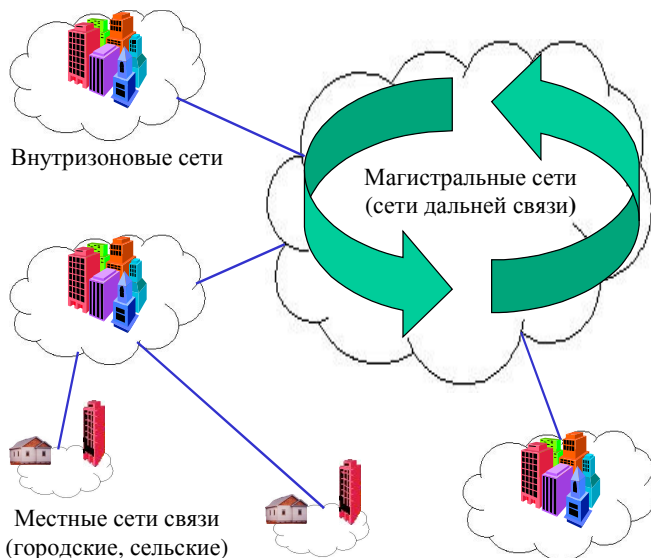


## 1. ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ ЭВОЛЮЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

*Основные требования:* информация должна быть получена в нужное время, в нужном месте и в нужном формате.

Особенности старых сетей связи:

- один оператор
- традиционные виды услуг: телефония, телеграфия (низкоскоростная передача данных), радиовещание
- преобладает услуга телефонного трафика
- сети оптимизированы для передачи телефонии



Особенности телефонного трафика:

- подчиняется определенным закономерностям, достаточно хорошо предсказуем

- имеет ярко выраженный локальный характер (правило 80/20, низкоскоростная периферия)

Основные свойства сети, оптимизированной для передачи телефонии по коммутируемым каналам:

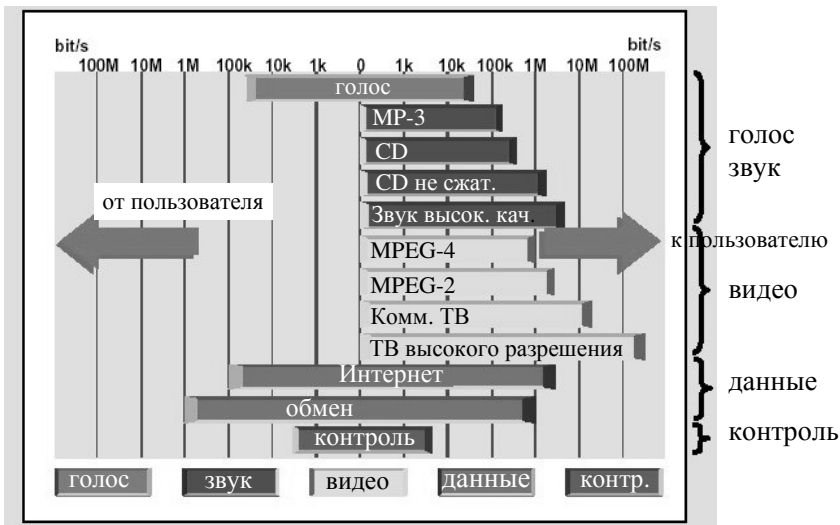
- стандартные телефонные каналы с фиксированной полосой пропускания
- неполная загрузка каналов
- избыточность оборудования
- значительное время конфигурирования сети (выполнения заказов)
- трудно реагируют на требования к изменениям качества обслуживания



Общая тенденция рынка телекоммуникационных услуг:

- снижение стоимости услуг, в том числе и полосы пропускания, при увеличении их количества и качества
- смещение центра деловой активности на дом, развитие небольших и домашних офисов SOHO (Small Office – Home Office), а также мобильных офисов

спрос на услуги связи порождает рост потребности в пропускной способности сетей связи



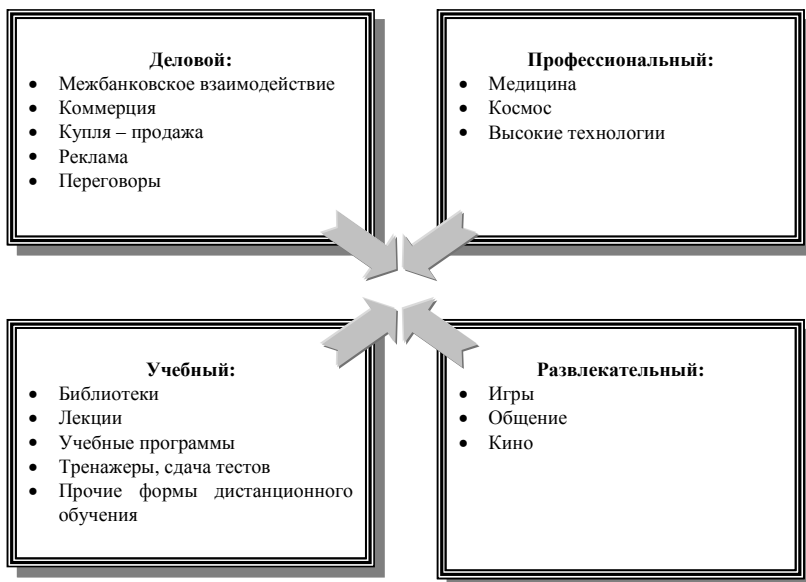
Вид услуги	Скорость передачи
Телефония	64 кбит/с
Музыка	128 кбит/с
Изображение, видео (загрузка)	1,5 Мбит/с
Коммерческое телевидение	6 Мбит/с
Телевидение высокого разрешения	30 Мбит/с

Общие тенденции изменения телекоммуникационных сетей:

- Глобализация
- Персонализация
- Интеграция

Сегодня пользователь любой сети связи должен иметь потенциальную возможность выхода через глобальную сеть связи на любую другую сеть в любой точке земного шара. При этом требуется индивидуальный подход к каждому потребителю. Предоставление ему пакета услуг, перечень которых, качество, надежность и объем, вид и количество, определяются его запросом. И вместе с тем желательно, чтобы предоставление всего пакета услуг связи осуществлялось в рамках единой технологии. Типичные примеры - технологии Ethernet, WDM и др.

#### Четыре сектора рынка мультимедийных услуг



Спрос на услуги связи порождает обвалный рост потребности в пропускной способности сетей связи.

По данным статистики рост телефонного трафика на сетях связи в среднем ежегодно составляет 10%, рост трафика передачи данных 80%.

По прогнозам аналитиков в ближайший период времени ежегодный прирост трафика составит для телефонии 8% на местных и 17% на междугородных сетях связи, а для передачи данных 34% и 52%, соответственно.

В основном рост трафика формирует Интернет. По прогнозам он составит до 157% в год.

На сегодняшний день насчитывается порядка 2 миллиарда web-страниц, ежедневно, в среднем, их количество увеличивается более чем на 3,5 млн.

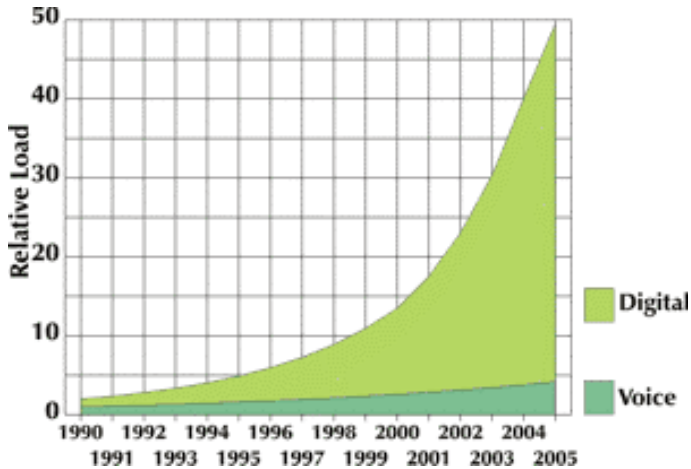
В США Интернет удваивает требуемую полосу частот за каждые 9 месяцев.

В Китае ежегодно рост трафика за период 1996 –1999 гг. составил: телефонии – на 40%, сотовой связи – на 120%, интернет – более чем на 100%.

В России, по расчетам, уже в 2005 г. ожидается потребность в пропускной способности магистральных линий до 100..200 Гбит/с. В дальнейшем прогнозируется рост до 20 Тбит/с.

По данным японских аналитиков потребность в пропускной способности сетей связи в 2010 году составит:

- 100 Мбит/с - для каждой пользовательской линии;
- 5 Тбит/с/линия - на соединительных линиях (в кольцах);
- 4.5 Тбит/с/узел - на узлах коммутации.



Особенности трафика Интернет:

- Трафик трудно предсказуем, не имеет выраженных закономерностей
- Трафик не имеет выраженного локального характера

Мощным катализатором увеличения спроса на услуги связи послужило развитие волоконно-оптической техники связи, ее уже реализованные возможности и перспективы.

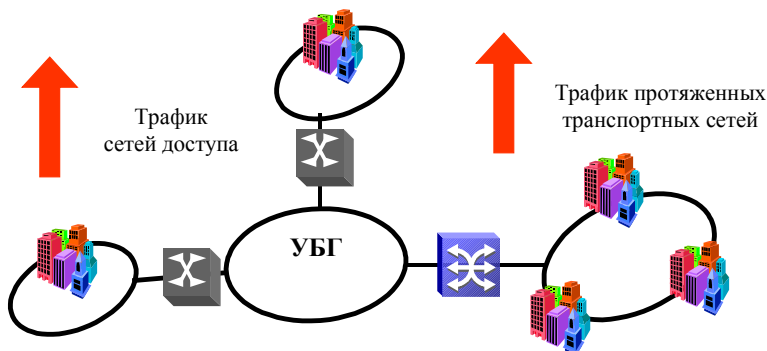
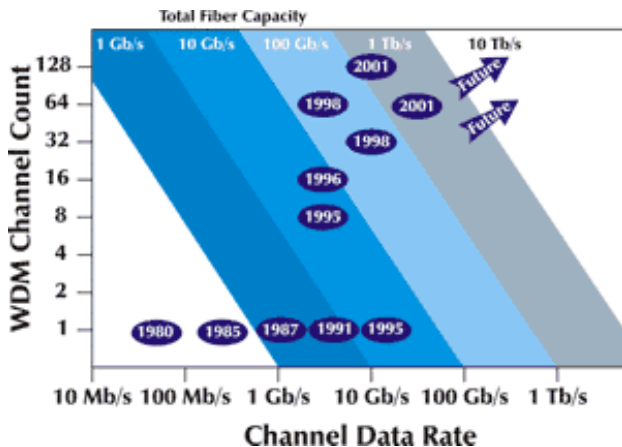
Эксплуатация	Скорость передачи в одном оптическом канале, Гбит/с	Расстояние, км
Коммерческая	2,5	100...200
	10	
	40	
Опытная	10	10600
	20	24500
		2200
		9000
Экспериментальная	40	14000
	160	6300
		116

<b>Скорость передачи в оптическом линейном тракте DWDM систем на современном этапе развития оптических сетей</b>	
Эксплуатация	Скорость передачи $V=M \times N$ M – число несущих N – скорость передачи в одном оптическом канале
Коммерческая	100 Гбит/с
Опытная	1 Тбит/с
Экспериментальная	6,4 Тбит/с

Уже реализованные возможности оптической связи обеспечивают увеличение пропускной способности, ведут к снижению ее стоимости и тем стимулируют рост потребности в ее увеличении.



Рост трафика в сетях доступа и транспортных сетях порождает т.н. проблему «узкого бутылочного горлышка», когда электронные шлюзы не могут пропустить требуемый объем информации при соединении фрагментов сети. Решение проблемы – оптическая коммутация.



Чтобы удовлетворить потребности общества в обмене информацией необходимо создать динамичную сеть, конфигурируемую в соответствии с текущим типом трафика. Это интеллектуальные сети, в которых обеспечивается управление качеством сетевых услуг (QoS – Quality of Service), т.е. – полосой пропускания.

*Для реализации такой сети необходимы следующие условия:*

1. направляющая система (среда распространения), позволяющая наращивать полосу пропускания до необходимых пределов;
2. технологии, позволяющие быстро удовлетворять потребности в изменении полосы пропускания;
3. экономичная и надежная техника, реализующая вышеуказанные два пункта.

*Возможности управления полосой пропускания достаточно ограничены:*

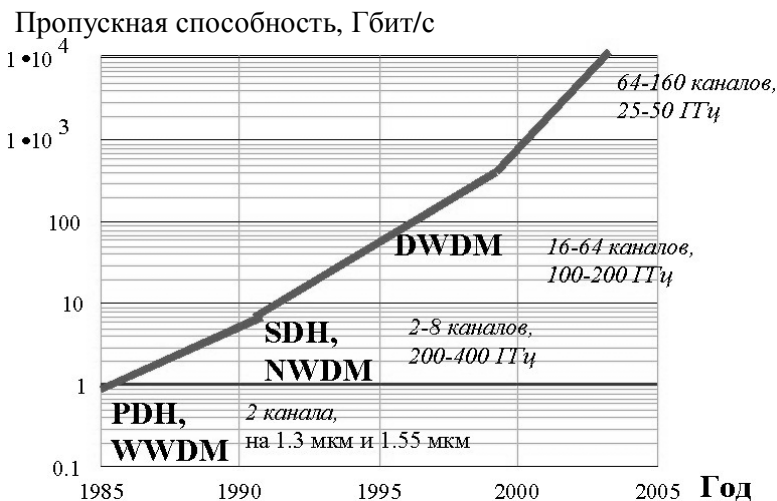
1. увеличение емкости (числа волокон) оптического кабеля;
2. применение оптических технологий со сверхскоростной модуляцией, передачей и приемом (сверхвысокочастотные лазеры, фотодетекторы, модуляторы и т.п.);
3. замена электронных компонентов оптическими (мультиплексоры, усилители, фильтры и т.п.);
4. увеличение скорости передачи оптического канала (до 10 Гбит/с, 40 Гбит/с и более);
5. увеличение числа оптических несущих в одном волокне.

Радикальное решение проблемы – переход к полностью оптическим сетям (All Optical Networks – AON). AON – это сети, в которых организация и коммутация каналов осуществляются на оптическом уровне.

Способы мультиплексирования:

- **WDM – Wavelength Division Multiplexing** – спектральное разделение каналов по оптическим несущим
- **OTDM – Optical Time Division Multiplexing** (временное разделение каналов на оптическом уровне)
- **OCDM – Optical Code Division Multiplexing** (кодовое разделение каналов на оптическом уровне)

*В основном перспективы AON связывают с WDM*



История развития систем WDM

Уже в 1980-е годы на ВОЛП системы плезиохронной иерархии (PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy) успешно работали по одному волокну в разных окнах прозрачности – 850 нм и 1300 нм на многомодовых волокнах, 1310 нм и 1550 нм на одномодовых волокнах. Это было, так называемое, разнесенное спектральное уплотнение оптичес-

ских волокон (**WDM** – Wideband Wavelength Division Multiplexing).

В 1990-е годы на транспортных сетях, соединительных линиях начали применять системы синхронной цифровой иерархии (SDH – Synchronous Digital Hierarchy) совместно с системами разнесенного спектрального уплотнения (**CWDM** – Coarse Wavelength Division Multiplexing или **NWDM** – Narrow Wavelength Division Multiplexing). Эти системы работают уже только в одном окне прозрачности 1550 нм на 2..8 оптических несущих, обеспечивая соответственно 2..8 оптических каналов с выделенной для каждого из них полосой 200..400 ГГц.

Однако уже к концу девяностых годов внедряются технологии плотного спектрального уплотнения (**DWDM** – Dense Wavelength Division Multiplexing). На первом этапе данные системы обеспечивали до 64 оптических каналов с разнесением в 100..200 ГГц. Но уже сейчас разработано новое поколение подобных систем с использованием до 160 оптических несущих, разнесенных на 25..50 ГГц, и выше. Подобная технология получила название системы спектрального уплотнения высокой плотности (**HDWDM** – High Dense Wavelength Division Multiplexing).

Основные тенденции развития сетей связи на современном этапе:

- Имеет место устойчивый тренд в сторону полностью оптических сетей, плавный эволюционный переход на новый уровень технологий сетей связи.
- На смену традиционной топологии синхронных колец систем SDH приходит сетевая топология.

- От систем DWDM, работающих по схеме «точка-точка», переходим к интеллектуальным оптическим сетям.
- Распределенная структура сетей TMN (TMN – Telecommunications Management Networks – автоматизированные системы управления телекоммуникациями) заменяет централизованную.
- Если сегодня передача информации осуществляется в основном в рамках систем с временным уплотнением (TDM), то уже в ближайшее время ожидается широкое применение на транспортных сетях мультисервисных протоколов (GigE, ESCON, FDDI и т.п.).

Срок службы оптического кабеля (ОК) и линейно-кабельных сооружений (ЛКС) составляет 25 лет.

Срок службы оборудования системы передачи:

- Не менее 25 лет по техническим условиям
- От 5 до 7 лет, пока морально не устарело

На современном этапе развития, за 1..3 года разрабатываются новые поколения телекоммуникационных систем, значительно превосходящие предыдущие по технико-экономическим показателям.

В среднем, в течение срока службы оптического кабеля замена оборудования на линии производится 2...4 раза.

### **Вывод:**

При построении новых и реконструкции существующих сетей связи особое внимание следует уделить оптимизации ЛКС (выбору типа оптических волокон, емкости ОК и т.д.).

## **2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

### **2.1 Системное и эксплуатационное измерительное оборудование**

Измерительную технику современных телекоммуникаций можно условно разделить на два основных класса: системное и эксплуатационное измерительное оборудование.

К *системному* оборудованию относится измерительное оборудование, обеспечивающее настройку сети в целом и ее отдельных узлов, а также последующий мониторинг состояния всей сети.

Данный класс оборудования называется системным, потому что имеет широкие возможности интеграции в измерительные комплексы, сети измерительных приборов и входит в качестве подсистем в автоматизированные системы управления связью (TMN – Telecommunications Management Networks)

*Эксплуатационное* измерительное оборудование должно обеспечивать качественную эксплуатацию отдельных узлов сети, сопровождение монтажных работ и оперативный поиск неисправностей.

Основным требованием для системного оборудования является максимальная функциональность прибора (1): его спецификация тестов должна удовлетворять всем существующим и большинству перспективных стандартов и методологий. В противном случае прибор не обеспечит полной настройки и оценки параметров сети или тестируемого устройства.

<b>Требования к измерительному оборудованию</b>	
<b>Системное оборудование</b>	<b>Эксплуатационное оборудование</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Функциональность тестов</li> <li>2. Возможность интеграции в системы</li> <li>3. Быстрота и легкость модернизации</li> <li>4. Удобство эксплуатации</li> <li>5. Надежность</li> <li>6. Стоимость</li> <li>7. Портативность</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Портативность</li> <li>2. Стоимость</li> <li>3. Надежность</li> <li>4. Удобство эксплуатации</li> <li>5. Функциональность тестов</li> </ol>

(2) Возможность интеграции в системы измерительного оборудования и интеграции с вычислительными средствами и сетями передачи данных также существенно в условиях создания TMN, куда должны быть включены и измерительные устройства.

Требование модернизируемости (3) важно в силу быстрого развития технологии и принятия новых стандартов.

Удобство работы (4) занимает лишь 4-е место. Имеется ряд многофункционального системного оборудования с «недружественными» интерфейсами. Это требует от специалиста долгого изучения средства измерения, что далеко не всегда эффективно.

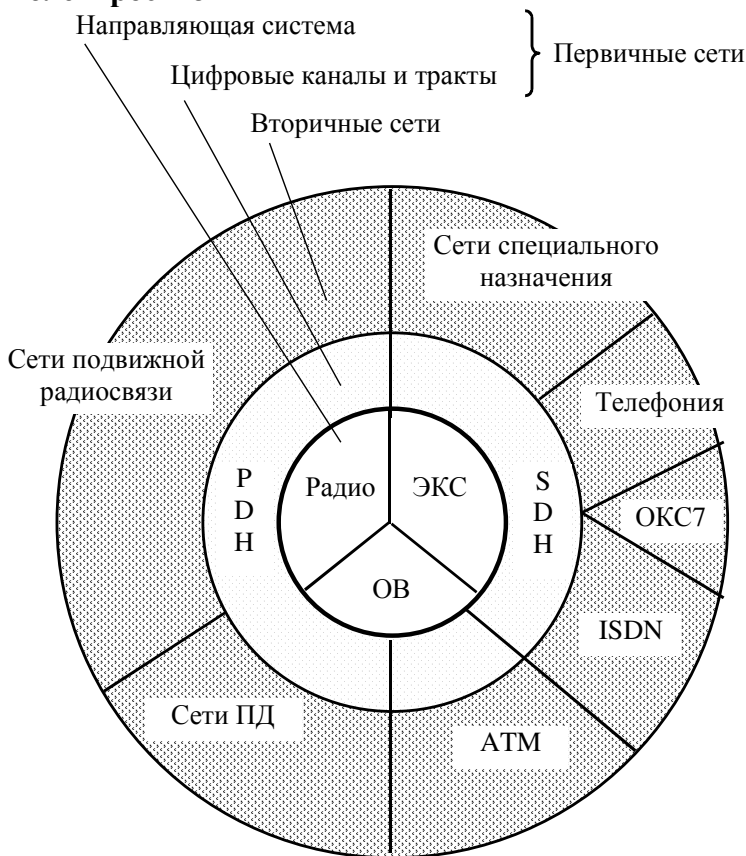
Стоимость (6) для системного оборудования не является первичным критерием выбора, поскольку для приборов этого класса стоимость находится в прямой зависимости от функциональности. Портативность (7) для этого класса оборудования не требуется.

Эксплуатационное оборудование должно быть в первую очередь портативным и дешевым, затем надежным и уже после этого многофункциональным.

Также необходимо отметить, что, учитывая общую тенденцию к миниатюризации в современной электронной промышленности, системное оборудование становится все более портативным, а эксплуатационное – все более функциональным.



## 2.2 Измерения в различных частях современной системы электросвязи



Структурная схема цифровой системы электросвязи

В основе системы электросвязи лежит первичная сеть, включающая в себя направляющую системы распространения сигнала (электрический кабель связи (ЭКС), оптическое волокно (ОВ), радиоэфир или радиочастотный ресурс) и аппаратуру передачи сигнала, обеспечивающую создание типовых каналов и трактов первичной сети, которые используются для передачи информации.

Среда распространения сигнала используется для создания типовых трактов первичной сети. Так, например, цифровая первичная сеть может строиться на основе принципов PDH или SDH.

Типовые каналы и тракты первичной сети используются различными вторичными сетями: сетями цифровой телефонии, цифровыми сетями с интеграцией служб (ISDN – Integrated Service Digital Networks), сетями на основе асинхронного режима передачи данных (ATM), сетями передачи данных (ПД) на основе использования таких протоколов, как Frame Relay, X.25 и т.д., сетями сотовой радиосвязи и транкинга, а также сетями специального назначения: сеть диспетчерской связи, оперативного и технологического управления, селекторных совещаний и т.д.

Большое значение протокола ОКС7 как современной концепции сигнализации сети общего пользования требует отдельного рассмотрения в плане технологии измерений. Технология ATM отличается тем, что она охватывает не только вторичную сеть, но и частично первичную.

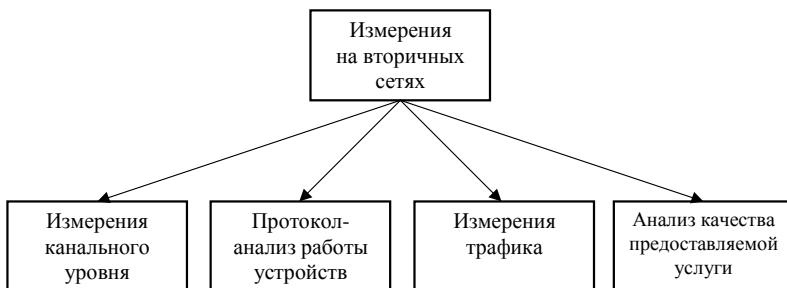
В соответствии с представленной структурой может быть рассмотрена следующая классификация измерительных решений.

Первый уровень измерений – измерение параметров и характеристик направляющей системы передачи сигнала.

Второй уровень измерений – измерения цифровых трактов первичной сети.

Третий уровень – измерения на вторичных сетях связи.

## 2.3 Группы измерений, характерные для вторичных сетей связи



Основные группы измерений на вторичных сетях связи

Группа измерений канального уровня включает в себя измерения интерфейсов с первичной сетью, характеристик каналов вторичных сетей и пакетной структуры передаваемой информации. Как правило, эта группа измерений относится к измерениям на первичной сети.

Группа измерений, связанная с анализом протоколов едина для всех вторичных сетей с учетом, что для организации взаимодействия устройств сети используются различные протоколы сигнализации. Поэтому для анализа корректной работы устройств и выявления возможных противоречий в их работе необходим логический протокол – анализ работы узлов сети.

Отдельно от группы измерений протокол-анализа стоят измерения, связанные с имитацией трафика. Эти измерения необходимы для анализа способности сети связи передавать и коммутировать заданную нагрузку трафика.

Изменения параметров качества предоставляемых услуг являются довольно разнородными для разных вторичных сетей. Часто эти измерения рассматриваются в случае, когда предоставляемая услуга связана непосредственно с системой связи (например, создание аналоговых абонентских линий сетью цифровой телефонии).

Все перечисленные измерения реализуются с использованием системного или эксплуатационного оборудования, применение которого зависит от задачи измерений, полноты спецификаций тестов и условий измерений.