительно сокращает время тестирования. Обычно, можно получить достоверные результаты при измерении предельно допустимого джиттера на опорных уровнях BER  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$  или  $10^{-9}$ .

Маски, показанные на рис.2.18, относятся к сетевым элементам, использующим восстановление тактовой частоты типа А (широкая полоса) в проверяемом интерфейсе. Для оборудования, использующего восстановление тактовой частоты типа В (узкая полоса) применяются другие маски. Более подробную информацию можно получить в рекомендации G.958 ITU-T.

6. Включить на тестере SDH генерацию джиттера:
  - установить частоту модуляции джиттера внутри диапазона значений маски джиттера в соответствии с рекомендацией G.958 ITU-T (рис. 2.18); зарегистрировать частоту
  - установить амплитуду джиттера равной 0 UI p-p (размах единичного интервала)
  - постепенно увеличивать амплитуду, пока тестер не измерит в ПСП тестового канала коэффициент ошибок BER = 10<sup>-10</sup>; зарегистрировать эту амплитуду переданного джиттера.
7. Повторить шаги 5 и 6 для нескольких частот джиттера, продвигаясь вдоль маски допуска на джиттер, фиксируя частоту и амплитуду джиттера. Начертить кривую допуска на джиттер.

Проверка соответствия сетевого элемента рекомендациям ITU-T на джиттер требует оценки результатов путем сравнения с известной маской. На рис. 2.18 показаны маски допусков на джиттер, определенные рекомендациями G.958 и G.825 ITU-T. В процессе установки запас устойчивости сети к воздействию джиттера обычно оценивается по маске рекомендации G.958. Тестирование вдоль всей маски рекомендации G.825 больше подходит во время проверки правильности проектирования оборудования.

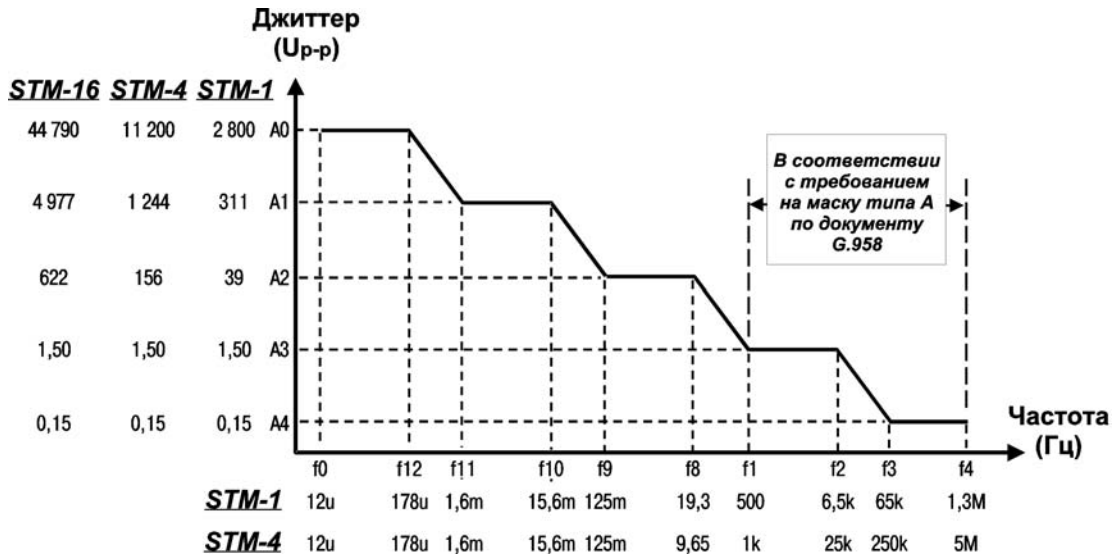


Рис. 2.18. Маски допуска на джиттер SDH (G.825 ITU-T)

### 2.7.2. Измерение джиттера на оптическом выходе

Рекомендация G.958 ITU-T определяет предельно допустимый джиттер на оптическом выходе сетевого элемента как 0,01 UI<sub>rms</sub> (среднеквадратическое значение единичного интервала), измеренный при отсутствии джиттера во входном сигнале STM-N. Рекомендация G.958 называет этот вид измерения выходного джиттера *генерацией джиттера*.

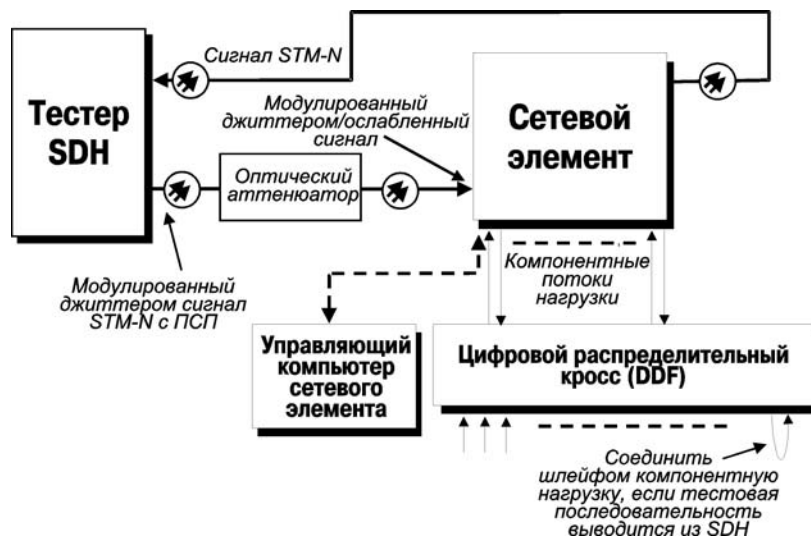


Рис. 2.19. Оценка джиттера на оптическом выходе STM-N

*Джиттер оптического выхода потока STM-N (генерация джиттера) (методика теста)*

1. Сконфигурировать сетевой элемент:
  - запретить автоматическое отключение лазера, если сетевой элемент поддерживает эту функцию (или замкнуть оптический выход передатчика сетевого элемента на вход приемника)
2. Сконфигурировать тестер SDH:
  - установить линейную скорость потока STM-N, тип размещения нагрузки
  - убедиться, что генерация джиттера запрещена (то есть, джиттер отсутствует на выходе передатчика STM-N)
  - установить приемник для измерения джиттера в единицах  $U_{\text{rms}}$  (использовать наиболее чувствительный диапазон)
  - выбрать измерительный фильтр верхних частот (ФВЧ) с полосой 12 КГц (см. Примечание 1)
3. Измерить и зарегистрировать амплитуду выходного джиттера сетевых элементов; сравнить результаты измерений со значением  $0,01 U_{\text{rms}}$ , определенным в рекомендации G.958 ITU-T.

*Примечание 1. Частотный диапазон измерений при генерации джиттера все еще находится в процессе изучения в G.958. На практике используется фильтр верхних частот 12 КГц.*

*Примечание 2. Для получения надежных результатов измерения генерации джиттера тестер SDH должен иметь характеристики погрешности и внутреннего джиттера значительно лучше  $0,01 U_{\text{rms}}$  (предпочтительно в 3 раза лучше).*

### 2.7.3. Измерение джиттера компонентной нагрузки PDH

Надежное взаимодействие сетей PDH и SDH основано на использовании оборудования SDH как средства контроля (в определенных пределах) за уровнем джиттера в компонентных нагрузках PDH, выводимых из синхронной сети. Поэтому тестирование параметров джиттера на выходах компонентных нагрузок сетевых элементов необходимо при оценке нового оборудования SDH.

Присутствие джиттера в каналах PDH, выводимых из сети SDH, обусловлено наличием двух первичных источников:

- выравнивание указателей для компенсации асинхронных операций (сетевая синхронизация) между различными узлами сети SDH
- процесс вставки дополнительных битов (стаффинг), выполняемый при размещении асинхронных сигналов в синхронных транспортных модулях



Наиболее серьезным источником является джиттер, возникающий в результате выравнивания указателей. Рекомендации по сетям SDH (G.783 ITU-T и TM-1015 ETSI) определяют границы максимально допустимого уровня джиттера, возникающего от каждого из этих источников. Поэтому проверка соответствия сетевых элементов этим стандартам требует выполнения двух различных тестов:

- тест джиттера из-за выравнивания указателей (также называется тестом комбинированного джиттера)
- тест джиттера из-за извлечения нагрузки

Далее рассматриваются оба этих теста, поясняются их методики и приводится перечень контрольно-измерительной аппаратуры, необходимой для достижения надежных результатов.

#### 2.7.4. Джиттер из-за выравнивания указателей (тестовая конфигурация)

На рис. 2.20 представлена основная конфигурация, используемая для тестирования характеристик джиттера, вызванного выравниванием указателя (комбинированного джиттера) в сетевом элементе SDH.

Тестер SDH и сетевой элемент должны синхронизироваться от одного тактового генератора. Это необходимо, чтобы избежать возможного неконтролируемого смещения указателя.

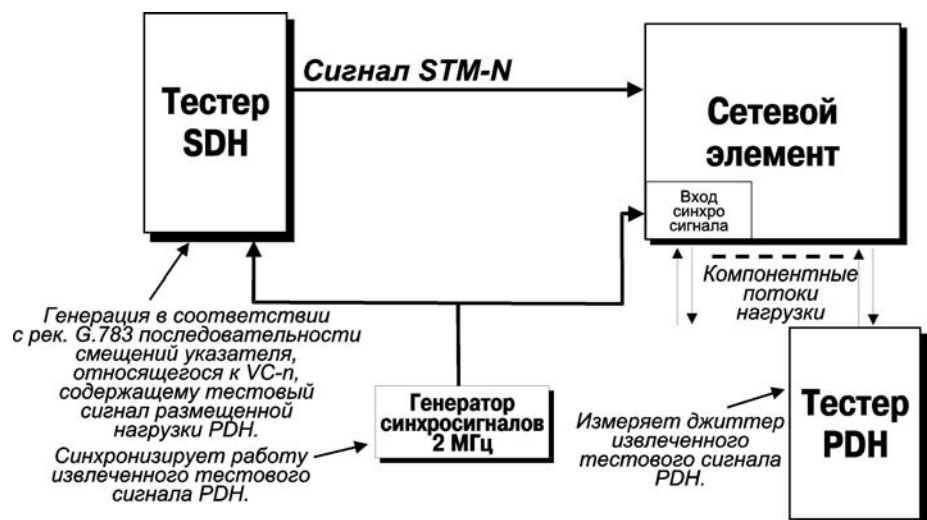


Рис. 2.20. Тестовая конфигурация джиттера указателя

- **Тестер SDH**

Генерирует сигнал STM-N, содержащий размещенную полезную нагрузку 2/34/140 Мбит/с в канале VC-n, соответствующем тестируемому выходу PDH. Сигнал полезной нагрузки должен быть псевдослучайной тестовой последовательностью (PRBS). При тестировании “джиттера выравнивания указателя” установить последовательность указателя в соответствии с рекомендацией G.783 ITU-T (подробнее см. рис. 2.19 и табл. 2.7.) и передать в указатели AU/TU соответствующего виртуального контейнера VC-n, содержащего размещенную тестовую последовательность PDH.

Рекомендации IUT-T/ETSI предполагают присутствие любого смещения частоты в диапазоне предоставления услуг при тестировании джиттера выравнивания указателя. Тестер SDH должен поддерживать генерацию этого “комбинированного” ухудшения, независимо управляя смещением частоты нагрузки PDH и генерацией последовательности смещений указателя.

- **Сетевой элемент SDH**  
Принимает тестовый сигнал STM-N, извлекает полезную нагрузку PDH и выводит ее через интерфейс G. 703 ITU-T.
- **Тестер PDH**  
Принимает выделенный PDH сигнал и выполняет измерения BER и джиттера в принятой тестовой последовательности.

### 2.7.5. Нормативы на джиттер выравнивания указателя

Джиттер, возникающий в результате выравнивания указателя, полностью отличается по характеру от джиттера сетей PDH:

- по природе он является переходным процессом
- имеет относительно высокую амплитуду
- большая часть его энергии содержится в низкочастотных составляющих (см. рис. А-5.3 “Типичный джиттер PDH, возникающий в результате выравнивания указателя”)

Ранние разработки тестеров джиттера PDH не были предназначены для измерения джиттера с подобными характеристиками. Следовательно, такие приборы не обеспечивают достоверных результатов измерения при оценке джиттера сетей SDH, вызванного выравниванием указателя PDH. *Тестеры SDH производства компании Хьюлетт-Паккард обеспечивают точные измерения джиттера указателя.* (Подробнее см. Приложение 5 “Джиттер в сетях SDH”).

Существующие рекомендации ITU-T/ETSI, определяют 4 типа последовательностей для оценки параметров джиттера сетевого элемента, вызываемого выравниванием указателя. Эти тестовые последовательности эмулируют действия указателя сетевого оборудования в результате ухудшения качества или возникновения ошибок в работе системы сетевой синхронизации.

#### Последовательности А и D

Эти последовательности эмулируют ситуацию, в которой (в среднем) отсутствует смещение частоты при размещении (сигнал PDH помещается в VC-n) и извлечении (сигнал PDH извлекается из VC-n) полезной нагрузки на обоих концах тракта.

Смещение указателя возникает в следующих случаях:

- потеря синхронизации в промежуточном сетевом элементе передающего тракта
- избыточный вандер (дрейф фазы) тактовой частоты, используемой для синхронизации работы сетевого элемента на передающем тракте

Выбрать период измерения джиттера таким образом, чтобы он перекрывал один полный цикл чередующейся последовательности (например, если чередующееся смещение происходит через 10 секунд, установить время измерения 20 секунд).

#### Последовательности В и С

Эти последовательности эмулируют ситуацию, в которой существует смещение частоты (приблизительно  $4,6 \cdot 10^{-6}$ ), используемой для синхронизации начала (размещения полезной нагрузки) и окончания (извлечения полезной нагрузки) тракта.

Можно использовать тестовые последовательности с положительным или отрицательным смещением.

*Джиттер выравнивания указателя должен измеряться для двух различных частотных диапазонов (см. табл. 2.7 “Рекомендация G.783 ITU-T, спецификации на джиттер смещения указателя”).*

*В анализаторах сетей передачи HP 37717X полосовые фильтры НЧ и ВЧ LP+HP1 эквивалентны f1-f4, а LP+HP2 эквивалентны f3-f4.*

Максимальный размах джиттера  $U_{p-p}$  вызывается нарушением регулярности последовательности смещений (то есть, “двойное” смещение в В и “пропуск” смещения в С). Поэтому рекомендуется выбрать период измерения джиттера таким образом, чтобы как минимум одно такое нарушение появилось в процессе теста.

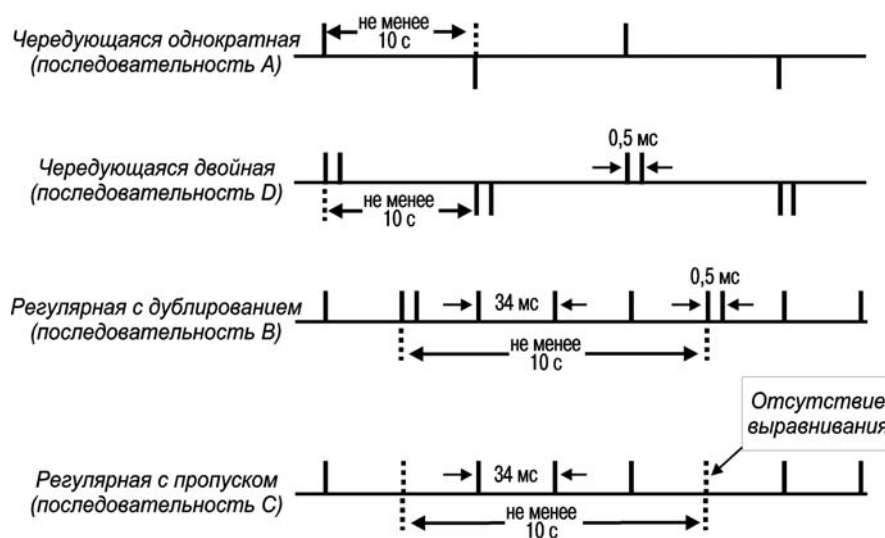


Рис. 2.21. Рекомендация G.783 ITU-T, тестовые последовательности джиттера указателя (AU-4 и TU-3)

Тесты джиттера указателя включают измерение джиттера компонентных потоков нагрузки при воздействии на сетевой элемент последовательностей из рекомендации G.783 ITU-T. Для проверки выходных компонентных потоков 34 Мбит/с и 140 Мбит/с следует использовать тестовые последовательности, приведенные на рис. 2.21. Для выхода 34 Мбит/с последовательность генерируется в соответствующем указателе TU-3. В случае выхода 140 Мбит/с последовательность формируется в соответствующем указателе AU-4.

При тестировании джиттера выравнивания указателя на выходе компонентной нагрузки 2 Мбит/с похожие последовательности указателей генерируются в указателе TU-12, относящемся к тестируемому компонентному потоку 2 Мбит/с. Отличия между тестовыми последовательностями TU-12 и последовательностями на рис. 2.21 заключаются в следующем:

- последовательность D не подходит для тестирования компонентных потоков 2 Мбит/с
- период регулярных смещений (обозначенный T2) в последовательностях В и С больше 750 мс (а не 34 мс)
- период двойного смещения указателя (обозначенный T3) в последовательности В равен 2 мс (а не 0,5 мс)

Полезная нагрузка	Указатель	Последовательность	Частотный диапазон измерений	Максимальный джиттер (U <sub>p-p</sub> )
2 Мбит/с	TU-12	A, B, C A, B, C	0,02 – 100 кГц * 18 – 100 кГц **	0,4 0,075
34 Мбит/с	TU-3	A, B, C D A, B, C, D	0,1 – 800 кГц * 0,1 – 800 кГц * 10 – 800 кГц **	0,4 0,75 0,075
140 Мбит/с	AU-4	A, B, C D A, B, C, D	0,02 – 3500 кГц * 0,02 – 3500 кГц * 10 – 3500 кГц **	0,4 0,75 0,075

\* Эквивалент измерительного фильтра LP+HP1

\*\* Эквивалент измерительного фильтра LP+HP2

**Таблица 2.7. Рекомендация G.783 ITU-T, джиттер указателя (комбинированный джиттер)**

Рекомендация G.783 (см. табл. 2.7) определяет максимально допустимый уровень джиттера из-за выравнивания указателя на выходах компонентных нагрузок PDH в сетевых элементах SDH. Максимальный размах джиттера зависят от:

- типа последовательности смещений указателя, используемой для воздействия на рассинхронизатор сетевого элемента
- диапазона частот при измерении джиттера (приведенные цифры показывают, что большая часть энергии джиттера, высокий уровень джиттера, содержится в низкочастотных составляющих)

Джиттер выравнивания указателя называется в рекомендации G.783 “комбинированным джиттером”. Термин “комбинированный” означает вклад в джиттер двух составляющих: выравнивания указателя и вставки дополнительных битов (стаффинга).

Спецификации, включающие компонентные выходы 1,5 Мбит/с (DS-1), 6,3 Мбит/с (DS-2) и 45 Мбит/с (DS-3) находятся в стадии рассмотрения.

Полезная нагрузка	Установки передачи SDH		Установки приема PDH		Максимальный джиттер (UIp-p)
	Последовательность смещений указателя	Смещение PDH	Измерительные фильтры	Период измерения (с)	
2 Мбит/с	A	$\pm 50 \cdot 10^{-6}$	LP + HP1	20	0,4
	B C		LP + HP1	30	0,4
	A	Любое из заданного диапазона	LP + HP2	20	0,075
	B C		LP + HP2	30	0,075
34 Мбит/с	A D	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	LP + HP1	20	0,4 (A)
	B C		LP + HP1	30	0,75 (D)
	A D	Любое из заданного диапазона	LP + HP2	20	0,4
	B C		LP + HP2	30	0,075
140 Мбит/с	A D	$\pm 15 \cdot 10^{-6}$	LP + HP1	20	0,4 (A)
	B C		LP + HP1	30	0,75 (D)
	A D	Любое из заданного диапазона	LP + HP2	20	0,4
	B C		LP + HP2	30	0,075

Таблица 2.8. Измерение джиттера, установки тестера SDH

Последняя редакция документа G.783 ITU-T называет дополнительные тестовые последовательности выравнивания указателя [E,F,G,H]. Поскольку они относятся только к сетям SONET, они здесь не рассматриваются. Эти дополнительные тестовые последовательности предназначены для групп, состоящих из трех смещений указателя (или отсутствие трех смещений). Такие смещения указателей и результирующий джиттер могут возникать только в оборудовании DS-1/DS-3, работающем в североамериканском стандарте SONET. Рекомендации ITU-T/ETSI не разрешают оборудованию, работающему в стандартах SDH, генерировать последовательности указателя с такими “пропусками”.

### 2.7.6. Измерение джиттера выравнивания указателя SDH (комбинированный джиттер)

Это наиболее важный тест джиттера, выполняемый в сетях SDH. Причиной этого является то, что в сетях SDH часто происходят смещения указателя. Эти смещения приводят к появлению большого числа импульсов джиттера в портах компонентной нагрузки и в действующей сети PDH. Существующие сети PDH не рассчитаны на обработку большого числа импульсов джиттера; поэтому при тестировании важно убедиться, что их влияние сведено к минимуму, а ошибки и потери данных отсутствуют.

Вместе со значительными изменениями указателя всегда генерируются низкочастотные составляющие джиттера (вандера). (Практика показала, что частотные составляющие вандера находятся в диапазоне 0,1 Гц - 4 Гц). Входная схема сетевого элемента отфильтровывает эти частоты, поэтому они не вызывают проблем внутри сети. Поскольку эти низкочастотные составляющие находятся за пределами полосы пропускания, их не следует измерять. Однако при этом следует использовать только такие тестеры джиттера, которые содержат измерительные фильтры, подавляющие эти составляющие, находящиеся за пределами полосы пропускания.

**Тестеры SDH компании Хьюлетт-Паккард  
обеспечивают правильную фильтрацию и, следовательно,  
точные измерения джиттера указателя**

**Измерения джиттера выравнивания указателя (методика теста)**

1. Подключить тестеры SDH и PDH к проверяемому сетевому элементу, как показано на рис. 2.20. Обязательно синхронизировать тестер SDH и сетевой элемент.
2. Сконфигурировать тестер SDH:
  - установить линейную скорость STM-N, тип размещения, тестовый канал VC-n и тестовую псевдослучайную последовательность для размещенной полезной нагрузки
  - установить частоту смещения полезной нагрузки PDH равной любому значению диапазона
  - установить и запустить последовательность A указателя в соответствии с рекомендацией G.783 AU/TU (см. рис. 2.21 и табл. 2.8).
3. Сконфигурировать тестер PDH:
  - установить скорость PDH для приемника (2/34/140 Мбит/с)
  - установить в приемнике такую же тестовую псевдослучайную последовательность, как передаваемая тестером SDH в размещенной нагрузке
  - установить органы управления "test timing" (время тестирования) в положения "SINGLE" и "20 seconds";
  - установить приемник для измерения размаха джиттера UI p-p. (Использовать предел чувствительности 1.6 UI);
  - установить измерительный фильтр джиттера в положение "LP+HP1".
4. Убедиться, что приемник тестера PDH не обнаружил ошибок и аварийных сигналов.
5. Измерить и зарегистрировать размах джиттера для 10 последовательных периодов измерения. Сравнить полученные результаты с предельными значениями, указанными в рекомендации G.783.
6. Изменить установку фильтра в положение "LP+HP2". Повторить шаг 5.
7. Повторить при необходимости вышеуказанную процедуру для последовательностей указателя B,C,D:
  - для последовательностей B и C установить период измерения 30 с, выполнить тесты, используя последовательности как с положительным, так и с отрицательным выравниванием указателя.

### 2.7.7. Джиттер извлечения (тестовая конфигурация)

Джиттер извлечения является менее серьезным дефектом, чем джиттер выравнивания указателя. Его возникновение связано с процессом стаффинга, используемого при размещении асинхронной полезной нагрузки (2/34/140 Мбит/с) в транспортном потоке SDH. Его амплитуда изменяется со смещением частоты компонентной нагрузки PDH относительно VC-n (подробнее о параметрах джиттера извлечения см. в Приложении А-5.4, "Джиттер извлечения (основные сведения)").

В указанной методике теста "Периоды измерения" означают следующее:

для последовательностей A и D чередующиеся выравнивания разнесены во времени на 10 с (период измерения 20 с);

для последовательностей B и C "нарушения выравнивания" разнесены во времени на 30 с (период измерения 30 с); измерения должны выполняться как для положительного так и для отрицательного выравнивания.

Джиттер извлечения имеет низкую амплитуду (см. табл. 2.9, “Рекомендации G.783 ITU-T по джиттеру извлечения”) и относительно высокую частоту (и поэтому может быть подавлен десинхронизатором в сетевом элементе SDH).

Целью теста джиттера извлечения является обнаружение максимального размаха джиттера, вызываемого смещением частоты размещенного сигнала PDH относительно частоты виртуального контейнера VC-n, используемого для транспортировки этой полезной нагрузки.

Чтобы гарантировать нахождение максимального значения размаха джиттера необходимо выполнить измерения джиттера для большого числа близко расположенных смещений (как положительных так и отрицательных). Максимальный джиттер извлечения возникает при малых смещениях относительно  $0 \cdot 10^{-6}$  (компонентная нагрузка PDH относительно VC-n).

Основная тестовая конфигурация, используемая для оценки параметров джиттера извлечения та же самая, что использовалась для определения параметров джиттера выравнивания указателя (комбинированного джиттера).

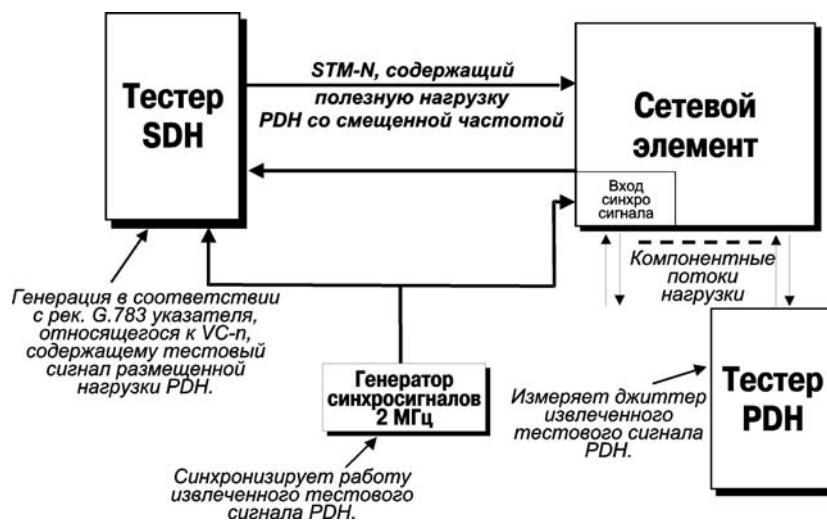


Рис. 2.22. Тестовая конфигурация джиттера извлечения

- Тестер SDH генерирует сигнал STM-N, содержащий частотно управляемую полезную нагрузку 2/34/140 Мбит/с, размещенную в канале VC-n, соответствующему проверяемому выходу PDH. Сигнал полезной нагрузки должен быть тестовой псевдослучайной последовательностью.
- Сетевой элемент SDH принимает тестовый сигнал STM-N, извлекает полезную нагрузку PDH и выводит ее через PDH - интерфейс G.703.
- Тестер PDH принимает извлеченный сигнал PDH и производит измерения BER и джиттера на тестовой последовательности.

Рекомендация G.783 ITU-T (табл. 2.9) указывает максимально допустимый джиттер из-за размещения меньше чем  $0,075 U_{p-p}$ . Для получения надежных результатов тестер PDH, используемый для выполнения этих измерений, должен иметь характеристики внутреннего джиттера и погрешности существенно лучше чем это значение (желательно, как минимум, в три раза лучше).

Снова необходимо, чтобы тестер SDH и сетевой элемент синхронизировались от одного источника. Это гарантирует невозможность возникновения случайного выравнивания указателя в процессе тестирования и измерение только джиттера извлеченного сигнала.

Для поддержки тестов джиттера извлечения тестер SDH должен обеспечивать прецизионное управление сдвигом частоты размещенной тестовой последовательности PDH относительно тестового канала VC-n. (Частота размещенной нагрузки управляется, а частота соответствующего ей виртуального контейнера остается неизменной). Для каждого значения смещения частоты следует измерить джиттер, присутствующий в извлеченном тестовом сигнале PDH, используя тестер PDH.

Полезная нагрузка	Диапазон смещения, $n \cdot 10^{-6}$	Частотный диапазон измерений	Максимальный джиттер (UI <sub>p-p</sub> )
2 Мбит/с	±50	18 – 100 кГц *	0,075
34 Мбит/с	±20	10 – 800 кГц *	0,075
140 Мбит/с	±15	10 – 3500 кГц *	0,075

\* Эквивалент измерительного фильтра LP+HP2

Таблица 2.9. Рекомендация G.783 ITU-T по джиттеру извлечения

### 2.7.8. Измерение джиттера извлечения

#### Джиттер извлечения (методика теста)

1. Подключить тестеры SDH и PDH к проверяемому сетевому элементу как показано на рис. 2.22.  
*Обязательно синхронизировать тестер SDH и сетевой элемент.*
2. Сконфигурировать тестер SDH:
  - установить линейную скорость STM-N, тип размещения, тестовый канал VC-n и тестовую псевдослучайную последовательность для размещенной полезной нагрузки
  - установить смещение частоты полезной нагрузки PDH равным  $0 \cdot 10^{-6}$
  - убедиться, что генерация выравнивания указателей запрещена.
3. Сконфигурировать тестер PDH:
  - установить скорость PDH для приемника (2/34/140 Мбит/с)
  - установить в приемнике такую же тестовую псевдослучайную последовательность, как передаваемая тестером SDH в размещенной нагрузке
  - установить органы управления "test timing" (время тестирования) в положения "SINGLE", "5 seconds"
  - установить приемник для измерения размаха джиттера UI<sub>p-p</sub> (использовать предел чувствительности "1.6 UI")
  - установить измерительный фильтр джиттера в положение "LP+HP2".
4. Убедиться, что приемник тестера PDH не обнаружил ошибок и аварийных сигналов.
5. Измерить и зарегистрировать размах джиттера, обусловленный смещением частоты PDH. Сравнить полученные результаты с предельно допустимыми значениями, указанными в рекомендации G.783.
6. Увеличить значение смещения частоты PDH на  $1 \cdot 10^{-6}$ .
7. Повторить шаги 5 и 6 для значений смещения в пределах указанного диапазона (как для положительных, так и для отрицательных значений в единицах  $\pm n \cdot 10^{-6}$ ).

#### Примечание 1

В идеальном случае при измерениях джиттера извлечения, соответствующего значениям смещения, близким к  $0 \cdot 10^{-6}$ , следует использовать шаг смещения  $0,1 \cdot 10^{-6}$  или меньше (это означает, что эквивалентом таких значений смещения в единицах  $n \cdot 10^{-6}$  являются частоты, не выходящие за пределы диапазона  $\pm 10$  Гц).

#### Примечание 2

Спецификация на джиттер извлечения полезной нагрузки 140 Мбит/с находится в стадии рассмотрения (предложенное значение составляет  $0,075$  UI<sub>p-p</sub>).

#### Примечание 3

Спецификации на измерение джиттера извлечения с использованием фильтра "LP+HP1" находятся в стадии рассмотрения.



## 2.8. Заключение

Методики тестов, рассмотренные в этом разделе, направлены на проведение наиболее важных параметрических и функциональных испытаний, необходимых при инсталляции и обслуживании сетевых элементов SDH.

Методики дополнительных тестов сетей передачи и оборудования SDH можно найти в брошюрах по применению и описаниях приборов компании

Хьюлетт-Паккард. Типичными примерами таких тестов являются тесты оптических компонентов сети, параметрические тесты, обеспечивающие измерения выходной мощности оптических передатчиков и чувствительности оптических приемников или тесты самих волоконно-оптических кабелей. За перечнем последних публикаций, описывающих оборудование и методики тестов, предназначенных для оказания помощи пользователям по оптимизации эффективности работы сети, обращайтесь в местные представительства компании Хьюлетт-Паккард.



## **Раздел 3**

### **Выводы**



## Выводы

Небольшие по объему, но очень важные методики тестов, приведенные во втором разделе этой книги, обычно используются во время инсталляции сетевых элементов SDH. Ниже приведен полный план тестов инсталляции.

- Небольшое число параметрических тестов, проверяющих:
  - основные характеристики сигналов, передаваемых сетевым элементом (уровень мощности, частота, джиттер)
  - способность портов приемника выдерживать заданные уровни ухудшения качества сигнала (низкая мощность сигнала, смещение частоты, джиттер)
- Ряд функциональных тестов, проверяющих:
  - основные режимы работы сетевого элемента (компьютерное управление, безошибочная передача, обработка основных сигналов, ошибок и аварийных сигналов)
  - правильность конфигурации конкретных рабочих характеристик (маршрутизация трактов, дополнительные аварийные сигналы, защитное переключение, тактовая синхронизация и т.д.)

Принятие плана проведения испытаний, направленного на проверку этих важных аспектов инсталляции, обеспечит беспрепятственную интеграцию нового сетевого оборудования в действующую сеть. Интегрированное таким образом оборудование в процессе эксплуатации обеспечит поддержку необходимой работоспособности сети и ее техническое обслуживание.

Функциональные тесты	Параметрические тесты
Управление сетевым элементом	Оптическая мощность (передатчик)
Безошибочная передача (все тракты через сетевой элемент)	Оптическая чувствительность (приемник)
Маршрутизация (обеспечение доставки данных)	Внутренняя тактовая частота
Обработка аварийных сигналов (обнаружение, отклики, сообщение)	Допустимая частота смещения (приемник)
Обработка ошибок (обнаружение, отклик и сообщение)	Джиттер SDH (допуск, передача, генерация)
Защитные переключения	Джиттер PDH (допуск, указатель, извлечение)
Тактовая синхронизация	
Обработка выравнивания указателя	
Автоматическое отключение лазера	
Другие конфигурируемые рабочие характеристики	

Таблица 3.1. Сводная таблица типичных тестов инсталляции SDH

### 3.1. Выбор портативного тестера SDN

Большинство предлагаемых в настоящее время портативных тестеров рекламируются как средства, полностью поддерживающие проведение всех испытаний, связанных с инсталляцией современных телекоммуникационных сетей передачи. Поэтому выбор такого тестера может стать сложной задачей. Опубликованные спецификации не дают возможности полностью объяснить все рабочие характеристики прибора. Ниже приводятся некоторые важные свойства, которые необходимо сравнивать при выборе тестового оборудования.

- **Поддерживаемые структуры сигнала**  
Хотя в настоящее время в прикладных задачах доминирует потребность в смешанных тестовых возможностях PDH/SDH, в ближайшие несколько лет будет возрастать значение тестирования ATM (асинхронный режим передачи). Выбор такого тестера, который смог бы соответствовать этим изменяющимся требованиям (в том числе требованиям развивающейся структуры ATM) поможет избежать значительных затрат, связанных с дополнительными инвестициями в новое испытательное оборудование и с переобучением обслуживающего персонала.
- **Управление заголовком**  
Успешное тестирование инсталляции зависит от тестера, обеспечивающего следующие возможности:
  - передачу значений, определяемых пользователем, в выбранные каналы заголовков
  - *не вызывающее последствий изменение* передаваемых значений во время теста (подраздел 2.6.5 “Проверка правильности конфигурации идентификатора трассировки маршрута” поясняет необходимость подобных требований).

Хотя большинство тестеров предусматривает выбор пользователем данных в заголовках (спецификации измерительного оборудования должны четко оговаривать эту способность), некоторые из них не допускают *не вызывающие последствий изменения передаваемых данных во время теста*. Подобные недостатки в работе тестера никогда не упоминаются в его спецификациях, хотя иногда они ссылаются на такие ограниченные функции управления, как *Overhead Preset* (Предварительная установка заголовка) или *Static Overhead* (статический заголовок).

***Не вызывающая никаких последствий работа тестера при внесении изменений в заголовок является необходимостью.***

- **Измерения джиттера**  
Надежные измерения могут быть обеспечены только контрольно-измерительной аппаратурой, специально разработанной для тестирования джиттера в сетях SDN. Это изложено в подразделах, посвященных тестам джиттера на оптическом выходе STM-N, джиттера из-за выравнивания указателя, джиттера из-за извлечения нагрузки. Основными требуемыми характеристиками являются *низкий внутренний джиттер* и способность *точно измерять джиттер, вызванный выравниванием указателя* (см. таблицу 2.7 и Приложение А-5.3, где описываются характеристики джиттера указателя).

Термин “не вызывающее последствий изменение” относится к способности тестера изменять данные передаваемого заголовка при соблюдении следующих условий:

- это изменение не вызывает неконтролируемых изменений в других частях передаваемого сигнала
- в процессе этого изменения в канал заголовка не передается каких-либо неопределенных значений.

- ***Параметрические измерения***

Основные параметрические измерения являются частью большинства планов тестирования инсталляции. Выбор тестера передачи, включающего эти основные параметрические измерения (оптическую мощность, частоту, время отклика/задержки) упростит методики тестов. Это также уменьшит необходимое число различных контрольно-измерительных приборов для персонала, занимающегося инсталляцией.





## **Приложения**

**Приложение 1: Рекомендации ITU-T по стандартам синхронной передачи**

**Приложение 2: Структура и иерархия SDH**

**Приложение 3: Функции заголовков**

**Приложение 4: Аварийные сигналы и отклики сети SDH**

**Приложение 5: Джиттер в сетях SDH**

**Приложение 6: Синхронизация сетей SDH**

**Приложение 7: Автоматическое защитное (резервное) переключение**



## Приложение 1

### Рекомендации ITU-T по стандартам синхронной передачи

#### A-1.1. ITU - Международный союз электросвязи (МСЭ)

ITU со штаб-квартирой, расположенной в Женеве, Швейцария, является международной организацией внутри структуры ООН. Через эту организацию правительства и частные предприятия координируют создание и эксплуатацию телекоммуникационных сетей и предоставление услуг. Эта организация несет ответственность за правовое регулирование, стандартизацию, координацию и развитие международных телекоммуникационных сетей, а также согласование национальной политики различных государств в этой области. ITU является органом ООН.

Раньше ITU действовала через 4 организации (см. ниже). Рекомендации были опубликованы в "Цветных книгах", например, 1981-1984 - Красная книга, 1985-1988 - Синяя книга.

- Генеральный секретариат
- Международный комитет регистрации частот (IFRB)
- CCIR - Международный консультативный комитет по радио
- CCITT - международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии (МККТТ)

Вследствие процесса реорганизации ITU, 28 февраля 1993 года CCITT прекратил существование. Вместо него 1 марта 1993 был создан сектор стандартизации телекоммуникаций (ITU-TS). Подобно этому, в процессе реформирования, CCIR и IFRB были заменены на Сектор радиосвязи (ITU-R).

- Сектор стандартизации телекоммуникаций ITU является постоянно действующим органом ITU. ITU-TS несет ответственность за изучение технических, рабочих и тарифных вопросов, а также за издание рекомендаций по ним с учетом стандартизации телекоммуникаций во всем мире. Мировая конференция по стандартизации телекоммуникаций (WTSC), проводимая раз в 4 года, устанавливает предмет изучения для рабочих групп ITU-TS, которые, в свою очередь, вырабатывают рекомендации ITU-T по этим темам.

## **A-1.2. Разработка стандартов синхронных сетей SDH**

В июне 1986 года XV111 рабочая группа ССИТТ начала работу по стандартам SDH. Целью этой работы было предоставление мирового стандарта для систем синхронной передачи, который мог бы обеспечить операторов гибкой в эксплуатации и экономичной сетью.

В ноябре 1988 года были одобрены первые стандарты SDH: Рекомендации G.707 и G.709. Эти стандарты определяли скорости передачи, формат сигнала, структуры мультиплексирования и способы размещения компонентных нагрузок для узлового интерфейса сети (NNT) - международного стандартного интерфейса для синхронной цифровой иерархии.

В дополнение к созданию стандартов, относящихся к NNT, ССИТТ также разработал ряд стандартов, устанавливающих принципы работы синхронных мультиплексоров (рекомендации ССИТТ G.781, G.782, G.783) и принципы административного управления сетью SDH (G.784). Именно стандартизация этих аспектов оборудования SDH предоставила оператору требуемую гибкость в распределении полосы пропускания и в предоставлении новых видов услуг, отвечающих требованиям пользователей следующего десятилетия.

Концепция синхронной транспортной системы, основанная на стандартах SDH, выходит за рамки требований системы передачи от точки к точке, она включает требования телекоммуникационных сетей: коммутацию, передачу и управление сетью. Эти возможности позволяют использовать SDH во всех трех традиционных сферах применения сетей: местная сеть, междугородная телефонная сеть и магистральная сеть дальней связи. Поэтому SDH обеспечивает унифицированную инфраструктуру телекоммуникационной сети.

## **A-1.3. Рекомендации ITU-T для синхронной передачи**

ITU-T выпускает новые рекомендации и изменяет существующие с целью своевременного отражения новых разработок в технологии и практической работе сети.

Ниже представлены некоторые рекомендации ITU-T, относящиеся к различным аспектам синхронной передачи, описываемым в этой книге (указывается дата последней редакции к моменту издания этой книги).

	<b>Серия G</b>	<b>Системы и средства передачи, цифровые системы и сети</b>
<b>Цифровые системы передачи</b> <b>Оконечное оборудование - общие сведения</b>	G.702 (11/88)	Скорости цифровой иерархии (Синяя книга, отдельный выпуск III.4)
	G.703 (4/91)	Физические/электрические характеристики интерфейсов цифровой иерархии
	G.704 (7/95)	Структура синхронного кадра, используемого в иерархических уровнях 1544, 6312, 2048, 8448, и 44 736 кбит/с
	G.706 (4/91)	Кадровая синхронизация и контроль избыточным кодом (CRC) структур основного кадра, определенных в рекомендации G.704
	G.707 (3/96)	Интерфейс сетевого узла для синхронной цифровой иерархии (заменяет ранние рекомендации G.707, G.708, G.709)
<b>Основные характеристики первичного мультиплексорного оборудования</b>	G.732 (11/88)	Характеристики первичного оборудования уплотнения каналов на основе ИКМ, работающего со скоростью 2048 кбит/с (Синяя книга, отдельный выпуск III.4)
	G.742 (11/88)	Цифровое оборудование уплотнения каналов второго порядка, работающее со скоростью 8448 кбит/с и использующее положительное выравнивание (Синяя книга, отдельный выпуск III.4)
<b>Основные характеристики мультиплексорного оборудования высокого уровня</b>	G.751. (11/88)	Цифровое оборудование уплотнения каналов, работающее со скоростями третьего порядка 34 368 кбит/с и со скоростями четвертого порядка 139 264 кбит/с и использующее положительное выравнивание (Голубая книга, отдельный выпуск III.4)
<b>Эксплуатация, администрирование и обслуживание передающего оборудования</b>	G.772 (3/93)	Защищенные контрольные точки в цифровых системах передачи
<b>Основные характеристики мультиплексорного оборудования для синхронной цифровой иерархии</b>	G.781 (1/94)	Структура рекомендаций на оборудование синхронной цифровой иерархии (SDH)
	G.782 (1/94)	Типы и общие характеристики оборудования синхронной цифровой иерархии (SDH)
	G.783 (1/94)	Характеристики функциональных блоков оборудования синхронной цифровой иерархии (SDH)
	G.784 (1/94)	Управление синхронной цифровой иерархией (SDH)
<b>Цифровая сеть: цели разработки</b>	G.810 (8/96)	Термины и определения синхронной сети
	G.811 (11/88)	Требования к выходным синхросигналам первичных эталонных генераторов, предназначенных для работы в плезиохронных международных цифровых линиях (Голубая книга, отдельный выпуск III.5)
	G.812 (11/88)	Требования к выходным синхросигналам вторичных генераторов, предназначенных для работы в плезиохронных международных цифровых линиях (Голубая книга, отдельный выпуск III.5)

G.813	(8/96)	Характеристики синхросигналов вторичных тактовых генераторов (SEC) оборудования SDH	
G.821	(8/96)	Характеристики ошибок международного цифрового соединения, работающего со скоростью ниже первичной скорости и образующего часть интегральной цифровой сети.	
G.823	(3/93)	Контроль джиттера и вандера внутри цифровых сетей, основанных на иерархическом уровне 2048 кбит/с	
G.825	(3/93)	Контроль джиттера и вандера внутри цифровых сетей, основанных на синхронной цифровой иерархии (SDH))	
G.826	(8/96)	Характеристики ошибок и назначение элементов международных цифровых каналов с постоянной скоростью передачи, превышающей первичную скорость	
G.832	(11/95)	Транспортировка элементов SDH по сетям PDH, структуры кадров и мультиплексирования	Возможности и функции сети
G.841	(7/95)	Типы и характеристики различных архитектур защиты сети SDH	Характеристики сети SDH
G.957	(7/5)	Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии	Цифровые линейные системы
G.958	(11/94)	Цифровые линейные системы, основанные на синхронной цифровой иерархии, для использования в волоконно-оптических кабелях	
<b>Серия М:</b>		<b>Техническое обслуживание</b>	
M.2100	(7/95)	Предельные характеристики для ввода в эксплуатацию и обслуживания международных трактов, секций и систем передачи PDH	Международная транспортная сеть
M.2110	(10/92)	Ввод в эксплуатацию международных цифровых трактов, секций и систем передачи	
M.2120	(10/92)	Процедуры обнаружения и локализации неисправностей в цифровых трактах, секциях и системах передачи	
M.3010	(5/96)	Принципы сети управления телекоммуникациями	Управление телекоммуникациями
<b>Серия О:</b>		<b>Спецификации на измерительные приборы</b>	
O.150	(5/96)	Общие требования на КИА, предназначенную для измерения рабочих параметров цифрового оборудования передачи	Измерение цифровых параметров
O.151	(10/92)	Оборудование для измерения характеристик ошибок, работающее на первичной и более высоких скоростях	
O.152	(10/92)	Оборудование для измерения характеристик ошибок для скоростей 64 кбит/с и N x 64 кбит/с	
O.17s	(12/96)	Оборудование для измерения джиттера и вандера в цифровых системах, основанных на синхронной цифровой иерархии (SDH) (этот проект документа заменяет O.171 “Оборудование для измерения джиттера синхронизации в цифровых системах”)	
O.181	(5/96)	Оборудование для оценки параметров ошибок в интерфейсах STM-N.	

## Приложение 2

### Структура и иерархия SDH

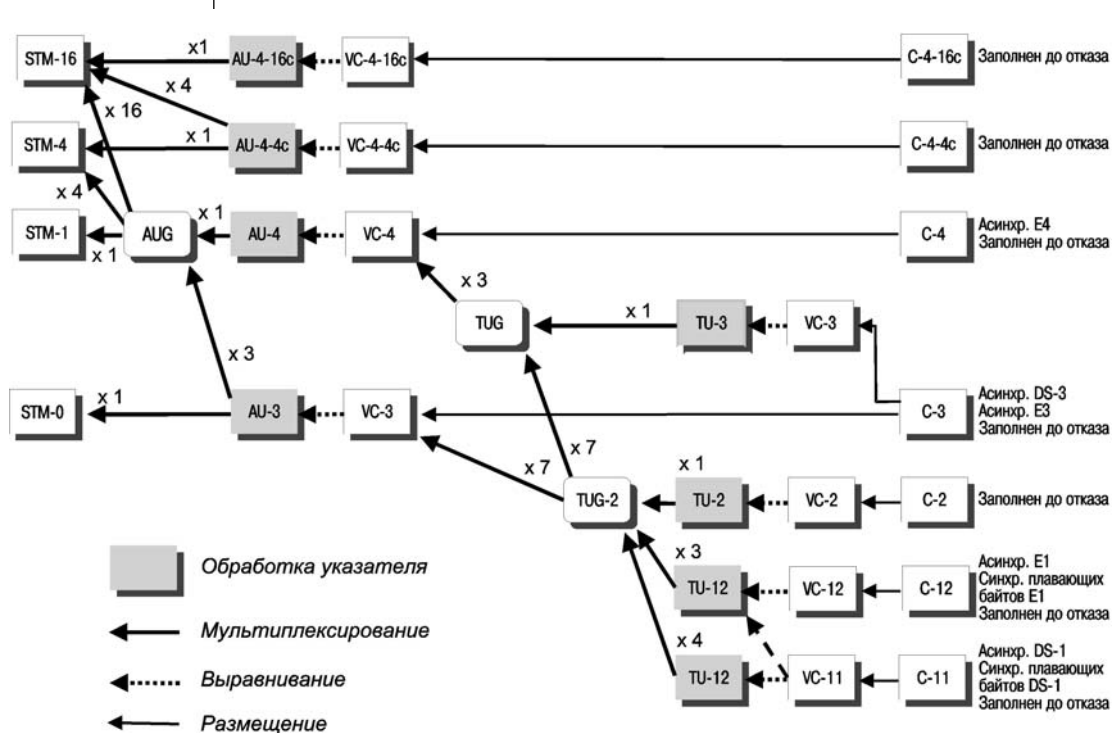


Рис. А-2.1. Структура мультиплексирования SDH (на основе рекомендации G.707 ITU-T)

#### А-2.1. Элементы иерархии

##### Контейнер C<sub>n</sub>: (n=1, 2, 3, 4)

Базовый элемент сигнала STM, содержащий группу байтов, размещенных для передачи со скоростями, определенными в рекомендации G.702 (иерархии передачи 1,5 Мбит/с и 2 Мбит/с).

##### Виртуальный контейнер VC-n: (n=1, 2, 3, 4)

Создается из контейнера и дополнительной емкости для переноса трактового заголовка (РОН). Заголовок обеспечивает сквозное управление и наблюдение за трактом.

В отличие от простых базовых VC-1 или VC-2, для VC-3 или VC-4 полезная нагрузка может содержать несколько блоков компонентной нагрузки TU или групп таких блоков TUG.

**Блок компонентной нагрузки TU-n: (n=1, 2, 3)**

Состоит из виртуального контейнера и указателя блока компонентной нагрузки. Положение VC внутри TU не фиксировано, а положение указателя TU фиксировано относительно следующего шага структуры мультиплексирования и индицирует начало VC.

**Группа блоков компонентной нагрузки TUG**

Формируется из группы идентичных TU.

**Административный блок AU-n: (n=3, 4)**

Этот блок состоит из VC и указателя AU. Фазовое выравнивание указателей AU фиксировано по отношению к кадру STM-1 в целом и указывает на позиции VC.

**Синхронный транспортный модуль: уровень 1 (STM-1)**

Это базовый элемент SDH. Он формируется из полезной нагрузки (образованной из AU) и дополнительных байтов, формирующих секционный заголовок (SOH). Секционный заголовок позволяет передавать управляющую информацию между соседними синхронными сетевыми элементами.

**Синхронный транспортный модуль: уровень N (STM-N)**

Формируется путем объединения сигналов STM низкого уровня с использованием чередования байтов.

**A-2.2. Базовая сеть SDH**

Сеть SDH можно рассматривать, как сеть взаимосвязанных узлов, обрабатывающих сигналы SDH. Любые два узла соединяются транспортными системами индивидуальных сигналов SDH.

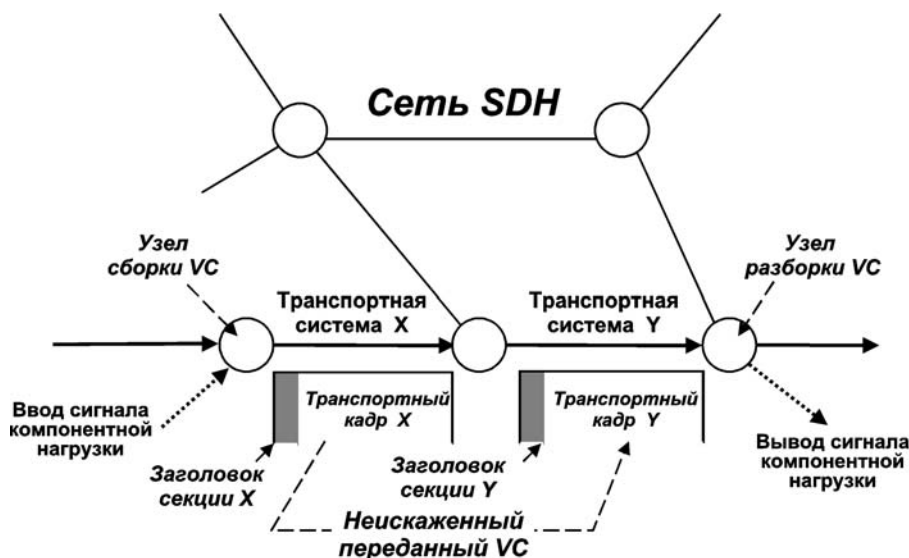


Рис. А-2.2. Передача данных по сети SDH



Каждая транспортная система передает структурированный сигнал SDH, формат которого может быть описан через синхронный кадр передачи (см. рис. А-2.4). Сигнал SDH в основном включает 2 типа данных внутри этого кадра SDH:

- сигналы **компонентной нагрузки**, которые являются доходобразующими
- служебные данные или встроенный **заголовок**, необходимый для эффективной передачи по сети SDH сигналов компонентных потоков доходобразующего трафика.

Часть кадра сигнала SDH, **виртуальный контейнер (VC)**, передает сигнал компонентной нагрузки по синхронной сети; VC без искажений передается по сети вдоль своего маршрута от одной транспортной системы к другой. Обычно сборка компонентной нагрузки происходит в точке ее ввода в синхронную сеть, а разборка - только в точке вывода.

Передающая сторона каждого сетевого узла создает свой собственный **заголовок секции** для транспортной системы, к которой она подсоединена: следующий принимающий узел по прямому направлению потока оканчивает этот заголовок. Заголовок секции не передается через узел вместе с VC. Таким образом, заголовок секции относится только к индивидуальной транспортной системе (а не к полному тракту компонентной нагрузки), поддерживая транспортировку VC по этой транспортной системе.

### А-2.3. Заголовок сети SDH

Полный тракт передачи компонентной нагрузки SDH включает три логических сегмента: тракт, мультиплексорную секцию и регенераторную секцию.

Внутри кадра сигнала SDH каждый сегмент имеет свой собственный заголовок:

- заголовок тракта
- заголовок мультиплексорной секции
- заголовок регенераторной секции.

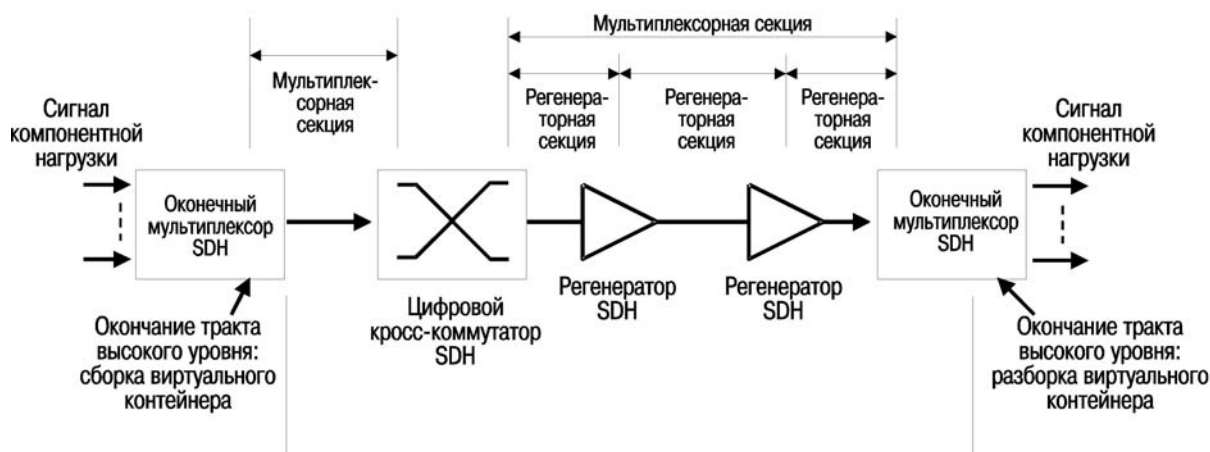


Рис. А-2.3. Логические сегменты сети SDH

Каждый из сегментов обеспечивает вспомогательные и обслуживающие сигналы, относящиеся к передаче сигнала SDH через этот сегмент.

## А-2.4. Структура кадра STM-1

Кадр STM-1 сети SDH принят в качестве базового уровня транспортных возможностей SDH. Он включает заголовок секции (SOH) и виртуальный контейнер (VC-4).

Индивидуальные сигналы компонентной нагрузки собираются внутри VC-4, чтобы без изменений передаваться по сети SDH.

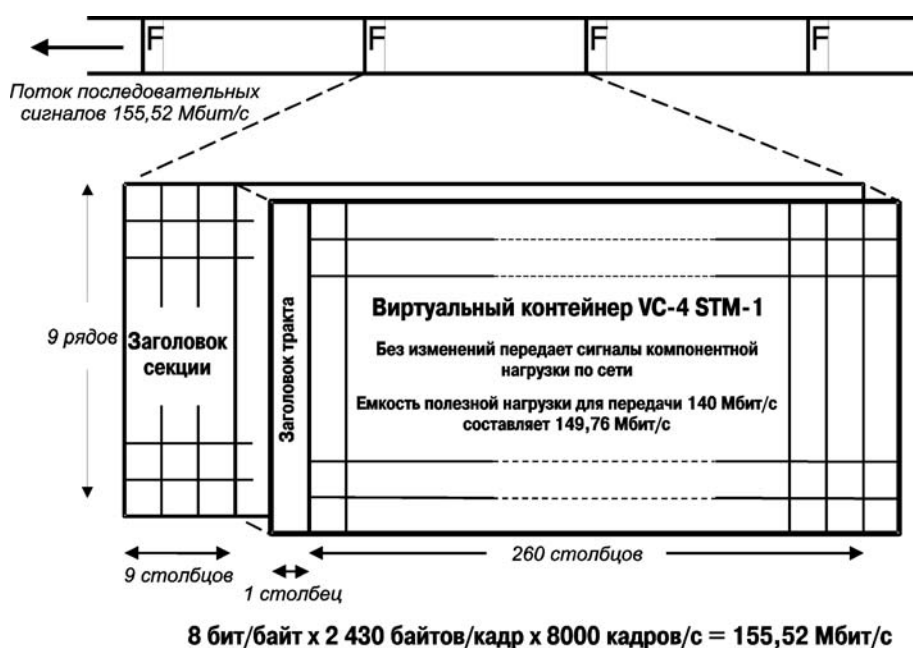


Рис. А-2.4. Структура STM-1 и VC-4

Виртуальный контейнер внутри кадра STM-1 передает трактовый заголовок (РОН). В случае VC-4, РОН займет все 9 байтов (рядов) первого столбца. Он обеспечивает функциональность, необходимую для поддержки и обслуживания транспортировки виртуального контейнера между узлами трактовых окончаний, в которых собирается и разбирается VC.

Область секционного заголовка (SOH) кадра STM содержит как заголовок мультиплексорной секции (MSOH-занимающий ряды 5-9) и заголовок регенераторной секции (RSOH -занимающий ряды 1-3) Они обеспечивают функциональность, требуемую для поддержки и обслуживания эффективной транспортировки виртуальных контейнеров между соседними узлами сети SDH.

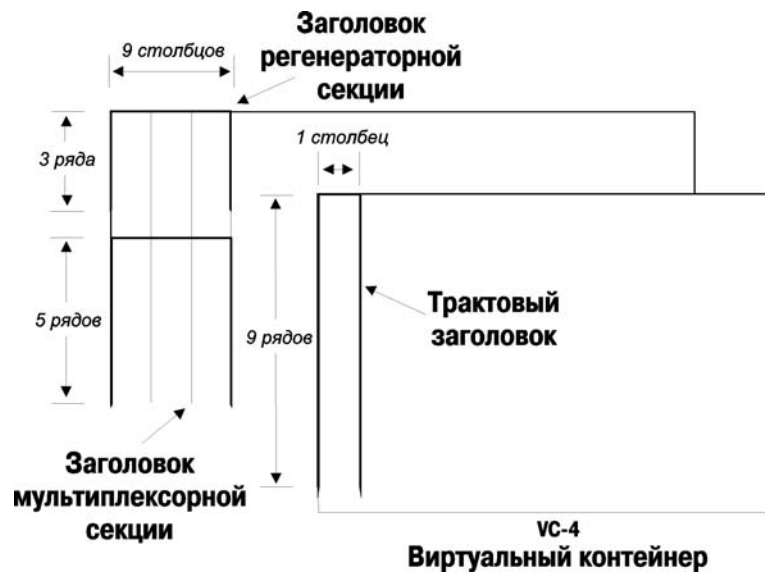


Рис. А-2.5. Структура заголовков STM-1

Виртуальный контейнер VC-4 синхронного транспортного модуля STM-1 состоит из полезной нагрузки (контейнера) и заголовка тракта высокого уровня.

- **Контейнер**

Контейнер C-4 каждого виртуального контейнера VC-4 обеспечивает транспортировку определенных компонентных сигналов. Он содержит 2340 байтов, представленных в виде двумерной структуры, содержащей 260 столбцов на 9 рядов. Эти байты обеспечивают транспортировку емкости 149,76 Мбит/с с частотой повторения кадров 8000 Гц. Эта емкость была специально разработана для удобства транспортировки компонентных потоков 140 Мбит/с.

- **Заголовок тракта высокого уровня**

Обеспечивает такие возможности, как наблюдение за аварийными сигналами и рабочими параметрами, необходимыми для поддержки и обслуживания сквозной (от начала до конца) транспортировки VC-4 между трактовыми окончаниями высокого уровня. Трактовые окончания - это место сборки или разборки виртуальных контейнеров.

## А-2.5. Указатели

Эффективное мультиплексирование и кросс-коммутация сигналов в синхронных сетях поддерживается возможностью VC-4 “плавать” внутри транспортного кадра (емкости полезной нагрузки), что обеспечивается кадрами STM-1. Это означает, что VC-4 может размещаться в любом месте емкости полезной нагрузки: начинаться в одном кадре и заканчиваться в следующем.

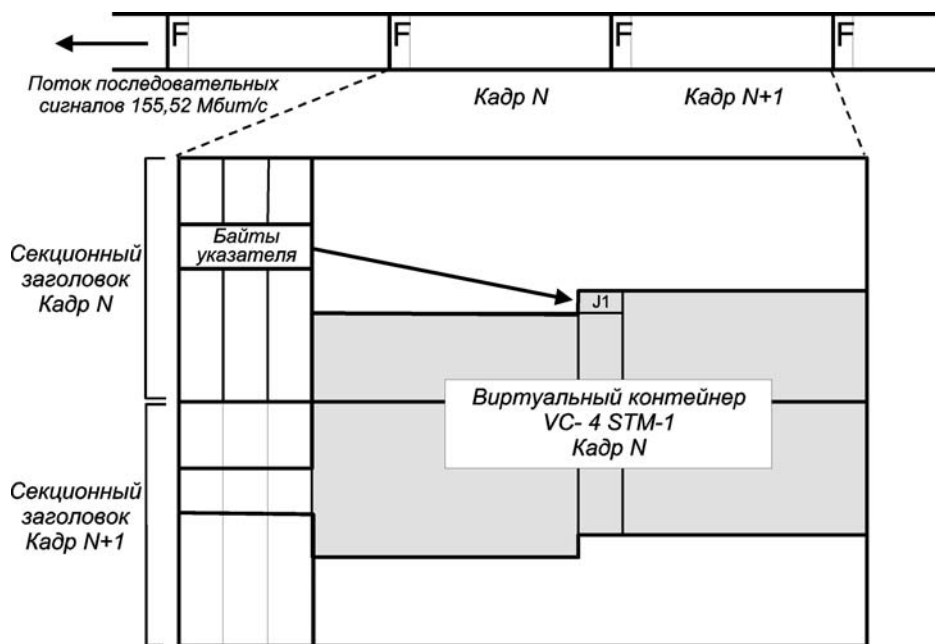


Рис.А-2.6. Указатели: связь между секционным заголовком и VC

Значение байтов указателя в секционном заголовке, присваиваемое при сборке VC-4 в кадре транспортного модуля STM-1, индицирует положение первого байта (байт J1) виртуального контейнера. В случае необходимости между VC-4 и транспортным кадром выполняется выравнивание (подстройка) фазовых соотношений.

## А.2.6 Блоки компонентной нагрузки (TUs)

Виртуальный контейнер VC-4 транспортного модуля STM-1 обеспечивает транспортировку компонентной нагрузки 140 Мбит/с. Кадр блока компонентной нагрузки (TU) обеспечивает транспортировку и поддерживает коммутацию низкоскоростных компонентных сигналов.

TU содержит все атрибуты кадра SDH, но перемещается внутри структуры стандартного кадра STM-1 SDH. Внутри контейнера C-4, принадлежащего VC-4, можно собрать фиксированное число компонентных блоков (TU), тем самым упрощая процедуру мультиплексирования TU.

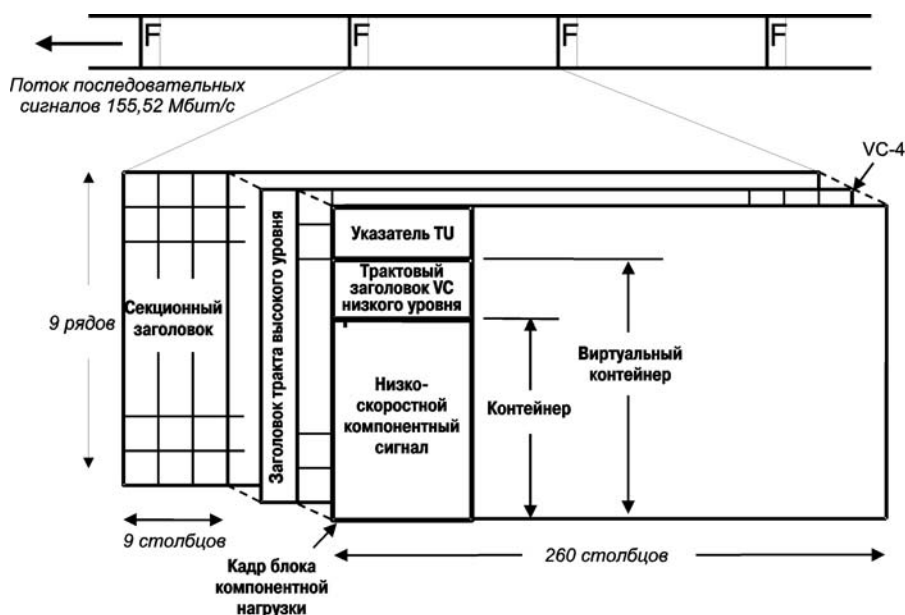


Рис. А-2.7. Структура кадра блока компонентной нагрузки (ТУ)

#### А-2.6.1. Структура кадра блока компонентной нагрузки

На рис. 2.7. показана структура кадра ТУ внутри одного ВС-4. В действительности, структура кадра ТУ распределяется в четырех последовательных кадрах ВС-4. Поэтому более точно рассматривать эту структуру как структуру мультикадра ТУ. Фаза мультикадра индицируется одним из байтов трактового заголовка ВС-4 (байт Н4).

Кадр блока компонентной нагрузки ТУ создается путем:

- размещения низкоскоростного компонентного сигнала в *контейнере ТУ*
- введения трактового *заголовка низкого уровня* для создания виртуального контейнера ТУ (VC-11, VC-12, VC-2 или VC-3 в зависимости от типа ТУ, см. примечание ниже)
- связывания этого ВС с кадром ТУ при помощи указателя ТУ, являющегося единственным элементом секционного заголовка ТУ
- затем мультиплексированием кадра ТУ в фиксированное место внутри ВС-4.

Особенно важным является *блок компонентной нагрузки ТУ-12*, предназначенный для обслуживания *компонентного сигнала 2 Мбит/с*, наиболее распространенного сигнала в сетях, основанных на потоках Е1.

Каждый кадр ТУ12 содержит 36 байтов, структурированных в виде матрицы, содержащей 4 столбца по 9 рядов и точно размещенных в 9 рядах кадра ВС-4. При скорости передачи кадров 8000 Гц эти байты обеспечивают транспортировку 2,304 Мбит/с и способны размещать стандартный сигнал 2,048 Мбит/с.

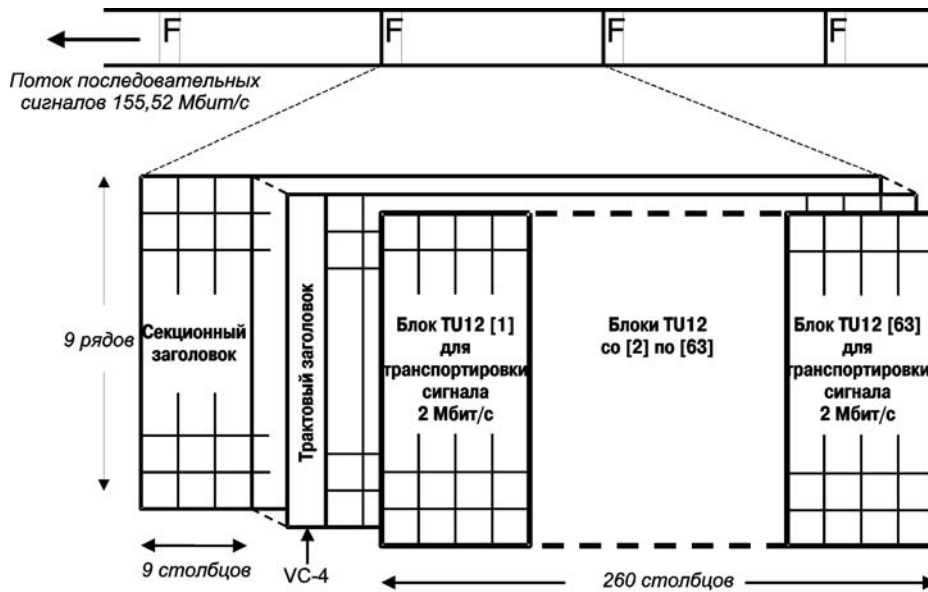


Рис. А-2.8. Блок компонентной нагрузки (TU) внутри кадра VC-4 STM-1

260 столбцов емкости полезной нагрузки (контейнер C4) виртуального контейнера VC-4 синхронного транспортного модуля STM-1 могут содержать до 63 мультиплексированных потоков TU12. При этом 8 столбцов в контейнере C-4 остаются свободными. Эти свободные столбцы возникают в результате промежуточных ступеней процесса мультиплексирования из “TU-12 в VC-4” и заполняются фиксированными байтами стаффинга.



Заголовок уровня трактов обеспечивает:

- сообщение для проверки непрерывности тракта (индикатор трассировки маршрута)
- проверку четности (предшествующего VC-4)
- подробную информацию о структуре текущего VC-4
- канал связи пользователя
- индикацию мультикадра (сверхцикла) для блоков компонентной нагрузки (TU)
- информацию об аварийных состояниях и параметрах сети.

**J1 Сообщение о трассировке тракта высокого уровня**

Обеспечивает тест непрерывности между источником тракта передачи и любым оконечным приемником вдоль этого тракта. Для каждого тракта сети SDH устанавливается уникальное сообщение. Сообщение представляет собой повторяющуюся строку фиксированной длины ( 64 байта ), передаваемую по одному байту в каждом кадре VC-4.

**B3 Проверка четности**

Обеспечивает функцию наблюдения за ошибками тракта. 8-битная проверка четности чередующихся битов (BIP-8) вычисляется для всех битов предыдущего виртуального контейнера VC-4. Вычисленное значение помещается в байт B3 трактового заголовка перед скремблированием.

**C2 Метка сигналов виртуального контейнера**

Индицирует структуру соответствующего виртуального контейнера при помощи численного значения метки, присвоенного ей из списка, содержащего 256 возможных численных значений. Например, код “все нули” означает “VC-4 не оборудован” (не содержит компонентных сигналов); код “00000001” означает “VC-4 оборудован”. Определения меток для других структур VC разрабатываются ITU-T.

**G1 Состояние тракта**

Посылает передатчику тракта информацию текущего контроля о состоянии и рабочих параметрах от принимающего оборудования окончания тракта. Дает возможность контролировать состояние и рабочие параметры полного дуплексного тракта на любом конце или в любой промежуточной точке тракта.

**F2 Канал пользователя тракта**

Предназначен для связи оператора частной сети между оконечным оборудованием тракта.

**H4 Индикация мультикадра (сверхцикла)**

Определяет для структурированных полезных нагрузок TU, какой из кадров мультикадра TU присутствует в текущем VC-4. Например, для мультикадра TU заголовок TU размещается в четырех кадрах TU.

**F3 Канал пользователя**

Для организации каналов связи оператора сети между трактовыми окончаниями.



**K3 Автоматическое защитное переключение**

Автоматическое защитное переключение трактов высокого уровня размещается только в битах 1-4 (биты 5-8 - резервные).

**N1 Мониторинг тандемного соединения**

Дополнения С и D к документу G.707 ITU-T описывают два возможных варианта. Оба предназначены для счета входящих ошибок при тандемном соединении. В дополнении С указываются, как биты 73-76 обеспечивают сквозной канал передачи данных. В дополнении D указывается, как эти биты обеспечивают индикацию дефектов тандемного соединения на удаленном терминале (ТС-RDI), индикацию выходных дефектов (ODI) и 78-байтового мультикадра, содержащего идентификатор точки доступа к тандемному соединению (ТС-API).

**Аварийные сигналы**

Трактовый заголовок обеспечивает также информацию об аварийных состояниях и рабочих параметрах сети без перерыва связи (см. Приложение 4, “Аварийные сигналы и отклики сети SDH”).

**A-3.2. Заголовок мультиплексорной секции**

Участок мультиплексорной секции включает среду передачи вместе с подключенным оборудованием (включая регенераторы). Такая среда передачи обеспечивает транспортировку информации между двумя последовательными сетевыми узлами (например, мультиплексорами SDH, кросс коммутаторами SDH). Один сетевой узел является источником заголовка мультиплексорной секции (MSOH), а другой сетевой узел оканчивает этот заголовок.

В сетях SDH мультиплексорная секция имеет особое значение. Это уровень, на котором сеть SDH обеспечивает защиту при отказах оборудования или при ухудшении качества рабочих параметров. Защита обеспечивает сохранение функциональных возможностей SDH от точки ввода MSOH в цифровой поток до точки его окончания.

В случае обнаружения отказа (или ухудшения качества связи) сеть SDH переключит соответствующие VC на резервный канал передачи мультиплексорной секции. Эта операция называется защитой мультиплексорной секции (MSP). Этот резервный канал, который по-другому называют также защитным каналом, содержит среду передачи, регенераторы (если это необходимо) и оконечное оборудование мультиплексорной секции.

Заголовок мультиплексорной секции обеспечивает:

- указатели (см. ниже).
- проверку четности (предыдущего кадра STM-1)
- автоматическое защитное переключение
- служебный канал передачи данных
- статус синхронизации
- индикацию ошибок в направлении основного потока
- служебный канал (голосовой канал связи)
- информацию об аварийных состояниях и рабочих параметрах.

**B2 Проверка четности BIP-24**

Обеспечивает функцию мониторинга (текущего контроля) ошибок мультиплексорной секции. 24-битовый код проверки четности чередующихся битов (BIP-24) вычисляется для всех битов предыдущего кадра STM-1, за исключением битов заголовка регенераторной секции. Каждый STM-1 в кадровой структуре STM-N проходит свою проверку на четность.

**K1, K2 Автоматическое защитное переключение**

Управляет защитным переключением мультиплексорной секции (MSP), очень важной сетевой функцией SDH. Биты 6 и 8 содержат информацию о состоянии MS-RDI и MS-AIS (индикации ошибки на удаленном конце и сигнала аварийного состояния мультиплексорной секции).

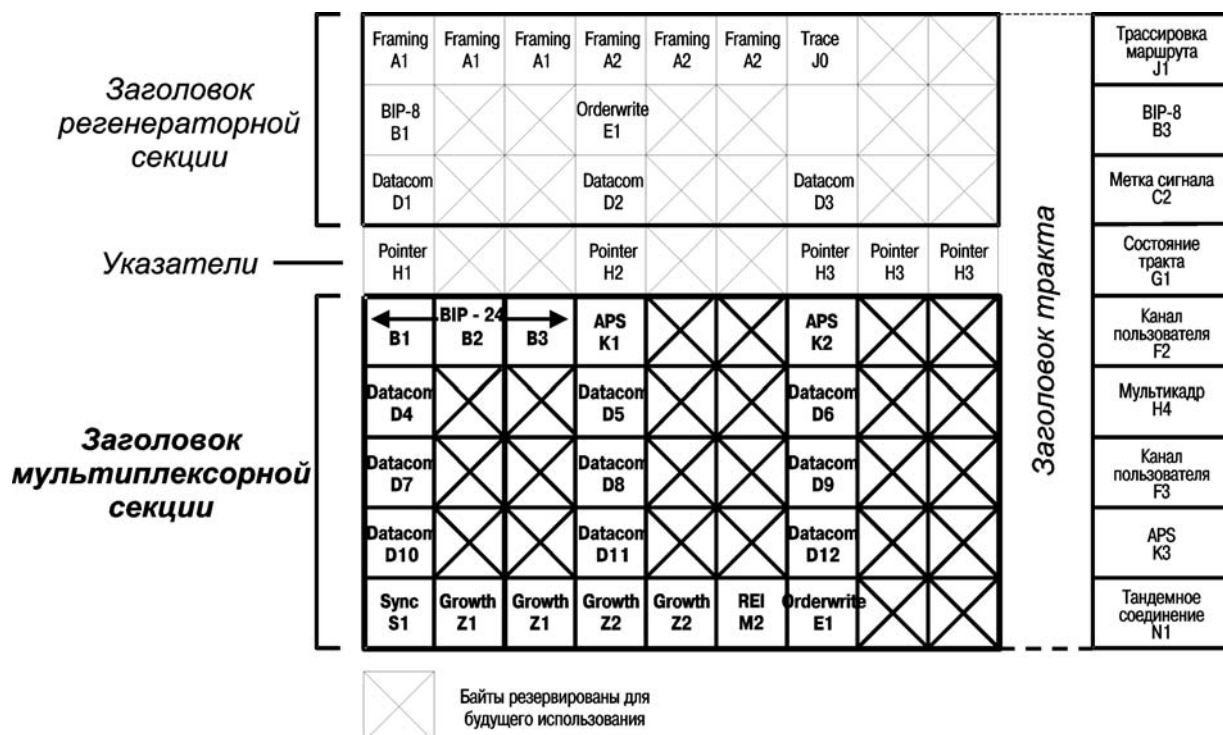


Рис. А-3.2. Байты секционных заголовков STM-1 (выделены байты заголовка мультиплексорной секции)

**D4–D12 Служебный канал передачи данных**

Служебный канал (DCC) обеспечивает передачу данных со скоростью 576 кбит/с и позволяет осуществить обмен служебной информацией на уровне сообщений по управлению сетью и ее техническому обслуживанию между окончательным оборудованием мультиплексорных секций. Эти байты определены только для первого номера STM-1 в потоке STM-N.

**S1 Сообщения о состоянии синхронизации**

Биты 5-8 определяют, какой из четырех уровней синхронизации используется (см. Приложение 6, “Синхронизация сетей SDH”).

**M1 Индикация ошибок на удаленном терминале (REI)**

Эта индикация ошибок на удаленном конце мультиплексорной секции (MS-REI) сообщает о количестве ошибок B2, обнаруженных оборудованием потока данных прямого направления.

**Z1, Z2 Резервные байты**

Байты Z1 и Z2 зарезервированы для новых, еще не определенных функций.

**E2 Служебный канал**

Служебный канал обеспечивает оперативную голосовую связь между оконечным оборудованием мультиплексорных секций. Определен только для первого номера STM-1 в потоке STM-N.

**H1–H3 Указатели административных блоков (AU)**

Эти байты указателя связаны и обрабатываются вместе с заголовком мультиплексорной секции (MSOH), но не являются его частью. Они обеспечивают установление связи между секционным заголовком и соответствующим виртуальным контейнером (контейнерами). H1 и H2 содержат важную информацию, показывающую, где начинается VC-n (байт J1 трактового заголовка высокого уровня). Три байта H3 являются байтами действия указателя, используемыми при передаче “живой” информации из VC-4 во время кадра STM, в котором происходит отрицательное смещение указателя. Для всех модулей STM-1 в кадре STM-N формируются отдельные указатели административных блоков (AU). “встроенного”

**Аварийные сигналы**

Информация об аварийном состоянии является частью MSOH (см. Приложение 4, “Аварийные сигналы и отклики сети SDH”).

**А-3.3. Заголовок регенераторной секции**

Участок регенераторной секции включает среду передачи и соответствующее оборудование либо между сетевым элементом и регенератором, либо между двумя регенераторами. Оборудование регенераторной секции включает оптические интерфейсы и оборудование обработки сигналов SDH, которое либо является источником секционного заголовка, либо оканчивает заголовок регенераторной секции. Участки регенераторных секций не подлежат индивидуальной защите (резервированию).

Заголовок регенераторной секции обеспечивает:

- последовательность кадровой синхронизации
- сообщение (идентификатор трассировки маршрута) для проверок непрерывности тракта
- проверку четности (предыдущего кадра STM-N)
- голосовой канал связи пользователя
- служебный канал передачи данных (DCC).

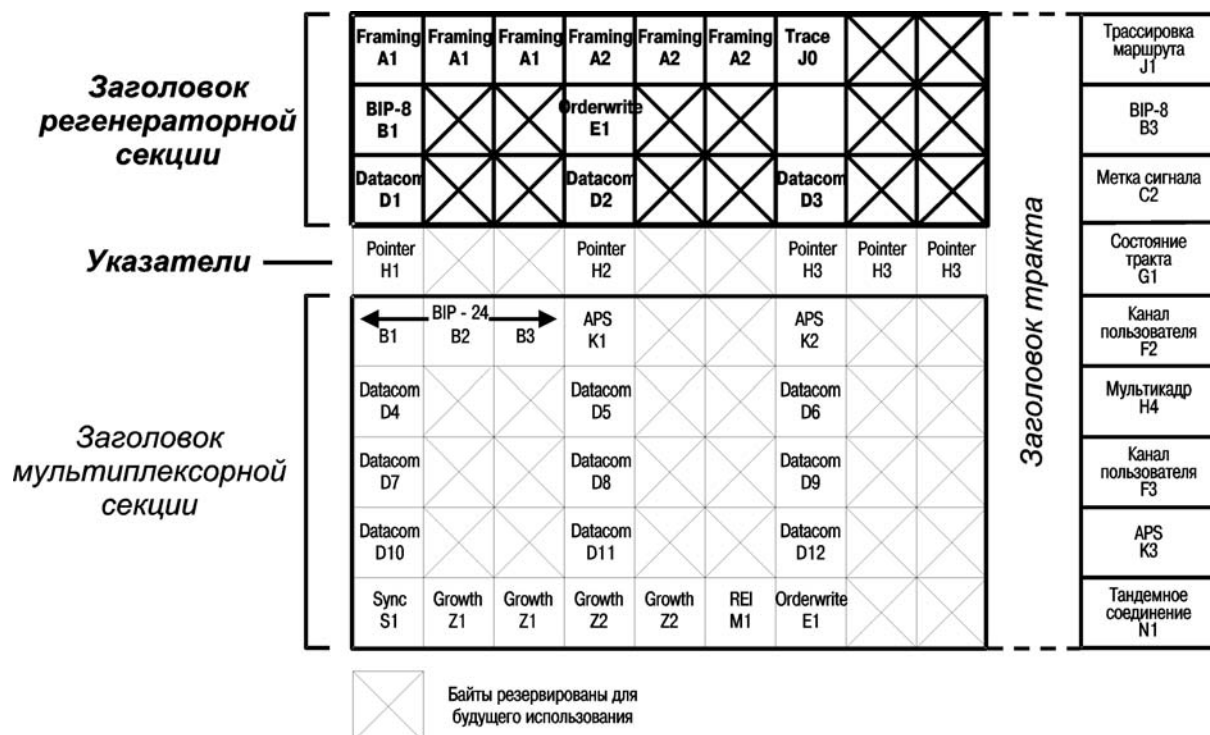


Рис. А-3.3. Байты секционных заголовков STM-1 (выделены байты заголовка регенераторной секции)

**A1, A2 Кадровая синхронизация**

Последовательность (11110110 00101000). Эти байты формируются во всех потоках STM-1 внутри потока STM-N. Каждый STM-1 идентифицируется в STM-N своим двоичным номером, соответствующим порядку его появления в байт чередующемся кадре STM-N.

**J0 Сообщение идентификатора трассировки**

Обеспечивает тестирование непрерывности между передающим и принимающим оборудованием каждой регенераторной секции. Кадр состоит из 16 байтов (включая CRC7).

**B1 Проверка четности**

Проверка четности чередующимися битами при разрядности поля 8-бит (BIP-8) обеспечивает наблюдение за ошибками рабочих параметров на уровне регенераторной секции. Вычисляется для всех битов предшествующего кадра STM-N (после скремблирования). Эта проверка на четность вычисляется для всех байтов и помещается в байт B1 перед операцией скремблирования.

**E1 Местный служебный канал связи**

Используется для голосовой связи между местами расположения регенераторов, концентраторов и удаленных терминалов. Определен только для первого номера STM-1 сигнала STM-N.

**FI Канал пользователя**

Используется в качестве дополнительного канала передачи данных в частных сетях. Оканчивается в каждом STE или проходит транзитом от одного STE к другому. Определен только для первого номера STM-1 кадра STM-N.

**DI–D3 Служебный канал передачи данных**

Служебный канал обеспечивает передачу данных со скоростью 192 Кбит/с для обмена служебной информацией на уровне сообщений по управлению сетью и ее техническому обслуживанию между окончательным секционном оборудованием, таким как регенераторы и удаленные терминалы.

**А-3.4. Заголовки трактов низкого уровня**

Тракт низкого уровня сети SDH содержит среду передачи и соответствующее оборудование либо между сетевым элементом и регенератором, либо между двумя регенераторами. Оборудование содержит оптический интерфейс и оборудование обработки сигналов SDH, которое является либо источником заголовка регенераторной секции, либо местом его окончания. Участки регенераторных секций индивидуально не защищаются.

Тракт низкого уровня обеспечивает:

- проверку четности предыдущего VC-4
- сообщение (идентификатор трассировки маршрута) для проверки непрерывности тракта
- текущий контроль тандемных соединений
- автоматическое защитное (резервное) переключение.

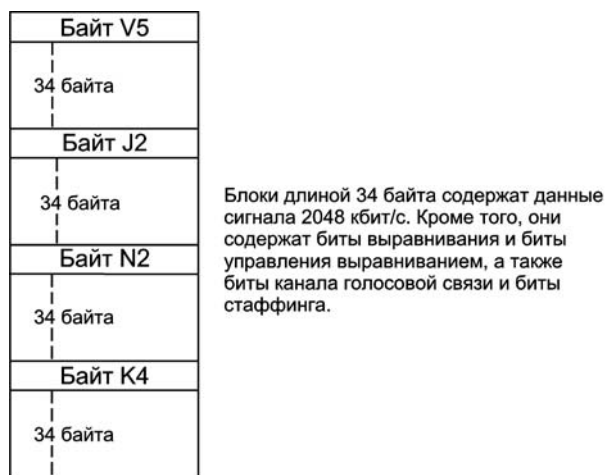


Рис. А-3.4. Структура заголовка VC-12 (асинхронное размещение)

**V5 Проверка ошибок четности ВР-2**

Обеспечивает проверку ошибок четности ВР-2 трактов низкого уровня, информации о метке сигнала и состоянии тракта.

**J2 Сообщение идентификатора трассировки**

Трассировка тракта низкого уровня поддерживает тестирование непрерывности между передающим и приемным оборудованием каждой регенераторной секции. Кадр содержит 16 байтов (включая CRC7).

**N2 Текущий контроль тандемных соединений**

Содержит число входящих ошибок (IEC), индикацию ошибок тандемного соединения низкого уровня на удаленном терминале (ТС-REI), индикацию выходящих ошибок (OEI) и 78-байтовый мультикадр, содержащий идентификатор точки доступа к тандемному соединению (ТС-API).

**K4 Автоматическое защитное (резервное) переключение**

Автоматическое защитное (резервное) переключение (APS) трактов низкого уровня обеспечивается битами 1-4. Биты 5-8 обеспечивают усовершенствованную индикацию удаленных дефектов (RDI).

## Приложение 4

### Аварийные сигналы и отклики сети SDH

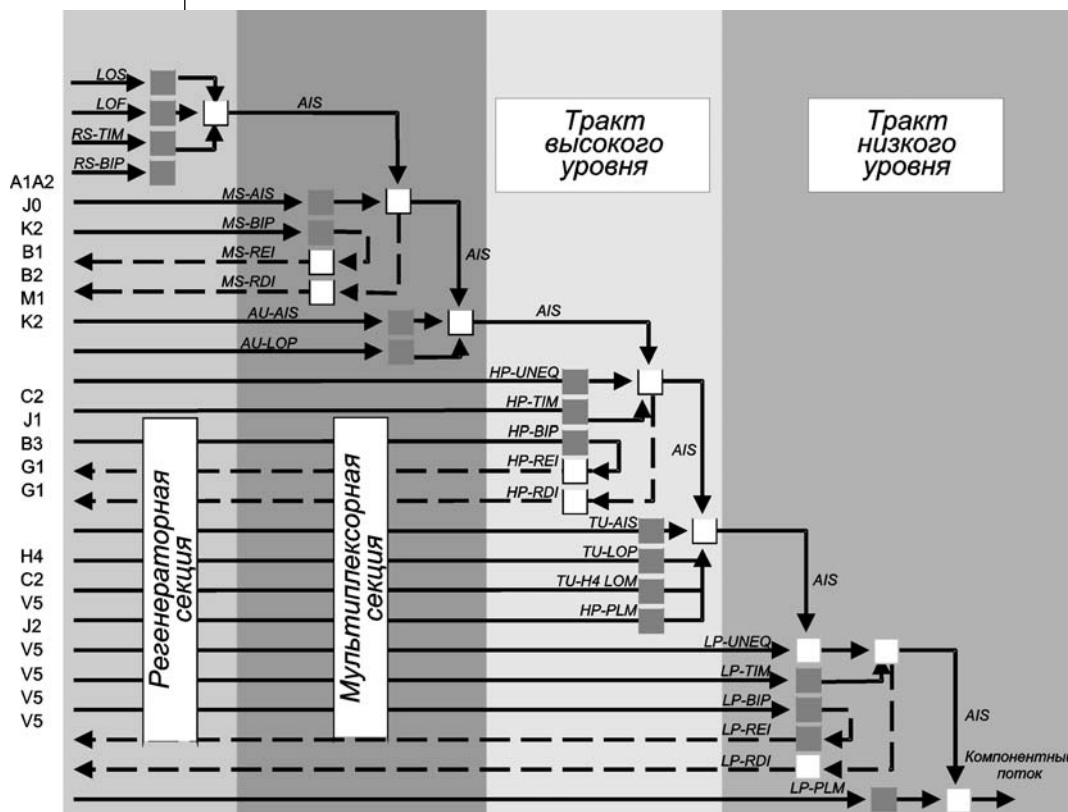


Рис. А-4.1. Обслуживание без перерыва связи и аварийные сигналы

Широкий набор сигналов аварийного состояния и проверок на четность, встроенных в байты заголовков сигналов SDH, поддерживает эффективное тестирование в рабочем режиме (без перерыва связи).

Главные аварийные состояния, такие как потеря сигнала (LOS), потеря кадра (LOF) и потеря указателя (LOP), вызывают сигналы индикации аварийного состояния (AIS), передаваемые в прямом направлении. В зависимости от уровня иерархии применяемого оборудования и обслуживания вырабатываются различные аварийные сигналы.

В ответ на различные сигналы AIS и при обнаружении основных состояний аварии приемника, сетевое оборудование посылает в обратном направлении другие аварийные сигналы, чтобы предупредить о неисправностях в потоке прямого направления. В окончании мультиплексорной секции оборудование, обнаруживающее аварийные состояния AIS, LOS или LOF мультиплексорной секции, посылает в заголовке этой секции сигнал индикации удаленных дефектов (RDI) в обратном направлении.

Оконечное оборудование трактов высокого уровня (HO), обнаруживающее AIS или LOP, посылает сигнал индикации аварии удаленного терминала (RAI) для трактов высокого уровня обратного направления. Точно также, оконечное оборудование трактов низкого уровня (LO) посылает аварийный сигнал удаленного терминала (RAI) для трактов низкого уровня обратного направления после обнаружения AIS или LOP тракта низкого уровня.

Мониторинг (текущий контроль) рабочих параметров на каждом уровне иерархии обслуживания основан на проверках четности чередующихся битов (BIP), вычисляемых кадр за кадром. Эти проверки четности BIP помещаются в заголовок соответствующей регенераторной секции, мультиплексорной секции и участка обслуживаемого тракта. Кроме того, оконечное оборудование участков трактов высокого и низкого уровня вырабатывают сигналы индикации ошибки удаленного терминала (REI) (ранее названные сигналами блоковых ошибок на удаленном конце (FEBE)). Эти сигналы основаны на ошибках, обнаруженных при проверке четности чередующихся битов (BIPs) трактов высокого и низкого уровня соответственно. Сигналы REI посылаются в обратном направлении к источнику тракта.

#### A-4.1. Определения аварийных сигналов/событий SDH

##### Регенераторная секция

<b>LOS</b>	Потеря сигнала
<b>OOF</b>	Выход за пределы кадра
<b>LOF</b>	Потеря кадра
<b>B1</b>	Ошибки BIP регенераторной секции
<b>RS-TIM</b>	Несовпадение идентификатора трассировки регенераторной секции

##### Мультиплексорная секция

<b>B2</b>	Ошибка BIP мультиплексорной секции
<b>MS-AIS</b>	AIS мультиплексорной секции
<b>MS-RDI</b>	Индикация дефекта на удаленном терминале мультиплексорной секции
<b>MS-REI</b>	Индикация ошибки на удаленном терминале мультиплексорной секции

##### Тракты высокого уровня (HP - High-order Path)

<b>AU-LOP</b>	Потеря указателя административного блока (AU)
<b>AU-NDF</b>	Указатель флага новых данных AU

<b>AU-AIS</b>	Событие выравнивания указателя AU
<b>B3</b>	Ошибки BIP тракта высокого уровня
<b>HP-UNEQ</b>	HP не оборудован
<b>HP-RDI</b>	Индикация дефекта на удаленном терминале HP
<b>HP-REI</b>	Индикация ошибки на удаленном терминале HP
<b>HP-TIM</b>	Несовпадение идентификатора трассы HP
<b>HP-PLM</b>	Несовпадение метки полезной нагрузки HP

##### Тракты низкого уровня (LO - Low-order Path)

<b>TU-LOP</b>	Потеря указателя блока компонентной нагрузки (TU)
<b>TU-NDF</b>	Флаг новых данных указателя TU
<b>TU-AIS</b>	Сигнал индикации аварийного состояния TU
<b>TU-LOM</b>	Потеря мультикадра TU
<b>BIP-2/B3</b>	Ошибки BIP тракта низкого уровня
<b>LP-UNEQ</b>	LP не оборудован
<b>LP-RDI</b>	Индикация дефекта на удаленном терминале LP
<b>LP-REI</b>	Индикация ошибки на удаленном терминале LP
<b>LP-RFI</b>	Индикация отказа на удаленном терминале LP
<b>LP-TIM</b>	Несовпадение идентификатора трассировки LP
<b>LP-PLM</b>	Несовпадение метки полезной нагрузки LP



## Приложение 5

### Джиттер в сетях SDH

#### А-5.1. Источники джиттера

Первичными источниками дрожания фазы (джиттера) являются сами сетевые элементы: мультиплексоры (ADM) и регенераторы. Ниже приведены типы и причины возникновения джиттера.

- **Джиттер размещения/извлечения**  
Вызывается подстройкой фазы, связанной с синхроимпульсами записи/чтения эластичного буфера памяти, и вставкой/извлечением битов (стаффинг/дестаффинг), используемыми для компенсации сдвигов частоты или изменений сигналов размещаемой компонентной нагрузки.
- **Джиттер указателя**  
Вызывается значительным смещением указателя в результате влияния шумов синхронизации, сдвига частоты и дрейфа фазы (вандера), вызванных нестабильностью эталонных источников синхронизации. (Указатели допускают управляемый сдвиг и изменение тактовой частоты между кадрами SDH и виртуальными контейнерами. Эталонные генераторы в синхронных сетях необходимо тщательно контролировать).
- **Систематический джиттер**  
Вызывается погрешностью схем восстановления синхронизации, конечной шириной импульса и сдвигами порога тактовой частоты.

Тест джиттера	Проверяемый сетевой элемент	Проверка работоспособности образцов и полевые испытания	Производство	Инсталляция/ввод в эксплуатацию	Эксплуатация/обслуживание
Допуск на джиттер (МТІЈ)	ADM, DXС, вход регенератора	Необходимо	Необходимо		Рекомендуется
Передача джиттера (Усиление джиттера)	Регенераторы	Необходимо	Необходимо	Рекомендуется	
Выходной джиттер (на линейной скорости)	Тестирование сети			Необходимо	Рекомендуется
Джиттер компонентной нагрузки	Тестирование сети			Необходимо	Рекомендуется
Джиттер указателя компонентной нагрузки	ADM, DXС, выходы компонентной нагрузки	Необходимо	Необходимо	Рекомендуется	
Джиттер извлечения компонентной нагрузки	ADM, DXС, выходы компонентной нагрузки	Необходимо	Необходимо	Рекомендуется	

Табл. А-5.1. Типовые требования к тестированию джиттера в течение жизненного цикла сетевого оборудования

- **Вандер (дрейф фазы)**

Вызывается нестабильностью частоты эталонного генератора и шумами; также зависит от температуры оптических волокон и дрейфа длины волны лазера в регенераторах. (Вандер - изменение фазы, происходящее с частотой менее 10 Гц)

Рекомендация ИТУ-Т	Описание	Основные элементы джиттера
G.823	<b>Цифровые сети</b> Контроль джиттера и вандера в цифровых сетях с иерархией 2048 кбит/с	Техническое обоснование джиттера на выходе PDH Предельные допуски/маска джиттера PDH
G.958	<b>Секции и системы цифровых линий</b> Системы цифровых линий связи на основе SDH и волоконно-оптических кабелей	Среднеквадратическое значение джиттера на выходе SDH Предельное усиление/маска джиттера SDH
G.825	<b>Цифровые сети</b> Контроль джиттера и вандера в цифровых сетях на основе синхронной цифровой иерархии	Предельный джиттер сети SDH Допуски джиттера/вандера сетевого оборудования SDH
G.783	<b>Общие аспекты систем цифровой передачи; оконечное оборудование</b> Характеристики функциональных блоков оборудования SDH	Джиттер компонентных блоков, вызываемый комбинацией процессов извлечения/обработки указателя, тестовыми последовательностями, среднеквадратическим выходным джиттером SDH
O.171	<b>Технические требования на измерительное оборудование</b> Оборудование для измерения джиттера синхронизации в цифровых системах	Спецификации джиттера/вандера

Табл. А-5.2. Основные рекомендации ИТУ-Т по джиттеру

## А-5.2. Измерения джиттера

Измерения джиттера всегда проводятся на сигнале синхронизации. Он может быть получен из потока данных или непосредственно из рабочего оборудования.

В любом случае необходимо, чтобы полоса пропускания схемы восстановления синхронизации тестера была достаточно широкой, чтобы не отфильтровать джиттер из проверяемого сигнала.

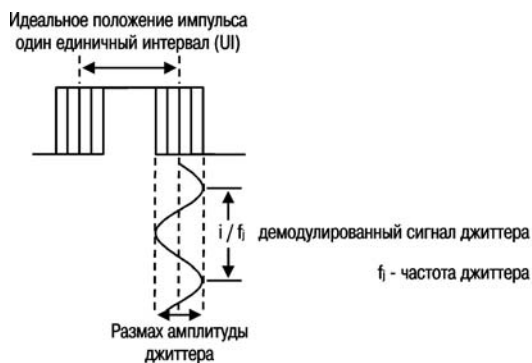


Рис. А-5.1. Измерение джиттера

Восстановленный синхросигнал с джиттером (восстановленный из данных, содержащих джиттер) обычно поступает на фазовый компаратор. Он сравнивает этот сигнал джиттера со стабильным эталонным синхросигналом. Как показано на рис. А5-1, эталонная частота получается от генератора, управляемого напряжением (ГУН), который в свою очередь управляется отфильтрованной частью демодулированного сигнала джиттера. На выходе получается огибающая демодулированного джиттера, на которой и проводится измерение джиттера.

Анализ частотного спектра джиттера этого демодулированного сигнала является способом идентификации основных источников джиттера при разработке действующего оборудования. Частота джиттера редко бывает просто синусоидальной, но для целей тестирования часто используется частота синусоидального джиттера.

При измерениях амплитуды джиттера пользуются пиковым детектором для регистрации максимальной амплитуды джиттера за определенный период времени. Огибающая джиттера редко бывает симметричной, поэтому обычно регистрируется значение размаха и максимальное положительное и отрицательное значение джиттера.



**Рис. А-5.2. Соотношение между частотой джиттера, амплитудой и единичным интервалом (UI)**

Общепринятой единицей измерения амплитуды джиттера является единичный интервал (UI). Номинально один UI соответствует времени, необходимому для передачи 1 бита информации. Использование единичных интервалов имеет преимущество перед использованием единиц времени, поскольку такой интервал не зависит от скорости передачи. Это значительно облегчает сравнение значений джиттера различных уровней цифровой иерархии.

Тестирование параметров джиттера сетевых элементов PDH, SDH, ATM а также самих телекоммуникационных сетей является необходимым условием обеспечения бесперебойной работы. Основные категории тестов джиттера:

- тестирование допустимого джиттера на линейных входах SDH и компонентных входах PDH
- передача (усиление) джиттера регенераторов SDH
- выходной джиттер линейных интерфейсов SDH
- рабочие параметры джиттера компонентной нагрузки на выходах этой нагрузки из сетевых элементов.

Информация о тестах, необходимых для различных сетевых элементов при разработке, производстве, инсталляции и эксплуатации приведена в табл. А-5.1.

### **А-5.3. Джиттер выравнивания указателя SDH (основные сведения)**

Джиттер, возникающий в результате выравнивания указателя, полностью отличается по характеру от ранее известного джиттера сетей PDH:

- по природе является переходным процессом
- относительно высокий по амплитуде (см. рекомендацию G.783 ITU-T в табл. 2.7)
- большая часть энергии сосредоточена в низкочастотных составляющих.

Прежние разработки основных тестеров джиттера PDH не были предназначены для измерения джиттера с такими характеристиками. Следовательно, такие тестеры не обеспечивают *надежных результатов* при оценке джиттера выравнивания указателя нагрузки PDH в сетях SDH

В настоящее время существует большой выбор тестеров SDH, позволяющих измерять джиттер PDH. Однако из-за методики составления для них спецификаций (с точностными характеристиками, основанными на измерении синусоидального джиттера) крайне сложно определить, обеспечивают ли они *точные и надежные* измерения джиттера выравнивания указателя.

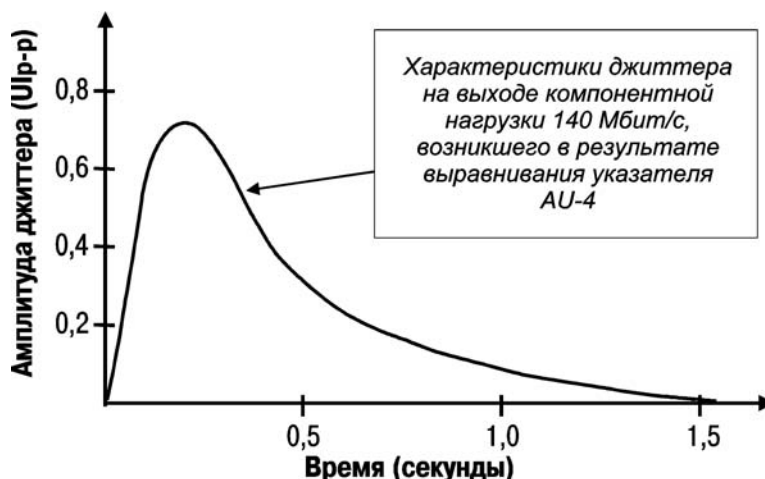


Рис. А-5.3. Типичный джиттер PDH, возникающий в результате выравнивания указателя

Одним из тестеров, специально разработанных для точных измерений джиттера выравнивания указателя является анализатор HP 37717 PDH/SDH/ATM производства компании Хьюлетт-Паккард.

Более подробную информацию по этой важной проблеме можно найти в брошюре Hewlett Packard Application Note 1258, "*Evaluating Tributary Jitter from SDH Network*". См. также специальную статью: "*SDH: Pointer Problems*", TELECOMMUNICATIONS (International Edition) August 1994.

#### А-5.4. Джиттер извлечения (основные сведения)

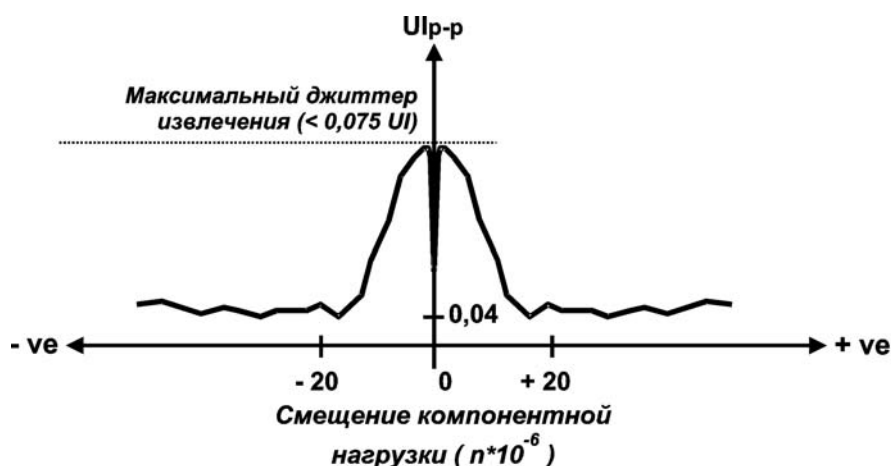


Рис. А-5.4. Типовые характеристики джиттера извлечения

Джиттер извлечения является менее серьезным искажением, чем джиттер выравнивания указателя. Он возникает в результате процесса выравнивания битов (стаффинга), используемого при размещении асинхронной полезной нагрузки (2/34/140 Мбит/с) в транспортном потоке SDH. Основные четыре характеристики джиттера извлечения:

- низкая амплитуда (см. рекомендацию G.783 ITU-T в табл. А-5.3)
- относительно высокая частота (и поэтому может быть подавлена десинхронизатором в сетевом элементе SDH)
- амплитуда джиттера изменяется по мере смещения частоты компонентной нагрузки PDH относительно VC-n (это связано с изменениями скорости размещения выравнивающих битов (стаффинга) с целью компенсации этих смещений); максимум джиттера извлечения возникает при малых смещениях относительно значения  $0 \cdot 10^{-6}$  (компонентной нагрузки PDH относительно VC-n).

Полезная нагрузка	Диапазон смещения ( $n \cdot 10^{-6}$ )	Частотный диапазон измерения	Максимальный размах джиттера (UI p-p)
2 Мбит/с	$\pm 50$	18 – 100 кГц *	0,075
34 Мбит/с	$\pm 20$	10 – 800 кГц *	0,075
140 Мбит/с	$\pm 15$	10 – 3 500 кГц *	0,075

\* Эквивалентно измерительному фильтру LP+HP2

Таблица А-5.3. Джиттер извлечения (рекомендация G.783 ITU-T)

Рекомендация G.783 ITU-T определяет максимально допустимую величину джиттера извлечения менее  $0,075 U_{Ip-p}$ .

*Для получения точных и надежных результатов погрешности измерения джиттера и собственный внутренний джиттер тестера должны быть значительно меньше этого значения (по крайней мере в 3 раза).*

## Приложение 6

# Синхронизация сетей SDH

Существует два ключевых момента для прецизионной и надежной синхронизации сети SDH:

- стабильный первичный эталонный генератор (ПЭГ)
- точная маршрутизация информации о временных соотношениях от ПЭГ ко всем сетевым узлам.

Проверка правильности того, что ПЭГ обеспечивает сетевые элементы в цепи синхронизации прецизионной временной информацией, требует проведения 3 различных тестов:

- измерения линейной частоты для определения стабильности источника синхронизации сетевых элементов
- мониторинга активности указателей для раннего обнаружения нарушений целостности цепи синхронизации
- декодирования байта статуса синхронизации (байт S1) для обеспечения локализации обрыва цепи синхронизации.

### А-6.1. Измерения линейной частоты

Измерение линейной частоты сетевого элемента (NE) SDH показывает, насколько стабильным является источник его синхронизации. Большое смещение частоты от номинальной линейной частоты свидетельствует о потере сетевым элементом связи с ПЭГ. Декодирование байта статуса синхронизации (байт S1 в трактовом заголовке сигнала SDH) в точке ухода частоты приводит к большему пониманию причин ухода.

Измерение линейной частоты SDH требует подключения тестера к подходящей контрольной точке сети. Если такая точка отсутствует, необходимо использовать оптический разветвитель.

## А-6.2. Анализ указателя

Хотя простые проверки линейной частоты полезны при идентификации проблем синхронизации, не все эти проблемы можно обнаружить на линейной скорости. Например, при передаче потока STM-16 на номинальной линейной скорости нельзя получить какую-либо информацию о состоянии 16 компонентных потоков STM-1, несущих нагрузку в этом потоке высокого уровня.

Проверка активности указателя является единственным индикатором плохой синхронизации сигнала STM-1 в потоке STM-16. При нормальной работе сети можно ожидать случайных положительных и отрицательных выравниваний т.к. сетевые элементы компенсируют собственный сдвиг фазы и частоты. Однако, при избыточной активности указателя в компонентной нагрузке, импульсы джиттера передаются к месту назначения этого сигнала компонентной нагрузки и обычно приводят к ошибкам в полезной нагрузке. Используя тестер компании Хьюлетт-Паккард, можно проконтролировать активность указателя одновременно на всех сигналах компонентной нагрузки. При обнаружении проблем в компонентной нагрузке дальнейший поиск и устранение неисправностей могут быть выполнены на уровне компонентных потоков для локализации и устранения импульсов джиттера.

## А-6.3 Декодирование статуса синхронизации

Сетевая синхронизация является настолько важной проблемой, что ИТУ-Т определил специальный байт статуса синхронизации - байт S1 (Рекомендация G.707 ИТУ-Т) в заголовке мультимплексорной секции сигнала SDN. Байт используется для передачи информации о качестве сигналов синхронизации, передаваемых между сетевыми элементами (см. табл. А-6.1.). Кроме этого, декодируя посланный байт S1, сетевой элемент быстро идентифицирует источник синхронизации для этого сетевого элемента.

Если сетевой элемент синхронизируется непосредственно от ПЭГ, декодированное сообщение байта S1 "G.811" будут индцировать синхронизацию от ПЭГ в соответствии с Рекомендацией G.811 ИТУ-Т. Если сетевой элемент синхронизируется от ПЭГ косвенно, декодированное сообщение байта S1 "G.812" будет индцировать синхронизацию от вторичного источника в соответствии с рекомендацией G.812 ИТУ-Т.

При обрыве цепи синхронизации сообщение байта S1 будет "Quality Unknown" (Качество неизвестно) или "Do not use for synchronization" (Не использовать для синхронизации). По определению, это почти всегда означает, что технические специалисты должны выполнить тест поиска неисправности для определения точки нарушения распределения синхросигналов в сети, где произошла потеря синхронизации. Тестируя цепь распределения синхросигналов от конца к началу и считывая состояние байта S1, можно легко обнаружить точку обрыва цепи синхронизации и устранить неисправность.



Определение байта S1		
Биты 5 - 8 байта S1	Декодированные сообщения	Описание
0000	Quality unknown	Неопознанный источник синхронизации
0001	Reserved	Для последующего использования
0010	G.811	Сетевой элемент синхронизируется ПЭГ в соответствии с рекомендацией G.811
0011	Reserved	Для последующего использования
0100	G.812 transit	Сетевой элемент синхронизируется от транзитного (подчиненного ПЭГ) источника в соответствии с рекомендацией G.812
0101	Reserved	Для последующего использования
0110	Reserved	Для последующего использования
0111	Reserved	Для последующего использования
1000	G.812 local	Сетевой элемент не синхронизируется от известного первичного источника
1001	Reserved	Для последующего использования
1010	Reserved	Для последующего использования
1011	Synchronous	Сетевой элемент синхронизируется от оборудования с синхронным источником
1100	Reserved	Для последующего использования
1101	Reserved	Для последующего использования
1110	Reserved	Для последующего использования
1111	Do not use for synchronization	Сетевой элемент не синхронизируется от известного источника синхронизации

Табл. А-6.1. Декодирование байта синхронизации S1 заголовка SDH

Автоматическое декодирование байта S1 (возможное в тестерах SDH компании Хьюлетт-Паккард) обеспечивает экономию времени при проверке целостности синхронизации сетевого элемента и обнаружение места неисправности цепи синхронизации.

## Приложение 7

### Автоматическое защитное (резервное) переключение

Сохранение работоспособности при предоставлении услуг стало важным как никогда, поскольку телекоммуникации все шире используются в таких жизненно важных направлениях бизнеса, как электронные платежи, обработка заказов, обслуживание клиентов, управление запасами и во многих других видах деятельности с использованием электронной почты и доступа к сети Интернет. Прекращение предоставления телекоммуникационных услуг может привести к катастрофическим последствиям в бизнесе. Поэтому многие конечные пользователи ищут гарантий непрерывности предоставления услуг и готовы платить дополнительно за такие услуги.

Современное синхронное передающее оборудование, использующее стандарты SDH, оснащено встроенными средствами автоматического защитного переключения (APS) и мониторинга рабочих параметров/аварийных состояний.

Это позволяет строить линейные сети типа “точка-точка” и сети с топологией “синхронных колец”, обеспечивающие функцию самовосстановления в случае возникновения неисправности.

APS в линейных и кольцевых сетях SDH гарантирует сохранение целостности данных и качества предоставляемых услуг в случае отказа оборудования или обрыва волоконно-оптического кабеля (ВОК). Следовательно, очень важно проверить работу механизма резервирования сетевого оборудования при инсталляции сетевых элементов SDH.

Однако, недостаточно проверить только включение режима резервирования при обнаружении отказа. Для оператора сети важным является минимальное время прерывания трафика. Для этого необходимо контролировать время защитного переключения, которое должно соответствовать интервалу времени, определенному в рекомендациях ITU-T.

Существует две рекомендации ITU-T, детализирующие режим защитного переключения, которые указаны ниже.

- Рекомендация G.783 ITU-T. Характеристики функциональных блоков оборудования синхронной цифровой иерархии (SDH). Она определяет резервное переключение мультиплексорной секции (MSP) для сети с линейной архитектурой
- Рекомендация G.841 ITU-T. Типы и характеристики архитектур защиты сети SDH. Рассматривается APS (автоматическое защитное переключение) для сети с кольцевой архитектурой.

### А-7.1. Защита линейных сетей

Линейные сети обычно содержат два передающих оконечных устройства (терминала) SDH, частью сети также могут быть мультиплексоры ввода/вывода (ADM) или оптические регенераторы. Типичными примерами могут быть магистральные междугородные линии или подводные кабельные системы.



Рис. А-7.1. Защита линейной сети

Защита линейной сети должна содержать одно резервное волокно STM-N для одного или нескольких рабочих волокон, несущих “живой” трафик. При выходе из строя одного из активных волокон оконечное оборудование автоматически переключается на резервный маршрут. Это переключение должно выполняться за как можно более короткий интервал времени, чтобы перерыв связи был минимальным.

### А-7.2. Защита кольцевых сетей

Кольцевые структуры, широко используемые в сетях связи крупных городов и на стратегических линиях дальней связи, очень популярны благодаря их внутренней устойчивости к отказам. Преимущество кольцевой структуры (рис.А-7.2) состоит в том, что даже если одна секция (например АВ) полностью разорвана в обоих направлениях, двухсторонний трафик между А и В может быть восстановлен по длинному маршруту (по кольцу) при помощи переключения и замыкания сигналов. Прямое соединение АВ называется “коротким трактом”, а длинное соединение называется “длинным трактом”. Очевидно, что для такого резервирования требуется 50% свободной емкости системы передачи.

Существует два способа обеспечения этой свободной емкости. Первый - выделенное кольцо защиты мультиплексорной секции (MS-DP). Лучше всего это можно представить в виде двух противоположно вращающихся колец, передающих данные в противоположных направлениях. одно из колец несет рабочий трафик, требующий резервирования; другая пара волокон несет тот же самый трафик в противоположном направлении и служит резервом для защиты рабочего трафика. В любом узле кольца мультиплексор ввода/вывода может выбрать трафик либо из “короткого тракта” либо из “длинного тракта”, таким образом обеспечивая полное резервирование в случае обрыва линии связи.

Второй метод обеспечения свободной емкости и резервирования - кольцо совместной защиты мультиплексорной секции (MS-SP). Такие кольца поровну делят услуги и резервирование. Половина пропускной способности полезной нагрузки зарезервирована для защиты в каждом направлении: канал связи при нормальной работе заполнен наполовину. Кольца MS-SP далее могут подразделяться на две категории:

- четырехволоконные
- двухволоконные.

Четырехволоконные кольца MS-SP поддерживают два типа защитного переключения:

- переключение участка
- переключение кольца.

Переключение участка эффективно в случае линейного переключения между соседними узлами кольца. Такие ситуации возникают при обрыве волокон в кабеле, либо при отказе электроники. Следует заметить, что переключение участка не влияет на работу других узлов кольца и они работают в обычном режиме. Однако, большинство обрывов ВОК приводит не только к выходу из строя волоконной пары, но и резервной волоконной пары. Такие ситуации приводят к переключению кольца, когда мультиплексоры ADM на обоих концах неисправного участка замыкают трафик в обратном направлении, т.е. по длинному тракту вокруг кольца.

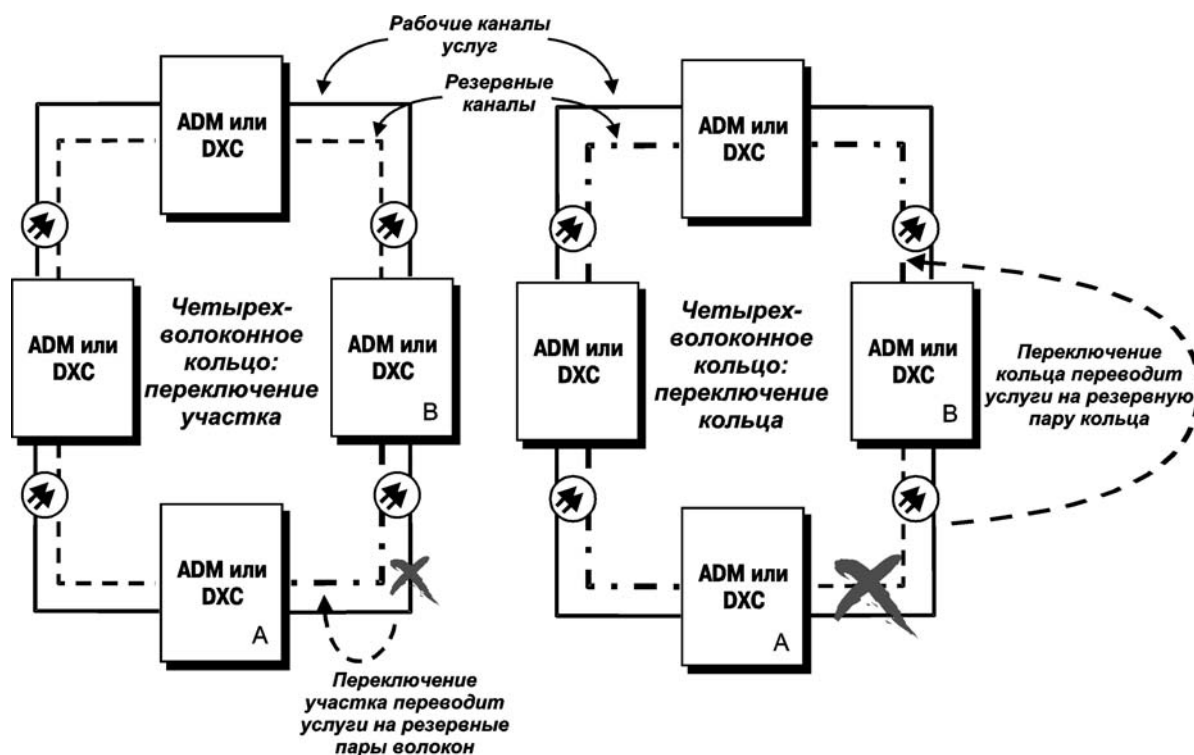


Рис. А-7.2. Защита кольцевых сетей

Двухволоконные кольца MS-SP также поровну делят услуги и резервирование, но для этого требуется только два физических волокна. Например, поток STM-16 на скорости 2,488 Гбит/с может максимально переносить 16 групп AU-4. Однако, в двухволоконном кольце совместной защиты мультиплексорной секции MS административные блоки от AU-1 до AU-8 несут трафик, а AU-9 до AU-16 предназначены для резервирования. В результате емкость двухволоконного кольца в два раза меньше, чем у четырехволоконного. Для двухволоконных MS-SP колец нельзя применять переключение участка, так как есть только одно волокно для каждого направления передачи.

Кольца с совместной защитой называются так еще и потому, что в них можно совместно использовать защитную емкость (емкость резервирования). Если каналы резервирования не используются, то они могут быть использованы как альтернативные рабочие каналы для переноса дополнительного трафика. Во время защитного переключения рабочий трафик получит доступ к резервным каналам, а дополнительный трафик будет удален из резервных каналов.

Выделенные защитные кольца обладают очень широкими возможностями при использовании концентраторов, но требуют несколько большего набора сетевого оборудования. Кольца с совместной защитой более экономичны и удобны в эксплуатации, и поэтому предпочтительны при построении сетей крупных городов, магистральных и распределенных сетей.

### **A-7.3. Инициирование защитного переключения**

Запросы на выполнение защитного переключения могут быть инициированы либо извне, либо автоматически. Внешние команды вводятся инженерами и техниками при помощи системы управления сетью. Эти команды затем передаются сетевому оборудованию, которое устанавливает байты заголовка K1/K2 APS для выполнения защитного переключения. В рекомендации G.841 ITU-T приведен перечень внешних команд для блокировки или активизации защитного переключения с целью технического обслуживания.

Запросы на автоматическое защитное переключение могут быть также инициированы на основе на рабочих параметров мультиплексорной секции и оборудования обработки трафика, обнаруженных сетевым элементом. Например, сетевой элемент может инициировать защитное переключение в случае поступления сигнала отказа (устойчивая неисправность), или если частота появления ошибок, контролируемая мультиплексорной функцией проверки четности, превысила установленный оператором уровень (нерегулярный сбой). Команды переключения передаются непосредственно между сетевыми элементами, используя байты K1/K2. Рекомендация G.841 ITU-T содержит описание автоматически иницируемых команд APS и установок байтов K1 и K2 (см. табл. A-7.1 и A-7.2).

Рекомендация G.783 ITU-T определяет переключение MSP (защита мультиплексорной секции) для сетей с линейной архитектурой. Она рекомендует выполнение защитного переключения в течение 50 мс после обнаружения состояния сбоя сигнала (SF) или состояния ухудшения качества сигнала (SD), иницировавшего переключение.

Рекомендация G.841 ITU-T определяет APS (автоматическое защитное переключение) для сетей с кольцевой архитектурой. Она рекомендует время выполнения переключения менее 50 мс после возникновения состояния сбоя сигнала или ухудшения качества сигнала для колец без дополнительного трафика при отсутствии предшествующих запросов на замыкание (bridge) и при длине ВОЛС менее 1200 км.

Рекомендация G.783 ИТУ-Т Протокол защитного переключения	
Байт K1	Состояния
<b>Биты 1–4</b>	
1111	Блокировка резервирования
1110	Принудительное переключение
1101	Высокий приоритет сбоя сигнала
1100	Низкий приоритет сбоя сигнала
1011	Высокий приоритет ухудшения качества сигнала
1010	Низкий приоритет ухудшения качества деградации
1001	Не используется
1000	Ручное переключение
0111	Не используется
0110	Ожидание восстановления
0101	Не используется
0100	Тестирование
0011	Не используется
0010	Запрос реверса
0001	Не реверсировать
0000	Отсутствие запроса
Байт K2	Состояния
<b>Биты 5–8</b>	Выбирает канал, используемый сообщениями APS
<b>Биты 1–4</b>	Выбирает используемый канал замыкания(моста)
<b>Бит 5</b>	Определяет архитектуру сети автоматического защитного переключения
<b>Биты 6–8</b>	000 = Резерв для будущего использования 001 = Резерв для будущего использования 010 = Резерв для будущего использования 011 = Резерв для будущего использования 100 = Резерв для будущего использования 101 = Резерв для будущего использования 110 = MS – RDI 111 = MS – AIS

Таблица А-7.1. Таблица байтов K1/K2 из рекомендации G.783 ИТУ-Т

Рекомендация G.841 ИТУ-Т Протокол защитного переключения	
Байт K1	Состояния
<b>Биты 1–4</b>	
1111	Блокировка защиты (участок) или сбоя сигнала (защита)
1110	Принудительное переключение(участок)
1101	Принудительное переключение (кольцо)
1100	Сбой сигнала (участок)
1011	Сбой сигнала (кольцо)
1010	Ухудшение качества сигнала (защита)
1001	Ухудшение качества сигнала (участок)
1000	Ухудшение качества сигнала (кольцо)
0111	Ручное переключение (участок)
0110	Ручное переключение (кольцо)
0101	Ожидание восстановления
0100	Тестирование (участок)
0011	Тестирование (кольцо)
0010	Запрос реверса (участок)
0001	Запрос реверса (кольцо)
0000	Отсутствие запроса
Байт K2	Состояния
<b>Биты 5–8</b>	<b>Код идентификатора узла назначения</b>
<b>Биты 1–4</b>	Код идентификатора узла источника
<b>Бит 5</b>	Код тракта: 0 - короткий тракт 1 - длинный тракт
<b>Биты 6–8</b>	000 = Свободный 001 = Замкнуто 010 = Замкнуто и переключено 011 = Резерв для будущего использования 100 = Резерв для будущего использования 101 = Резерв для будущего использования 110 = MS – RDI 111 = MS – AIS

Таблица А-7.2. Таблица байтов K1/K2 из рекомендации G.841 ИТУ-Т

#### A-7.4. Тестирование защитного переключения

Тестирование рабочих параметров APS обеспечивает проверку нескольких различных аспектов механизма защитного переключения.

При тестировании проверяется:

- APS вызвано определенными сбоями сигнала или заданными порогами ухудшения качества сигнала; это проверяется по состоянию байтов K1 и K2 при появлении искажений в сигнале или потере сигнала
- защитное переключение выполнено в пределах 50 мс, определенных рекомендациями ITU-T; в идеальном случае следует проверять время прерывания реального доходобразующего трафика, контролируя искажения полезной нагрузки или компонентных потоков на выходе системы передачи
- после активизации защитного переключения трафик правильно маршрутизируется ко всем точкам альтернативной резервной цепи; этот альтернативный маршрут может быть либо физическим волокном, либо свободной полосой пропускания в существующем активном маршруте (канале связи).

Для выполнения этих измерений тестер должен:

- передать структурированную или неструктурированную тестовую псевдослучайную последовательность либо со скоростью компонентных потоков PDH, либо со скоростью интерфейса SDH
- иметь на приемном конце детектор ошибок, точно измеряющий длительность периода ошибочной передачи полезной нагрузки.

Этот период начнется с момента ввода в действие защитного переключения и закончится после подключения резервного тракта и восстановления синхронизации мультиплексоров.

*Примечание: Измерение только интервала времени между состояниями байтов K1/K2 не индицирует полного времени прерывания доходобразующего трафика.*

Измерение времени защитного переключения в зависимости от длины пакета ошибок на компонентных выходах SDH или PDH в общем случае является простым тестом. Однако, при этом необходимо знать, что обычные тестеры BER (как PDH так и SDH) могут дать ошибочные, вводящие в заблуждение, результаты.

Иногда используется методика подключения выхода детектора ошибок к цифровому запоминающему осциллографу. Это позволяет измерять время переключения по индикации пакета ошибок, вызвавших защитное переключение. Такие измерения могут привести к необходимости применения нескольких тестеров PDH/SDH, что непрактично и неудобно.

Описанный метод ручной проверки защитного переключения сети SDH достаточно сложен и требует много времени. Проблема этого метода состоит в том, что самому детектору требуется время для распознавания потери синхронизации, а также для выработки флага восстановления синхронизации (ресинхронизации) после переключения сигнала. Этот процесс определен в рекомендациях O.150 и M.2100 ITU-T.

Даже после выполнения передающей системой защитного переключения и установления бездефектной передачи, детектор ошибок тестера все еще будет повторно синхронизировать внутренний генератор тестовых последовательностей и вырабатывать ошибки на выходе. Критерий ресинхронизации тестера (обычно это меньше, чем  $n$  ошибок в  $N$  принятых битах, или меньше определенного значения BER в течение заданного периода, например, 100 мс) будет изменяться от одного прибора к другому, в зависимости от уровня разработки. Заметим, что детектору ошибок также может понадобиться восстановление кадровой синхронизации, если он работает со структурированным тестовым сигналом. Время ресинхронизации может быть значительно больше разрешенных для защитного переключения 50 мс, таким образом, представляя результаты измерений совершенно бессмысленными, как показано на рис. А-7.3.

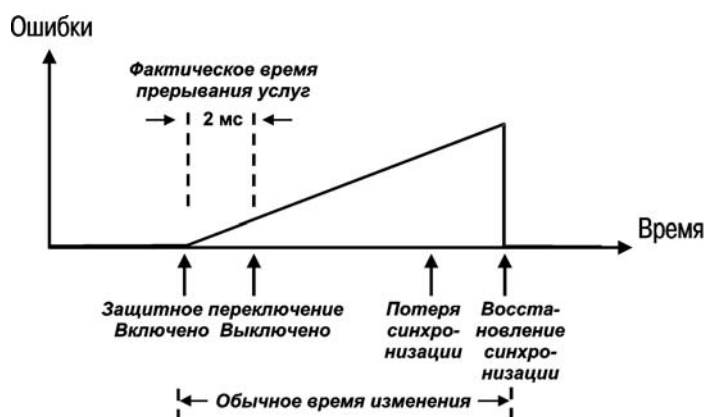


Рис. А-7.3. Задержка синхронизации тестера в режиме APS

Другой причиной, влияющей на результаты измерений, является появление пакетов достоверных данных во время процесса защитного переключения (например, при большом числе переключений APS). Это снова может привести к вводящим в заблуждение результатам детектора ошибок, зависящим от того, каким образом он регистрирует перерывы в достоверных данных.

Время выполнения защитного переключения исключает время обнаружения, необходимое для инициирования защитного переключения и время задержки переключения. Однако эти времена имеют порядок микросекунд, а время защитного переключения по спецификации составляет 50 мс, поэтому временем обнаружения и временем задержки переключения можно пренебречь.

Ускорение тестов верификации означает автоматизацию измерительного процесса. На практике это исключает необходимость использования осциллографа, упрощая тем самым процесс измерений.

Методика измерений при помощи тестеров HP гарантирует, что при измерении времени защитного переключения действительно измеряется реальное время потери трафика (то есть, время перерыва предоставления услуг), а не просто время переключения байтов К1/К2. Это время переключения непосредственно относится к качеству услуг, предоставляемых в процессе защитного переключения.

**Для проведения этих измерений требуется специально разработанный тестер. Он не должен вносить дополнительную задержку из-за своих внутренних процессов синхронизации, которые могут, в свою очередь, привести к получению совершенно бессмысленных результатов временных измерений.**



## **Глоссарий**



## Глоссарий

<b>ADDF</b>	Automatic digital distribution frame Автоматический цифровой распределительный кросс
<b>ADM</b>	Add/Drop Multiplexer Американский термин для мультиплексора ввода/вывода
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute Американский национальный институт стандартов
<b>ATM</b>	Asynchronous transfer mode Режим асинхронной передачи: метод передачи, позволяющий нести трафик с различными скоростями
<b>AU</b>	Administrative unit Административный блок (см. рекомендацию G.707 ITU-T)
<b>Bit stuffing</b>	Битстаффинг: вставка дополнительных битов в плезихронный поток для компенсации различий в номинальной скорости передачи
<b>BIP</b>	Bit interleaved parity Проверка на четность, используемая в кадрах, собранных по схеме с чередующимися битами
<b>CCITT</b>	Consultative Committee on International Telegraphy and Telephony Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (прежнее название Международного союза электросвязи)
<b>DCC</b>	Data communications channel Служебный канал передачи данных
<b>DDF</b>	Digital distribution frame Цифровой распределительный кросс, узел для физического подключения трактов передачи
<b>DDN</b>	Digital data network Цифровая сеть передачи данных
<b>D/I</b>	Drop and insert Вывод и ввод трафика в промежуточной точке сквозного тракта передачи
<b>DXC</b>	Digital (plesiochronous) cross connect Цифровой кросс-коммутатор
<b>EOW</b>	Engineering order wire Служебный цифровой канал связи
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute Европейский институт стандартов в области связи
<b>FDDI</b>	Fiber distributed data interface Стандарт ANSI для локальных сетей, использующих ВОК в качестве среды передачи
<b>Framing</b>	Кадровая синхронизация
<b>ISO</b>	International Standards Organisation Международная организация по стандартизации
<b>LAN</b>	Local area network Локальная вычислительная сеть
<b>LTE</b>	Line terminal equipment Линейное оконечное оборудование
<b>MSOH</b>	Multiplex section overhead Заголовок мультиплексорной секции
<b>NE</b>	Network element Сетевой элемент

<b>OAM</b>	Operations, administration and maintenance Эксплуатация, администрирование и обслуживание
<b>OC</b>	Optical carrier Оптическая несущая
<b>OLTU</b>	Optical line terminal unit Оконечное устройство оптической линии: оборудование, где оканчивается оптическое волокно и оптический сигнал обычно преобразуется в электрический
<b>Orderwire</b>	Служебный канал передачи голоса и данных между станциями тракта передачи
<b>OS</b>	Operating system Операционная система
<b>PCM</b>	Pulse Code Modulation Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
<b>PCN</b>	Personal communications network Сеть персональной связи
<b>PDH</b>	Plesiochronous digital hierarchy Плезихронная цифровая иерархия (ПЦИ)
<b>POH</b>	Path overhead Трактовый заголовок; заголовок тракта
<b>POTS</b>	Plain old telephone service Обычная телефонная сеть
<b>PSN</b>	Packet switched network Сеть пакетной коммутации
<b>PSTN</b>	Public switched telephone network Телефонная сеть общего пользования (ТФОП)
<b>RSOH</b>	Regenerator section overhead Заголовок регенераторной секции
<b>SDH</b>	Synchronous digital hierarchy Синхронная цифровая иерархия (СЦИ)
<b>SDXC</b>	Synchronous digital cross connect Система общей синхронной коммутации/кросс-коммутация потоков SDH
<b>SOH</b>	Section overhead Секционный заголовок
<b>SONET</b>	Synchronous optical network Синхронная оптическая сеть (североамериканский стандарт)
<b>STM</b>	Synchronous transport module Синхронный транспортный модуль
<b>STM-0</b>	Synchronous transport module of level 0 Синхронный транспортный модуль нулевого уровня иерархии SDH, соответствует SONET OC-1 - 51,840 Мбит/с (то же, что и STM-RR)
<b>STM-1</b>	Synchronous transport module of level 1 Синхронный транспортный модуль первого уровня иерархии SDH - 155,520 Мбит/с
<b>STM-4</b>	Synchronous transport module of level 4 Синхронный транспортный модуль 4 уровня иерархии SDH - 622,080 Мбит/с
<b>STM-16</b>	Synchronous transport module of level 16 Синхронный транспортный модуль 16 уровня иерархии SDH - 2 488,320 Мбит/с

<b>STM-N</b>	Synchronous transport module of level N Синхронный транспортный модуль SDH уровня N, где N = 1, 4, 16, 64, 256
<b>TMN</b>	Telecommunications management network Сеть управления телекоммуникациями (сеть управления электросвязью)
<b>Tributary</b>	Компонентная нагрузка, компонентный поток нагрузки. Вход доступа низкочастотного сигнала в мультиплексор; объединяется (мультиплексируется) с другими низкоскоростными сигналами для формирования сигнала с более высокой скоростью
<b>TU</b>	Tributary unit Блок компонентной нагрузки (рекомендация G.707 ITU-T)
<b>TUG</b>	Tributary unit group Группа блоков компонентной нагрузки (рекомендация G.707 ITU-T)
<b>VC</b>	Virtual container Виртуальный контейнер



Для получения дополнительной информации по изделиям, предназначенным для измерений и испытаний, а также по их применению и обслуживанию, пожалуйста, обращайтесь в ближайшее представительство HP по адресу:  
Россия,  
113054, Москва,  
Космодамианская набережная, д.52,  
стр.1  
Тел.: (095) 792-3500, 797-3865  
Факс.: (095) 797-3501, 797-3787  
или посетите нашу страницу в сети Internet по адресу <http://www.hp.com>

Техническая информация, содержащаяся в настоящем документе, может быть изменена без предварительного уведомления.

©Hewlett-Packard Limited 1997

Оригинал отпечатан в Великобритании (март 1997 г.)  
5966-2267E

Русский перевод отпечатан в июле 1998 г.