

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Н. В. Тарченко

***ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ
И ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ***

*Рекомендовано УМО вузов Республики Беларусь по образованию
в области информатики и радиоэлектроники
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений, обеспечивающих получение
высшего образования по специальности
«Многоканальные системы телекоммуникаций»*

Минск БГУИР 2011

УДК 621.395.52(076.5)

ББК 32.883я73

T22

Р е ц е н з е н т:

доцент кафедры сетей и устройств телекоммуникаций
Белорусского государственного университета информатики
и радиозлектроники, кандидат технических наук А. А. Борискевич

Тарченко, Н. В.

T22

Проектирование цифровых систем и транспортных сетей телекоммуникаций : учеб.-метод. пособие / Н. В. Тарченко. – Минск : БГУИР, 2011. – 58 с. : ил.

ISBN 978-985-488-595-7.

В пособии рассмотрены вопросы классификации сетей телекоммуникаций, основные принципы их построения и проектирования, а также методы нормирования и расчета параметров качества проектируемых цифровых систем и сетей.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям телекоммуникационного направления.

УДК 621.395.52 (076.5)

ББК 32.883я73

ISBN 978-985-488-595-7

© Тарченко Н. В., 2011

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиозлектроники», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Термины и определения	4
1 Общие принципы проектирования цифровых сетей телекоммуникаций	7
1.1 Принципы построения и классификация сетей телекоммуникаций	7
1.2 Перспективные направления развития сетей связи ОП.....	11
1.3 Общие принципы планирования и проектирования транспортных сетей телекоммуникаций. Основные виды и этапы планирования	13
2 Нормирование параметров качества цифровых каналов и групповых трактов	17
2.1 Классификация норм на параметры качества	17
2.2 Условный эталонный тракт и номинальная цепь основного цифрового канала	19
2.3 Определение допустимого коэффициента ошибки в ОЦК.....	20
2.4 Параметры качества ОЦК	22
2.5 Нормирование параметров качества ОЦК.....	24
2.6 Показатели качества для цифровых сетевых трактов	25
2.7 Нормирование параметров сетевых трактов	26
2.8 Оценка параметров показателей качества	29
2.9 Аномалии и дефекты для систем PDH.....	31
2.10 Аномалии и дефекты в трактах SDH.....	33
2.11 Оперативные нормы на показатели ошибок.....	35
3 Нормирование фазовых дрожаний	38
3.1 Необходимость контроля и нормирования фазовых дрожаний.....	38
3.2 Влияние фазовых дрожаний на работу цифровых систем и сетей	39
3.3 Нормирование фазовых дрожаний	43
3.4 Нормирование и измерение выходных фазовых дрожаний	43
3.5 Нормирование и измерение входных фазовых дрожаний.....	47
3.6 Нормирование характеристики передачи фазовых дрожаний	52
3.7 Нормирование проскальзываний.....	54
Литература.....	56

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Сеть электросвязи – совокупность узлов, станций (средств электросвязи) и соединительных линий (линий электросвязи), обеспечивающая соединения между двумя или несколькими определенными пунктами с целью организации связи между ними;

Средства электросвязи – технические и программные средства, используемые для формирования, обработки, хранения, передачи и приема сообщений электросвязи, а также программные и иные средства, используемые при оказании услуг электросвязи или обеспечения функционирования сетей электросвязи.

Сеть электросвязи Республики Беларусь – совокупность сетей электросвязи общего пользования и ведомственных сетей электросвязи на территории Республики Беларусь, обеспечивающая связь между абонентами внутри страны и выход на международную сеть.

Сеть электросвязи общего пользования – сеть электросвязи, открытая для пользования всем физическим и юридическим лицам, в услугах которой этим лицам не может быть отказано.

Интегральная цифровая сеть электросвязи – цифровая сеть электросвязи, в которой осуществляется совмещение процессов цифровой передачи и цифровой коммутации, обеспечивающее сквозной цифровой тракт передачи от одной оконечной станции, где это совмещение реализуется, до другой такой же станции.

Интеллектуальная сеть (электросвязи) – сеть электросвязи, архитектура которой обеспечивает гибкость для ввода новых возможностей и услуг, в том числе управляемых абонентами.

Сеть подвижной электросвязи – сеть электросвязи, обеспечивающая подвижным абонентам возможность установления связи между собой и абонентами других сетей электросвязи.

Оконечное устройство – оборудование, подключенное к сети электросвязи для обеспечения доступа к одной или нескольким определенным службам электросвязи.

Живучесть системы (сети) электросвязи – свойство системы (сети) электросвязи сохранять способность выполнять требуемые функции в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов.

Надежность системы (сети) электросвязи – свойство системы (сети) электросвязи сохранять во времени в установленных пределах значения определенных параметров, характеризующих способность системы (сети) выполнять требуемые функции в заданных условиях эксплуатации.

Первичная сеть (ПС) – transmission network – совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передач.

Сеть (электросвязи) первичная магистральная – часть первичной

сети, обеспечивающая соединение между собой типовых каналов передачи и сетевых трактов разных внутризональных первичных сетей на всей территории страны.

Сеть (электросвязи) первичная внутризональная – часть первичной сети, обеспечивающая соединение между собой типовых каналов передачи и сетевых трактов разных местных первичных сетей одной зоны нумерации и телефонной сети.

Сеть (электросвязи) первичная местная – часть первичной сети, ограниченная территорией города с пригородом или сельского административного района.

Линейный тракт (системы передачи) – комплекс технических средств системы передачи, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью, соответствующей данной системе передачи.

Типовой канал (передачи) – канал передачи, параметры которого соответствуют принятым нормам.

Основной цифровой канал (ОЦК) – типовой цифровой канал передачи со скоростью передачи сигналов 64 кбит/с.

Система передачи – комплекс технических средств, обеспечивающих образование линейного тракта, типовых групповых трактов и каналов передачи первичной сети.

Цифровая система передачи – система передачи с временным разделением каналов, в линейном тракте которой передаются цифровые сигналы электросвязи.

Вторичная сеть (электросвязи) – часть системы электросвязи, представляющая совокупность линий и каналов вторичной сети, образованных на базе первичной сети, станций и узлов коммутации или станций и узлов переключений, предназначенная для организации электросвязи между двумя или более определенными точками.

Канал передачи – transmission circuit – комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигнала электросвязи в полосе частот или со скоростью передачи, характерных для данного канала, между сетевыми станциями, сетевыми узлами, сетевой станцией и сетевым узлом, сетевой станцией или сетевым узлом и оконечным устройством первичной сети.

Канал электросвязи – путь прохождения сигналов электросвязи, образованный последовательно соединенными каналами и линиями первичной сети при помощи станций и узлов первичной сети, обеспечивающий при подключении к его окончаниям абонентских оконечных устройств (терминалов) передачу сообщений от источника к получателям.

Линия передачи – transmission line – совокупность линейных трактов и(или) типовых физических цепей, имеющих общие линейные сооружения, устройства их обслуживания и одну и ту же среду распространения в пределах действия устройств обслуживания. Классифицируются в зависимости от первичной сети, которой принадлежат: магистральная, внутризональная, местная, и

от среды распространения: кабельная, радиорелейная, спутниковая. Комбинированная линия передачи – последовательное соединение разных по среде распространения линий передач.

Коммутируемая сеть (электросвязи) – вторичная сеть, обеспечивающая соединение по запросу абонента или в соответствии с заданной программой через канал электросвязи оконечных абонентских устройств при помощи коммутационных станций и узлов коммутации этой сети на время передачи сообщений.

Некоммутируемая сеть (электросвязи) – вторичная сеть, обеспечивающая постоянные и временные соединения через канал электросвязи оконечных абонентских устройств при помощи станций и узлов переключений этой сети.

Коммутация каналов (линий) – совокупность операций на станции или узле вторичной сети, обеспечивающих последовательное соединение каналов (линий) вторичной сети.

Коммутация пакетов – совокупность операций на станции или узле вторичной сети, состоящих в приеме отрезков сообщений (пакетов) и передаче их в соответствии с содержащимся в них адресным признаком.

Тракт групповой – group link – комплекс технических средств – система передачи, в которой передаются сигналы электросвязи нормализованного числа ОЦК со скоростью передачи, характерной для данного группового тракта.

Тракт сетевой – network path – типовой групповой тракт или несколько соединительных типовых групповых трактов с включенной на входе и выходе аппаратурой образования тракта (уплотнения и преобразования сигналов). Сетевой тракт можно рассматривать и как транспортный объект уровня сети трактов, обеспечивающий целостность передачи информации по соединениям уровня трактов, и как составное соединение между пользовательскими интерфейсами различных сетевых элементов.

Тракт линейный – line channel – комплекс технических средств системы передачи, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью, соответствующей данной системе передачи (аналоговый, цифровой, кабельный, радиорелейный, спутниковый, комбинированный).

Устройство оконечное ПС – originative network terminal – технические средства, обеспечивающие образование типовых физических цепей или типовых каналов передачи для предоставления их абонентам вторичных сетей и другим потребителям.

Узел сетевой ПС – network node – комплекс технических средств, различных телекоммуникационных технологий, обеспечивающих образование и перераспределение сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических цепей, а также подключение вторичных сетей, служб электросвязи и пользователей сетей.

1 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

1.1 Принципы построения и классификация сетей телекоммуникаций

Сеть связи страны – комплекс технических средств, взаимодействующих на основе определенных принципов и обеспечивающих возможности своевременно, качественно и полно удовлетворять все потребности населения страны, отраслей народного хозяйства, органов государственного управления и обороны в разнообразных услугах связи. В состав сети связи страны входят электро-связь (ЭС) и почтовая связь. Общая структура сети связи страны представлена на рисунке 1.1.

Основа электросвязи РБ – единая сеть электросвязи (ЕСЭ), обеспечивающая предоставление услуг электросвязи пользователям на всей территории страны.

ЕСЭ РБ – сеть электросвязи, состоящая из расположенных на территории страны сетей связи следующих категорий:

- сетей электросвязи общего пользования;
- выделенных сетей;
- технологических сетей;
- сетей специального назначения.

Сеть электросвязи общего пользования (ОП) – комплекс взаимодействующих сетей электросвязи, предназначенный для возмездного оказания услуг электросвязи всем пользователям на территории страны, в том числе по распространению программ телевизионного и радиовещания.

Сеть электросвязи ОП присоединяется к аналогичным сетям иностранных государств. В структуру ЕСЭ входят следующие системы ЭС ОП:

- телефонной связи;
- телеграфной связи;
- передачи данных;
- распределения программ звукового вещания;
- распределения программ телевизионного вещания.

По мере развития средств связи структура систем связи может изменяться за счет интеграции ряда систем и образования новых видов.

Выделенные сети электросвязи предназначены для возмездного оказания услуг электросвязи ограниченному кругу пользователей, но не присоединены к сети электросвязи ОП. Выделенные сети электросвязи могут взаимодействовать между собой. Принципы построения выделенных сетей ЭС, а также используемые при этом телекоммуникационные технологии, определяются собственниками (владельцами) этих сетей. Если выделенные сети соответствуют требованиям, установленным для сети электросвязи ОП, они могут быть присо-

единены к сети электросвязи ОП с переводом их в категорию сети электросвязи ОП.

Технологические сети электросвязи предназначены для обеспечения потребностей внутренней деятельности юридических лиц, управления технологическими процессами.

При наличии свободных ресурсов технологической сети ее часть может быть присоединена к сети электросвязи ОП для возмездного оказания услуг электросвязи с переводом ее в категорию сети электросвязи общего пользования. Такое присоединение допускается:

– если часть технологической сети электросвязи, предназначенная для присоединения к сети электросвязи ОП, может быть технически или физически отделена от технологической сети электросвязи;

– если присоединяемая часть технологической сети электросвязи соответствует требованиям, установленным для сети электросвязи ОП.

Учет расходов по эксплуатации технологической сети электросвязи и ее части, присоединенной к сети электросвязи общего пользования, ведется раздельно.

Сети электросвязи специального назначения предназначены для обеспечения нужд государственного управления, национальной безопасности, обороны, охраны правопорядка, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и не могут использоваться для возмездного оказания услуг электросвязи.

Порядок взаимодействия сетей электросвязи специального назначения с сетью электросвязи ОП устанавливается законодательством.

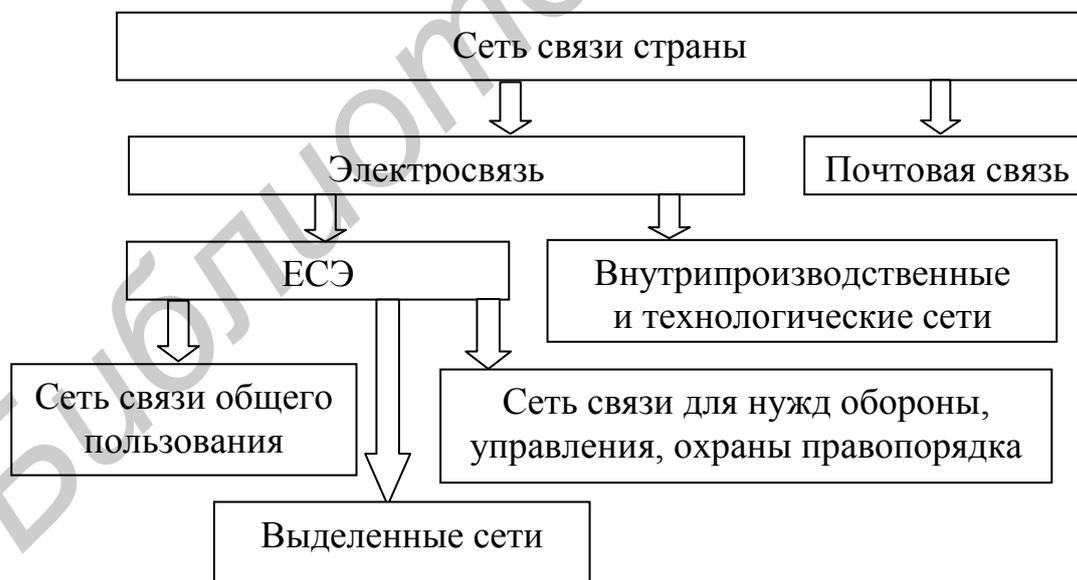


Рисунок 1.1 – Общая структура сети связи РФ

ЕСЭ РФ базируется на принципе организационно-технического единства, основа которого состоит в:

- проведении единой технической политики;
- применении единого комплекса максимально унифицированных технических средств;
- единой номенклатуре типовых каналов и сетевых групповых трактов.

По функциональному принципу сети электросвязи делятся на транспортные сети и сети доступа.

Транспортная сеть – та часть сети, которая выполняет функции высококачественной, бесперебойной и прозрачной транспортировки (переноса) информации в виде стандартных или нормализованных цифровых потоков от источников из одной сети доступа к получателям другой сети доступа.

Сеть доступа – та часть сети, которая связывает источник (приемник) сообщений с узлом доступа, являющимся граничным между сетью доступа и транспортной сетью. Наряду с передачей пользовательской информации обеспечивает управление передачей и коммутацией (обмен сигналами сигнализации, управления, маршрутизации вызовов).

По способам организации каналов сети разделяются на первичные и вторичные (рисунок 1.2).

Первичные сети, в соответствии с определением, предназначены для организации и предоставления во вторичные сети (ВС) сетевых трактов и каналов передачи. На основе типовых сетевых трактов и типовых каналов передачи первичной сети с помощью сетевых узлов и станций коммутации организуются вторичные сети для транспортировки, коммутации и распределения сигналов в службах электросвязи. ВС являются специализированными и предназначены для передачи определенных видов информации.

На базе вторичных сетей организуются системы электросвязи, осуществляющие электросвязь определенного вида и включающие в себя собственно вторичную сеть и соответствующие подсистемы нумерации, сигнализации, учета стоимости, технического обслуживания и управления.

Система электросвязи может включать одну или несколько служб ЭС и одну или несколько сетей ЭС.

Служба ЭС – организационно-техническая структура на базе сети связи, обеспечивающая обслуживание связью пользователей с целью удовлетворения их в определенном наборе услуг ЭС. На сегодняшний день перечень основных услуг ЭС включает:

- интерактивную речь;
- передачу изображений в реальном времени;
- электронную почту;
- поиск мультимедийных документов;
- видео по требованию;
- интерактивное видео;
- передачу данных для совместной работы ПК;
- сбор и распределение информации вещательного телевидения, радио, данных;

- мобильную связь;
- многоточечный поиск в реальном времени.

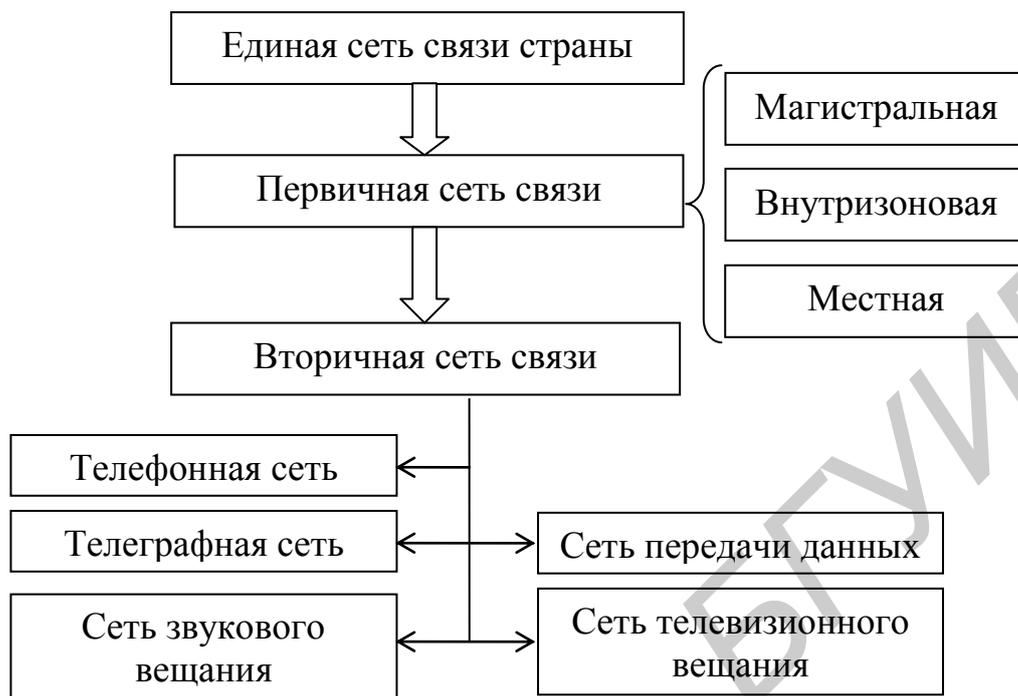


Рисунок 1.2 – Классификация сетей по способам организации каналов

По территориальному признаку сети связи делятся на:

- международные – сети связи, технологически сопряженные с сетями связи других государств;
- междугородные (магистральные) – сети связи, технологически сопряженные между центром РБ и областными центрами;
- зонавые (региональные) – сети связи, технологически сопряженные в пределах одной области;
- местные (городские и сельские) – сети связи, технологически сопряженные в пределах административной территории.

В современных условиях все чаще понятия первичная сеть и транспортная сеть обозначают одно и то же.

К транспортной сети, как в свое время к первичной, предъявляются следующие требования:

- соединение устанавливается нечасто и на длительное время;
- соединение должно обеспечивать передачу любого вида трафика;
- соединение должно обеспечивать высокий уровень защиты передаваемого трафика;
- соединение должно обеспечивать требуемое качество обслуживания.

Архитектура сети электросвязи определяет ее логическую организацию. Общая архитектура сети электросвязи ОП представлена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Общая архитектура сети электросвязи ОП

1.2 Перспективные направления развития сетей связи ОП

Сети связи ОП существуют более 100 лет и изменялись от аналоговых к цифровым, переходя от коммутации каналов к коммутации пакетов. В развитии архитектуры сетей связи ОП можно выделить два основных направления – конвергенция и гармонизация.

Конвергенция обеспечивает при развитии сетей совместное использование ресурсов с помощью всех возможных сетевых технологий:

- фиксированных;
- передачи данных;
- сотовых.

Гармонизация предоставляет возможность пользователю получать услуги в любой из перечисленных сетей единообразным способом.

Оба направления развития выливаются в конечном счете в концепцию сетей связи следующего поколения (Next Generation Network, NGN). Для существующих и проектируемых транспортных сетей связи, поддерживающих технологии коммутации каналов, разработаны и широко применяются нормы на параметры, которые обеспечивают удовлетворительное качество предоставляемых услуг. Более подробно эти нормы рассмотрены в следующих разделах данного пособия (2 и 3).

Сеть NGN рассматривается как сеть электросвязи ОП с пакетной коммутацией, так как пакетный способ передачи позволяет предоставлять единооб-

разно все виды услуг, обеспечивая гарантированный уровень качества (Quality of Service, QoS). При этом происходит дифференциация пользователей по классам гарантированного уровня качества QoS. Обеспечение в сети соответствующего уровня качества QoS требует разработки и обеспечения новых количественных объективно измеряемых показателей качества, к которым относятся средняя задержка при передаче пакетов, девиация задержки пакетов, процент потери пакетов и т. д.

В последнее время ведутся дополнительные исследования в области проблем обеспечения качества и предлагается ввести новую метрику качества – качество восприятия – Quality of Experience – QoE, которая включает как объективно измеряемые показатели качества, так и субъективные показатели – степень удовлетворения пользователя контентом, предлагаемым провайдером.

Если средняя экспертная оценка (Mean Opinion Score, MOS) разрабатывалась для субъективной оценки качества при передаче речи, то QoE определяют методы измерения и мониторинга параметров качества при передаче всех видов информации по сетям с КП.

Особенности развития и проектирования сетей связи в современных условиях связаны с решением следующих задач:

- обеспечение высокой конкурентоспособности проектируемой сети;
- эффективное применение комплекса технических средств, которые отражают новые технологические достижения в области телекоммуникаций;
- применение новых экономико-математических методов анализа и синтеза телекоммуникационных сетей для повышения их эффективности.

При решении первой задачи следует помнить, что не существует универсального решения, гарантирующего сетевому оператору постоянное «место под солнцем» на рынке инфокоммуникационных услуг. На этапе разработки системного проекта должны быть заложены важные функциональные свойства телекоммуникационной сети, которые позволят оперативно реагировать на требования инфокоммуникационного рынка, опираясь на прогностические оценки, учитывающие тенденции развития основных элементов телекоммуникационных систем и сетей.

Решение второй задачи требует учитывать обилие телекоммуникационных технологий, характеризующих современный этап развития телекоммуникаций, часть которых радикально меняет облик телекоммуникационных сетей. При проектировании сети для новых технологий необходимо искать подходящие системно-сетевые решения.

Для того чтобы телекоммуникационную сеть не нужно было бы полностью перестраивать каждые 5...7 лет, нужно постоянно следить за основными тенденциями в развитии сетевых и информационных технологий и постоянно вносить в программное и аппаратное обеспечение сети такие изменения, которые позволили бы плавно отрабатывать каждый резкий технологический поворот. То есть нужно правильно видеть стратегическое направление развития се-

ти, постоянно коррелировать его с направлениями развития в области телекоммуникаций.

Несмотря на проводимые комплексные исследования, на сегодняшний день отсутствует общая единая методика расчета телекоммуникационной сети следующего поколения. Это связано в первую очередь с отсутствием необходимого финансирования полноценных научно-исследовательских работ в области развития уже в сфере инфокоммуникаций. Новые научные результаты в области проектирования телекоммуникационных систем и сетей необходимы при решении следующих задач:

- оптимизация структуры сети. Здесь вместо задачи определения оптимальной структуры вновь создаваемой сети необходимо решать задачу эффективной эволюции существующей работающей сети, так как большинство сетей уже создано и эксплуатируется;

- проектирование в сети связи ОП по критерию экстремума выбранного экономического показателя (максимизация прибыли, минимизация капитальных затрат) при соблюдении норм, установленных для основных технических характеристик сети: поддерживаемые услуги, качество обслуживания и т. д.

В настоящем пособии подробно рассматриваются вопросы проектирования и нормирования параметров качества транспортных сетей электросвязи общего пользования, которые в литературе часто называют транспортными телекоммуникационными сетями.

1.3 Общие принципы планирования и проектирования транспортных сетей телекоммуникаций. Основные виды и этапы планирования

Развитие транспортных сетей обусловлено динамическими процессами роста потребностей пользователей в передаче информации. Внедрение научных методов в область проектирования сетей связи, взаимопроникновение различных по своей природе телекоммуникационных технологий, необходимость в предоставлении новых, возможно, еще неизвестных видов услуг требует обширных и достоверных прогнозов. Правильный прогноз позволяет с самого начала выбрать емкость и соответствующую структуру сети без ее дальнейшей перестройки.

Планирование развития сети – совокупность методов и способов качественного и количественного сбора, группировки и обработки данных, необходимых для развития сети.

На этапе планирования транспортной сети решаются следующие задачи:

- определение количества и распределение мест расположения источников и приемников информации и их ожидаемый прирост;

- определение ожидаемых потоков нагрузки между узлами сети и их направленность;

- разработка оптимальных структур сетей с учетом соответствующего состояния техники и технологий;

– определение оптимальных этапов создания сетей для их экономической реализации;

– обеспечение требуемых параметров качества.

Глобальная цель планирования – заблаговременный выбор технических средств, обеспечивающих удовлетворение потребностей пользователей в передаче информации. При планировании сети должен быть найден компромисс между моментом возникновения потребностей, моментом их реализации и состоянием технического развития сети.

Суммирование потребностей в путях передачи для всех потребителей является основой для проектирования сети. Проектирование осуществляется с учетом всех результатов планирования.

Планирование сетей охватывает все виды деятельности, связанные с развитием сетей с целью обеспечения транспортировки прогнозируемых объемов трафика с учетом определенных требований и ограничений.

В зависимости от масштабов решаемых вопросов различают:

– долгосрочное планирование, основная задача которого – определение и оценка тех элементов сети, которые характеризуются длительным периодом использования и требуют больших инвестиций для развития сети (3–5 лет). Долгосрочное планирование используется для обновления результатов планирования, когда возникает необходимость в прогнозах при ожидаемом технологическом прорыве;

– среднесрочное планирование, основная задача которого – оценка состояния взаимодействия элементов сети (узлов и линий связи) и выполнение действий, направленных на обеспечение задач долгосрочного планирования, а именно: увеличение пропускной способности узлов и линий связи сети, учитывающее долгосрочную стратегию развития (3–12 месяцев);

– краткосрочное планирование, основная задача которого – определение маршрутов и систем передач, обеспечивающих удовлетворение текущих потребностей в трафике без дополнительных капиталовложений.

Наиболее интересным с точки зрения проектирования сети является долгосрочное планирование. Исходя из поставленных задач, основными объектами исследований при долгосрочном планировании являются:

– телекоммуникационные технологии;
– топология сети;
– направляющая система, обеспечивающая максимальную пропускную способность.

Долгосрочное планирование реализуется в два этапа (рисунок 1.4):

– стратегическое планирование – определение оптимальной телекоммуникационной технологии и архитектуры сети на основе метода «зеленого поля»;

– фундаментальное планирование – проектирование сети на основе результатов стратегического планирования с учетом реальных требований и ограничений.

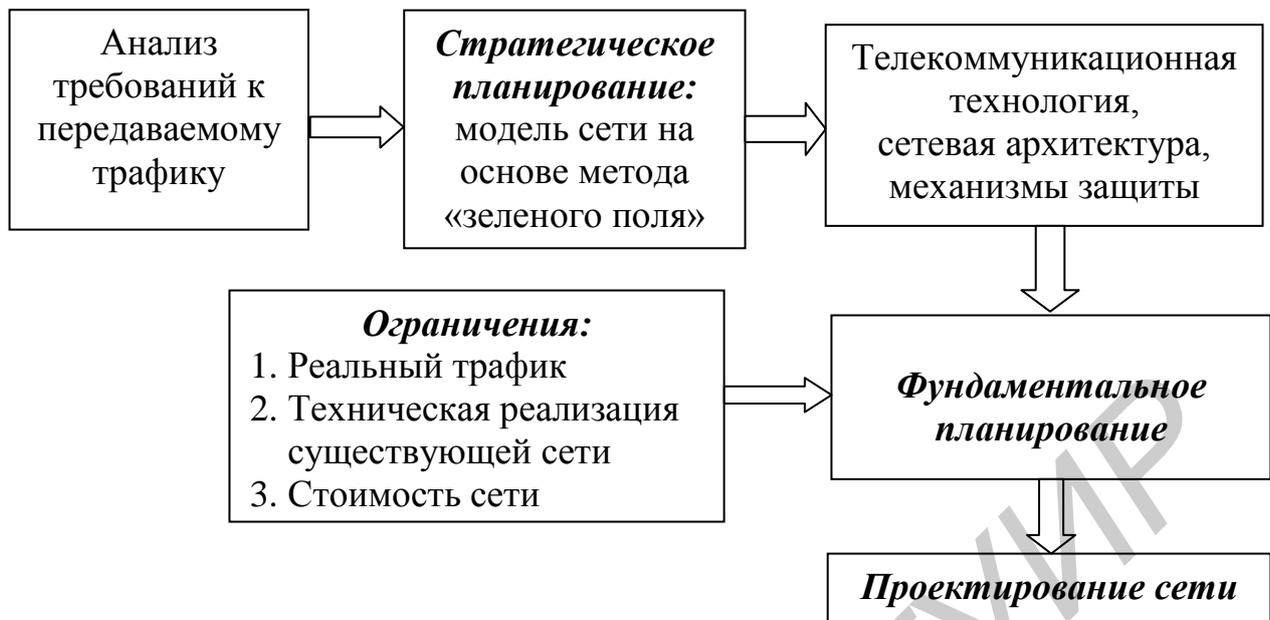


Рисунок 1.4 – Этапы долгосрочного планирования

Как уже отмечалось, архитектура сети связи определяет ее логическую организацию и рассматривается как совокупность сетевых элементов, процедур, протоколов передачи информации, принципов сетевого управления, определяющих пропускную способность сети, в то время как сетевая топология описывает физические и логические связи между территориально разнесенными узлами сети и позволяет создавать множество конфигураций.

Процесс планирования начинается с анализа исходных данных и заканчивается определением необходимых характеристик сети.

К исходным данным при планировании сети относятся:

- существующие физическая и логическая топологии сети;
- технические особенности используемого оборудования;
- текущая схема распределения трафика;
- требования к надежности и безопасности;
- доступность программного и аппаратного обеспечения – экономические аспекты.

Можно выделить следующие основные этапы планирования:

- определение существующей и планируемой загрузки сети, видов и объемов предоставляемых услуг;
- определение среды передачи и выбор телекоммуникационной технологии;
- оптимизация топологии сети с учетом долгосрочного планирования;
- маршрутизация трафика – выбор оптимальных маршрутов для каждого вида трафика. С учетом особенностей проектируемой сети в качестве критериев оптимальности выбираются: минимальная протяженность тракта, минимальная протяженность участка, минимальное количество транзитных узлов, максимальная пропускная способность, максимальное разделение составных трактов.

При необходимости учитывается коэффициент тяготения, определяемый на основе социально-экономического и культурного развития населенных пунктов проектируемой сети;

- обеспечение требуемой надежности сети, заключающееся в выборе соответствующих механизмов защиты и восстановления: защита мультиплексорной секции, защита тракта, защита трафика, динамическое восстановление сети на основе системы управления сетью, защита оборудования и пр.;

- группирование трафика – определение структуры уровней многоканальной передачи: группирование из конца в конец, группирование трактов, сегментное группирование;

- реализация сети – выбор оборудования, максимально решающего все поставленные на этапе планирования задачи: тип и объем оборудования, устанавливаемого в узлах сети, выбор интерфейсов проектируемой сети и для подключения к другим сетям и оборудованию пользователя;

- определение стоимости сети и ее оптимизация по качественным и стоимостным характеристикам.

Результатом планирования и проектирования должна стать сеть, отвечающая определенным требованиям по следующим параметрам:

- пропускная способность;

- прозрачность по отношению к передаваемому трафику. Различают следующие уровни прозрачности: формат сигнала, скорость передачи, режим передачи, предоставление услуг. Полная прозрачность недостижима, поскольку ограничена условиями физической реализуемости;

- гибкость – способность сети приспосабливаться к изменениям объема и характера передаваемого трафика, а именно:

- способность передачи дополнительного трафика с использованием существующих сетевых ресурсов;

- способность передачи разнородного трафика;

- способность проведения быстрой реконфигурации сети (например, на основе выполнения кросс-соединений) для обеспечения услуг;

- способность к последующему развитию/расширению сети и к сетевому реструктурированию;

- поддержка гибкого использования сетевых ресурсов.

- гибкость в отношении управляемости (например, операции управления, администрирования и обслуживания для выполнения сетевой реконфигурации);

- связность – способность сети устанавливать соединение независимо от состояния сети (наличия одиночных и множественных повреждений). Полная связность означает, что соединение между двумя компонентами сети может быть установлено в любой момент;

- готовность сети (коэффициент готовности) – доля времени, в течение которого сеть может быть использована по назначению, повышается путем использования различных механизмов защиты и восстановления;

– расширяемость – возможность наращивания сегментов сети и замены оборудования в узлах сети;

– масштабируемость – наращивание количества сетевых узлов и протяженности трактов (изменение емкости и функциональности сети) без уменьшения пропускной способности в сегментах сети и необходимости замены уже установленного оборудования;

– передача разнородного трафика без потери качества. Различный трафик по разному чувствителен к задержкам, потере данных, имеет разный коэффициент пульсаций, таким образом каждый тип трафика должен получить обслуживание в соответствии с его спецификацией;

– управляемость сети – возможность централизованно осуществлять конфигурацию, наблюдение, контроль и управление как каждым сетевым элементом, так и сетью в целом, включая управление трафиком.

2 НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ И ГРУППОВЫХ ТРАКТОВ

2.1 Классификация норм на параметры качества

Современный инженер должен не только владеть навыками проектирования сети, но и уметь рассчитывать нормы на те или иные сетевые параметры в соответствии с имеющимися нормативными документами, что в конечном итоге позволяет сетевым операторам обеспечивать предоставление пользователям услуг с заданным качеством.

В настоящее время для каналов и трактов цифровых сетей связи разработаны нормы на следующие важнейшие параметры, определяющие качество передачи:

- нормы на показатели ошибок;
- нормы на показатели дрожания и дрейфа фазы;
- нормы на показатели проскальзывания;
- нормы на время распространения в каналах;
- нормы на показатели надежности.

Показатели ошибок являются основным фактором, определяющим возможность ввода в эксплуатацию новых цифровых сетей или их фрагментов.

Знание показателей ошибок позволяет понимать обоснованность требований технического задания (при проектировании сети) и облегчает реализацию проектных решений. Инженер должен уметь рассчитывать допустимые значения показателей ошибок для проектируемой сети.

В целом показатели ошибок зависят от ряда факторов и классифицируются следующим образом (рисунок 2.1):

- по типу используемого тракта (наземный или спутниковый);
- по типу канала и скорости передачи;
- по условиям эксплуатации (долговременные и оперативные нормы);
- по методам измерений (с отключением и без отключения канала).

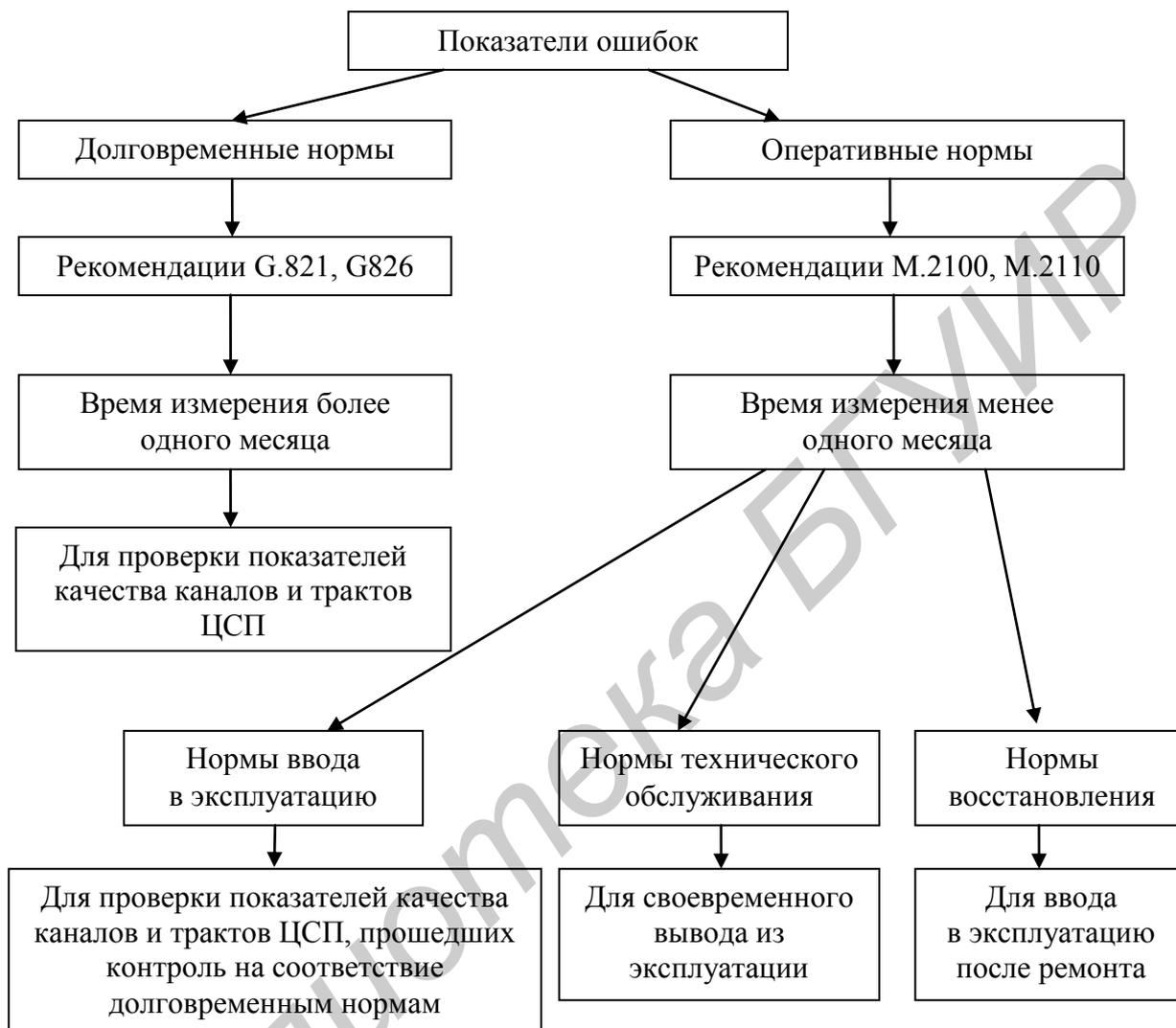


Рисунок 2.1 – Классификация норм на показатели ошибок

Как правило, показатели ошибок для ОЦК определяются в режиме с отключением канала от полезной нагрузки, для каналов и трактов PDH как в режиме с отключением от полезной нагрузки, так и без отключения, для каналов и трактов SDH – без отключения от нагрузки. В рамках пособия рассмотрено нормирование показателей ошибок для наземных цифровых каналов и трактов.

2.2 Условный эталонный тракт и номинальная цепь основного цифрового канала

При построении цифровых сетей связи предъявляются определенные требования к трактам, используемым при организации цифровых соединений. При нормировании показателей ошибок за основу принят условный эталонный тракт (УЭТ) (Hypothetical Reference Connection, HRC) основного цифрового канала с пропускной способностью 64 Кбит/с (Рекомендация МСЭ-Т G.821).

УЭТ имеет разбивку по степеням качества и состоит из участка высшего качества максимальной протяженностью 25000 км и участков среднего и местного качества на каждом конце соединения протяженностью по 1250 км каждый. Нормы на параметры качества в УЭТ распределяются следующим образом: 40 % – на участок высшего качества, 15 % – на каждый из участков среднего и местного качества. Структура УЭТ ОЦК представлена на рисунке 2.2.

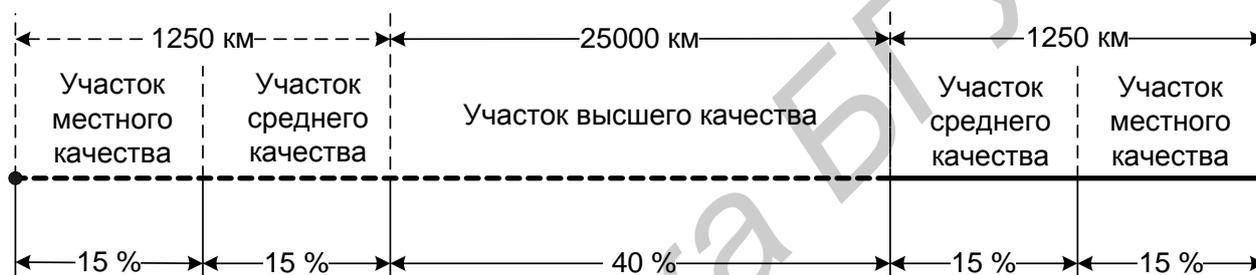
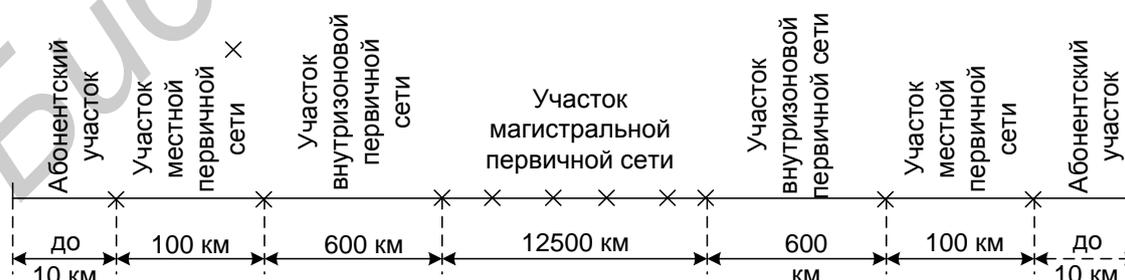


Рисунок 2.2 – Структура условного эталонного тракта ОЦК

Для нормирования параметров типовых каналов и групповых трактов в рамках отдельного государства, как правило, используется номинальная цепь.

Номинальная цепь (НЦ) – цифровой тракт определенной длины с установленным количеством оконечного и промежуточного оборудования. Конфигурация номинальной цепи отображает оборудование формирования типовых каналов и трактов оконечных и промежуточных (транзитных) пунктов.

Структура номинальной цепи ОЦК представлена на рисунке 2.3.



× Точки транзита по тональной частоте

Рисунок 2.3 – Структура номинальной цепи ОЦК

В состав НЦ ОЦК входят:

- участок магистральной первичной сети (ПС) протяженностью 12500 км;
- два участка внутрizonовой ПС протяженностью 600 км каждый;
- два участка местной ПС протяженностью 100 км каждый.

Максимальная протяженность НЦ ОЦК составляет 13 900 км при максимальном числе транзитов по тональной частоте 10, из которых четыре – на участке магистральной первичной сети, два – на участке внутрizonовой первичной сети, четыре – на участке местной первичной сети.

При установлении норм на параметры ошибок составных частей НЦ используются следующие правила:

- абонентский участок рассматривается как участок низкого качества, на него отводится 15 % норм;
- местные и внутрizonовые участки первичной сети составляют участок среднего качества и доля норм (15 %) поровну распределяется между ними (по 7,5 %);
- на участок магистральной первичной сети отводится часть норм для участка высшего качества, пропорциональная отношению длин национальной (12500 км) и международной (25000 км) цепей, что составляет 20 % от общей нормы УЭТ.

Основной параметр, определяющий качество связи – коэффициент ошибки. Допустимую вероятность ошибки для различных участков цифровой первичной сети можно определить, исходя из следующих требований:

- цифровые каналы должны обеспечивать возможность организации международной связи;
- вероятность ошибки при передаче речевого сигнала между двумя абонентами в цифровом виде со скоростью 64 Кбит/с не должна превышать 10^{-6} , что обеспечивает приемлемое качество телефонной связи (показано в п. 2.3).

2.3 Определение допустимого коэффициента ошибки в ОЦК

При нормировании параметров цифровых каналов и трактов за основу, как уже отмечалось, принимаются параметры ОЦК. Возникающие в линейном тракте ошибки при приеме отдельных элементов цифрового сигнала приводят к искажениям восстановленного в процессе цифро-аналогового преобразования (ЦАП) речевого сигнала, которые оцениваются отношением сигнал/шум (ОСШ). Определим связь между коэффициентом ошибки в линейном тракте p и ОСШ на выходе ЦАП. Для этого воспользуемся следующими параметрами речевого сигнала и аналого-цифрового преобразования (АЦП):

U_c – действующее напряжение речевого сигнала, В;

U_m – амплитудное напряжение речевого сигнала, соответствующее напряжению ограничения АЦП, В;

$k_{\text{п}}$ = U_m/U_c – пик-фактор речевого сигнала;

m – число разрядов кодовой комбинации (разрядность АЦП);

$L = 2^m$ – количество уровней квантования речевого сигнала;

$\Delta = 2U_m/2^m$ – шаг квантования;

$P_c = U_m^2/k_n^2$ – средняя мощность речевого сигнала на сопротивлении 1 Ом.

Если i -й символ в m -разрядной кодовой комбинации принят ошибочно, то при декодировании сигнала напряжение ошибки составит

$$U_i = 2^{i-1}\Delta, \text{ В,}$$

а мощность шума на сопротивлении 1 Ом будет равна

$$P_{\text{ш}} = \sum_{i=1}^m U_i^2 p_i = \sum_{i=1}^m 4^{i-1} \Delta^2 p_i, \text{ Вт,}$$

где p_i – вероятность ошибочного приема i -го символа кодовой комбинации.

Как правило, коэффициент ошибки в линейном тракте ЦСП, работающих по направляющим системам, очень мал ($p_{\text{ош}}=10^{-8\dots-12}$). В кодовых словах отдельных основных цифровых каналов будут появляться единичные ошибки, при этом вероятность искажения i -го символа кодовой комбинации не будет зависеть от номера разряда и будет численно равна коэффициенту ошибок линейного тракта $p_i \sim p_{\text{ош}}$. С учетом этого условия можно записать, что мощность шума будет равна:

$$P_{\text{ш}} = p\Delta^2 \sum_{i=1}^m 4^{i-1} = p\Delta^2 \frac{4^m - 1}{3}.$$

Тогда отношение сигнал/шум после ЦАП при наличии ошибок в линейном тракте будет

$$\text{ОСШ} = 10\lg P_c/P_{\text{ш}} = 10\lg(3/(4pk_n^2)), \text{ дБ.}$$

Значения ОСШ при величине пик-фактора $k_n = 12$ дБ в зависимости от коэффициента ошибки линейного тракта приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения ОСШ в зависимости от коэффициента ошибки линейного тракта

p	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
ОСШ, дБ	26,75	36,75	46,75	56,75	66,75	76,75	86,75

При передаче речевого (телефонного) сигнала ошибки, возникающие в линейном тракте, проявляются для абонента в виде щелчков. Для сохранения удовлетворительного качества (ОСШ > 40 дБ) можно допустить в телефонном канале не более одного щелчка в минуту, что для ОЦК соответствует допустимой вероятности битовой ошибки 10^{-6} в УЭТ протяженностью 27 500 км. Эта вероятность ошибки всегда должна обеспечиваться при проектировании цифровых трактов.

Для каждого из участков первичной сети, являющейся частью УЭТ, допустимый коэффициент ошибок устанавливается равным 10^{-7} .

Коэффициент ошибки в пересчете на 1 км линейного тракта для отдельных участков первичной сети нормируется следующим образом:

- магистральный участок – $p_{\text{маг}} = 10^{-7}/12500 = 8 \cdot 10^{-12}$;
- внутрizonовый участок – $p_{\text{вз}} = 10^{-7}/600 = 1,67 \cdot 10^{-10}$;
- местный участок – $p_{\text{м}} = 10^{-7}/100 = 1 \cdot 10^{-9}$.

В соответствии с этими значениями оцениваются требования к линейным регенераторам ЦСП на участках первичной сети.

2.4 Параметры качества ОЦК

В течение длительного времени единственным параметром ошибок для ОЦК являлся коэффициент ошибок по битам (Bit Error Ratio, BER) – отношение числа неправильно принятых битов к общему числу принятых битов в течение интервала наблюдения. Однако этот параметр пригоден для оценки качества передачи, если в тракте преобладают случайные одиночные ошибки. В случае, когда ошибки могут образовывать пакеты, используются для оценки дополнительные параметры, определенные в рекомендации МСЭ-Т G.821.

В качестве основных показателей для нормирования ошибок в ОЦК используются:

- секунда с ошибками (Errored Second, ES) – период в одну секунду, в течение которого наблюдалась хотя бы одна ошибка;

- коэффициент секунд с ошибками (Errored Second Ratio, ESR) – отношение числа секунд с ошибками к общему числу секунд в период готовности за интервал измерения;

- секунды, пораженные ошибками (Severely Errored Second, SES) – период в одну секунду, в течение которого коэффициент ошибок по битам $\text{BER} > 10^{-3}$;

- коэффициент секунд, пораженных ошибками (Severely Errored Second Ratio, SESR) – рассчитывается только для времени готовности канала и определяется как отношение числа секунд, пораженных ошибками, к общему числу секунд за интервал измерения.

В соответствии с рекомендацией G.821 предусмотрено деление времени работы канала на два периода – готовности (Available Second, AS) и неготовности (Unavailable Second, UAS) канала (рисунок 2.4, а). Период неготовности канала – период, начинающийся с 10 последовательных секунд, пораженных ошибками (SES), и заканчивающийся до 10 последовательных секунд без SES, которые уже относятся к периоду готовности. Нормирование качества производится только в период готовности канала. Период неготовности для двухстороннего канала – это период, когда хотя бы одно из направлений находится в состоянии неготовности (рисунок 2.4, б).

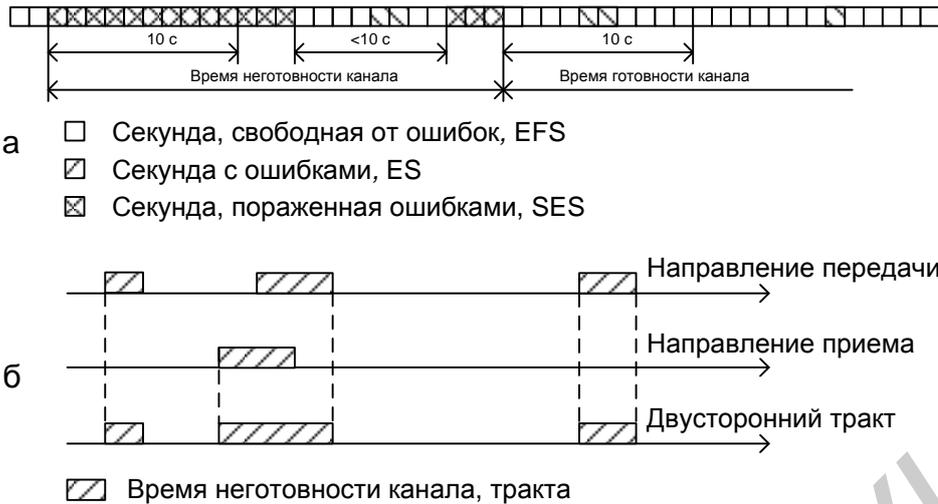


Рисунок 2.4 – К определению времени неготовности одностороннего и двустороннего тракта

Алгоритм определения параметров ОЦК: времени готовности и неготовности канала, а также подсчет секунд с ошибками (ES) и секунд, пораженных ошибками (SES), приведен на рисунке 2.5. При этом надо помнить, что SES являются частью ES.

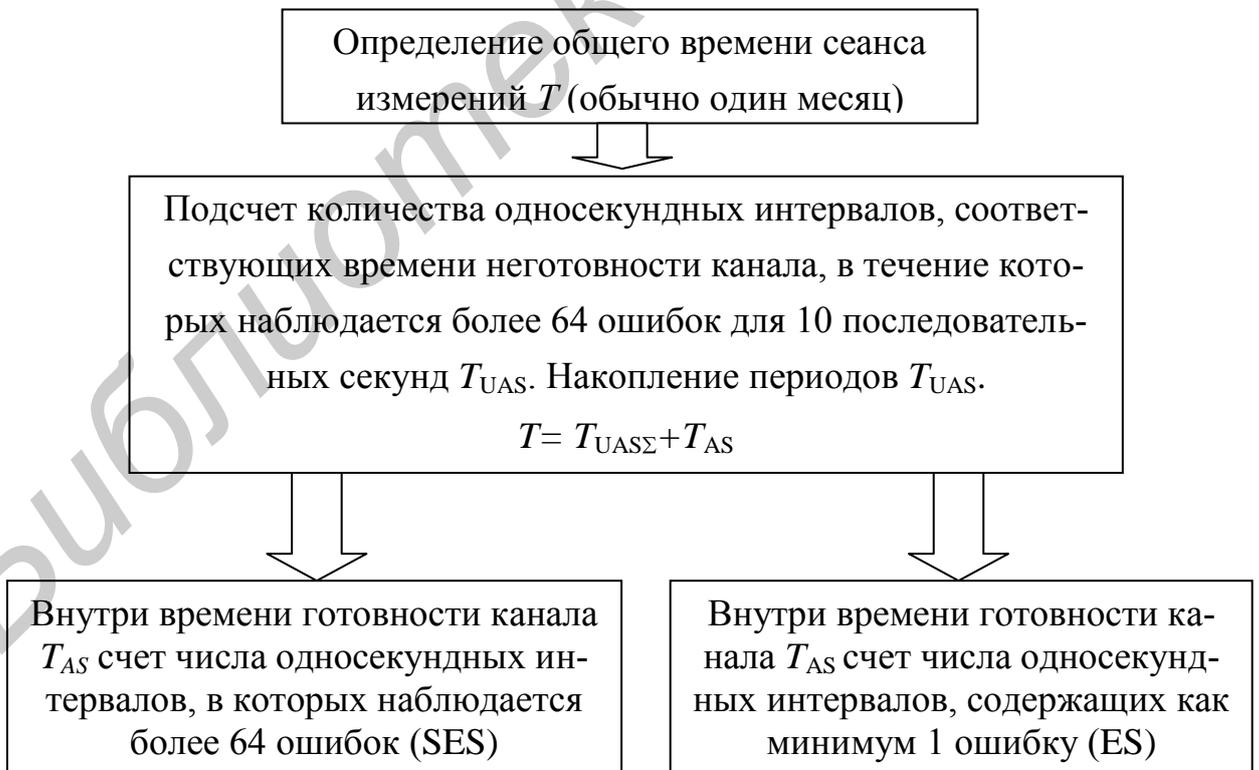


Рисунок 2.5 – Алгоритм определения параметров ОЦК

2.5 Нормирование параметров качества ОЦК

При расчете непосредственно параметров ОЦК за основу взяты нормы на показатели качества для цифрового условного эталонного тракта (УЭТ) протяженностью 27500 км (Рекомендации МСЭ-Т G.821), приведенные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Нормы на параметры качества УЭТ ОЦК

Параметр	Норма	Примечание
Секунды с ошибками	$\frac{ES}{T_{AS}} < 8 \%$	Менее 8 % односекундных интервалов должны иметь ошибки или не менее чем в 92 % измерений при оценке односекундных интервалов должны отсутствовать ошибки.
Секунды, пораженные ошибками	$\frac{SES}{T_{AS}} < 0,2 \%$	Менее 0,2 % односекундных интервалов должны иметь коэффициент ошибок $k_{ош} > 10^{-3}$ или не менее чем в 99,8 % измерений при оценке односекундных интервалов должно быть не более 64 ошибок.

В соответствии с данными таблицы 2.2 определяется часть общих норм на параметр качества, отведенная на отдельный участок НЦ ОЦК. Пересчет норм на участки НЦ ОЦК приведен в таблице 2.3. Таким образом, нормируется процент измерений, в которых число ошибок может превышать некоторое заданное пороговое значение. Нормы на параметры ошибок НЦ ОЦК рассчитываются без учета абонентских участков на обоих концах соединения.

Таблица 2.3 – Пересчет норм параметров ошибок на участки НЦ ОЦК

Участок	Номинальная протяженность, L_n , км	Норма, %	Значение показателя качества	
			SESR, %	ESR, %
Международное соединение	27500	100	0,2	8
НЦ ОЦК *	13900	50	0,1	4
Магистральный участок ПС	12500	20	0,04	1,6
Внутризоновый участок ПС	600	7,5	0,015	0,6
Местный участок ПС	100	7,5	0,015	0,6
Абонентский участок	до 10	15	0,03	1,2

* – без учета абонентского участка

При протяженности участка менее номинальной (L_n), расчет норм на показатели качества проводится по формуле

$$\alpha = \alpha_n(L/L_n),$$

где α_n – номинальное значение показателя качества соответствующего участка (см. таблицу 2.3);

L и L_n – реальная и номинальная протяженности соответствующего участка, км.

2.6 Показатели качества для цифровых сетевых трактов

Для цифровых сетевых трактов характерно определение показателей качества в режиме без перерыва связи. Это возможно, если в цифровом групповом сигнале наряду с цикловой структурой организовано группирование в блоки. Блок – это последовательность бит, ограниченная по числу бит, относящихся к данному тракту; при этом каждый бит принадлежит только одному блоку. Количество бит в блоке зависит от скорости передачи. Блок с ошибками (Errored Block, EB) – блок, в котором один или несколько битов являются ошибочными.

С учетом группирования в блоки показатели ошибок для цифрового тракта нормируются по следующим показателям.

Секунда с ошибками (Errored Second, ES) – период в 1 секунду с одним или несколькими блоками, принятыми с ошибками.

Коэффициент секунд с ошибками (Errored Second Ratio, ESR) – отношение числа ES к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений.

Секунда, пораженная ошибками (Severely Errored Second, SES) – период в 1 секунду, содержащий более 30 % блоков с ошибками или, по крайней мере, один период с серьезными нарушениями (SDP).

Коэффициент секунд, пораженных ошибками (Severely Errored Second Ratio, SESR) – отношение числа секунд, пораженных ошибками, к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений.

Период с серьезными нарушениями (Severely Disturbed Period, SDP) – период длительностью, равной четырем смежным блокам, в каждом из которых коэффициент ошибок более 10^{-2} или в среднем за четыре блока коэффициент ошибок больше 10^{-2} , или наблюдалась потеря сигнальной информации. Является одним из критериев регистрации SES.

Блок с фоновой ошибкой (Background Block Error, BBE) – блок с ошибкой, не являющийся частью секунд, пораженных ошибками.

Коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками (BBER) – отношение числа блоков с фоновыми ошибками ко всему количеству блоков в течение интервала готовности за фиксированный интервал измерений за исключением всех блоков в течение SES.

Период неготовности для однонаправленного тракта – период, начинающийся с 10 последовательных секунд SES и заканчивающийся до 10 последовательных секунд без SES, которые относятся к периоду готовности. Период не-

готовности для двустороннего тракта соответствует периоду, когда хотя бы одно из направлений находится в состоянии неготовности.

Коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками ВВЕР позволяет косвенным образом оценить коэффициент ошибок по битам ВЕР для цифрового тракта. Достоверность такой оценки увеличивается с уменьшением коэффициента ошибок по битам. При $BER \approx 10^{-6} \dots 10^{-12}$ в блоках возникают случайные одиночные ошибки и можно предположить, что количество ошибочно принятых блоков приблизительно равно количеству ошибочно принятых битов. Если M – количество битов в блоке, то связь между двумя коэффициентами ошибок приближенно определяется выражением

$$ВВЕР = M \cdot ВЕР,$$

что позволяет в процессе мониторинга канала (в режиме без прекращения связи) контролировать качество передачи.

2.7 Нормирование параметров сетевых трактов

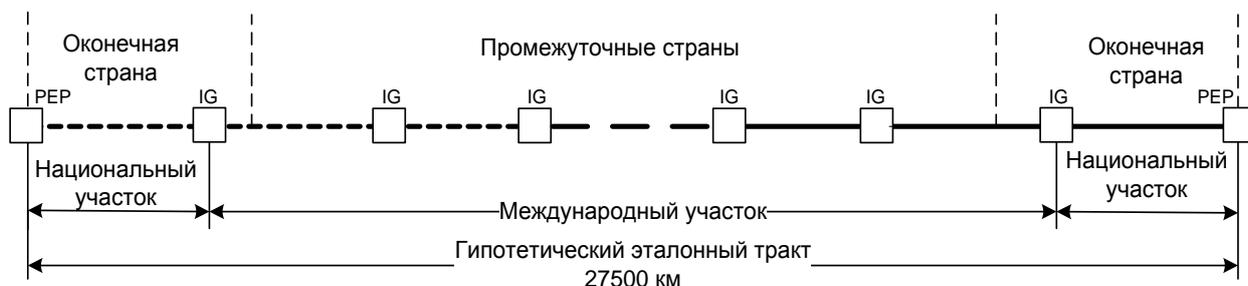
Нормирование параметров цифровых сетевых трактов производится в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т G.826, G.827, G.828, G.829, для которых характерно:

- развитие методологии, изложенной в Рекомендации G.821;
- применение к цифровым СП со скоростями выше 64 Кбит/с;
- учет иерархии скоростей передачи современных ЦСП плезиохронной (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH) и синхронной (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) цифровых иерархий;
- определение параметров качества в режиме без отключения канала.

В основу для нормирования параметров качества положен гипотетический эталонный тракт (Hypothetical Reference Path, HRP), в состав которого входят 2 национальных участка (national portion) и международный участок (international portion) между ними. Структура тракта представлена на рисунке 2.6. Общая протяженность гипотетического эталонного тракта – 27500 км.

Международный участок может проходить несколько транзитных стран и в этом случае будет состоять из транзитных участков и участков пересечения границ – международных шлюзов (International Gateway, IG). В качестве шлюза могут использоваться кросс-коннекторы, мультиплексоры, коммутаторы.

Цифровой тракт страны может принадлежать либо к транзитному участку, когда через него проходят международные связи стран, для которых данная страна является промежуточной, либо к национальному участку. Границей между национальным и транзитным участком является сетевой элемент – международный центр коммутации.



PEP – Path End Point – точка окончания тракта
 IG – International Gateway – международный шлюз

Рисунок 2.6 – Гипотетический эталонный тракт

Национальный участок включает в себя цифровые тракты участков доступа и цифровые тракты транспортной сети. Транзитный участок состоит только из трактов транспортной (магистральной первичной) сети.

Параметры качества для гипотетического тракта (долговременные нормы) в соответствии с Рекомендацией G.826 представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Параметры качества HRP в соответствии с Рекомендацией G.826

Скорость, Мбит/с	Тракт				
	1,5...5	5 ...15	15...55	55...160	160...3500
Размер блока	800...5000	2000...8000	4000...20000	6000...20000	15000...30000
ESR	0,04	0,05	0,075	0,16	–
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
BBER	0,0002 0,0003*	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001
* – для систем до 1996 г.					

Параметры ошибки для гипотетического тракта (долговременные нормы) в соответствии с Рекомендацией G.828 (для оборудования SDH выпуска после 2000 г.) представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Параметры качества HRP в соответствии с Рекомендацией G.828

Скорость, Мбит/с	Тракт				
	1,5...5	5 ...15	15...55	55...160	160...3500
Размер блока	800...5000	2000...8000	4000...20000	6000...20000	15000...30000
ESR	0,01	0,01	0,02	0,04	–
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
BBER	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Следует отметить, что в цифровых трактах измерение параметров ошибок производится по блокам, а не по битам, как для ОЦК. Точки окончания тракта соответствуют физическим интерфейсам, определенным в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.703.

Измерения по блокам в цифровых трактах возможны по схемам:

– без отключения канала от полезной нагрузки (в режиме мониторинга) с использованием встроенных в цифровой сигнал процедур;

– с отключением канала от полезной нагрузки и подключением генератора/анализатора цифровых потоков.

В таблице 2.6 приведены размеры блоков для трактов PDH и SDH с учетом тех встроенных процедур мониторинга, которые в них используются.

Таблица 2.6 – Размеры блоков для трактов PDH и SDH

Скорость, Мбит/с	Тракт	Количество бит в блоке	Процедура проверки
1,544	DS1	4632	CRC-6
2,048	E1	2048	CRC-4
6,312	DS2	3156	CRC-5
44,763	DS3	4760	SBPC
1,664	VC-11	832	ВІР-2
2,240	VC-12	1120	ВІР-2
6,884	VC-2	3424	ВІР-2
48,960	VC-3	6120	ВІР-8
150,336	VC-4	18 792	ВІР-8
601,344	VC-4-4с	75 168	ВІР-8
SBPC – Single Bit Parity Check ВІР – Bit Interleaved Parity			

Распределение норм на параметры качества для УЭТ осуществляется следующим образом. Национальный участок тракта является терминальным, на него как на неделимый участок отводится 17,5 % общей величины параметра качества (D_n).

К этой величине может быть добавлена часть норм на параметры качества d_n , зависящая от длины тракта в рамках национальной части сети. Значение длины может быть фактическим или определяться расстоянием по карте по прямой с учетом коэффициента маршрутизации (таблица 2.7). Вычисленная длина округляется до ближайшего большего числа, кратного 500 км ($n \times 500$). Каждые 500 км дают увеличение норм на 1 %.

Допустимая норма на национальный участок рассчитывается по формуле

$$D_N = D_n + d_n .$$

Минимальное расстояние национального участка – 500 км (после округления), что соответствует минимальной норме на один национальный участок – 18,5 %.

Таблица 2.7 – Коэффициент маршрутизации

Расстояние по прямой, км	Коэффициент маршрутизации	Вычисленная длина, км
$d < 1000$	1,5	$1,5 \times d$
$1000 < d < 1200$	$1500 / d$	1500
$d > 1200$	1,25	$1,25 \times d$

На международную часть распределяется часть от допустимых норм с учетом вида и протяженности участка. Международный участок состоит из 2 конечных и K транзитных участков. Доля норм на параметры качества для него рассчитывается как сумма:

$$D_M = 2 D_o + d_k + \sum_{k=1}^K D_t + d_k ,$$

где $D_t = 2 \%$ – постоянная величина, отводимая под каждую транзитную часть;

$D_o = 1 \%$ – постоянная величина, отводимая под каждую конечную часть;

d_k – переменная величина, пропорциональная длине международного участка, вычисляемая с учетом маршрутного коэффициента (см. таблицу 2.7). Для международного участка минимальная доля составляет 6 % (если рассчитанное значение норм меньше, то округляется до шести), максимальная протяженность международного участка – 26500 км, так как минимальное расстояние для национальных участков принято по 500 км. Максимальная доля норм на международный участок составляет 63 %.

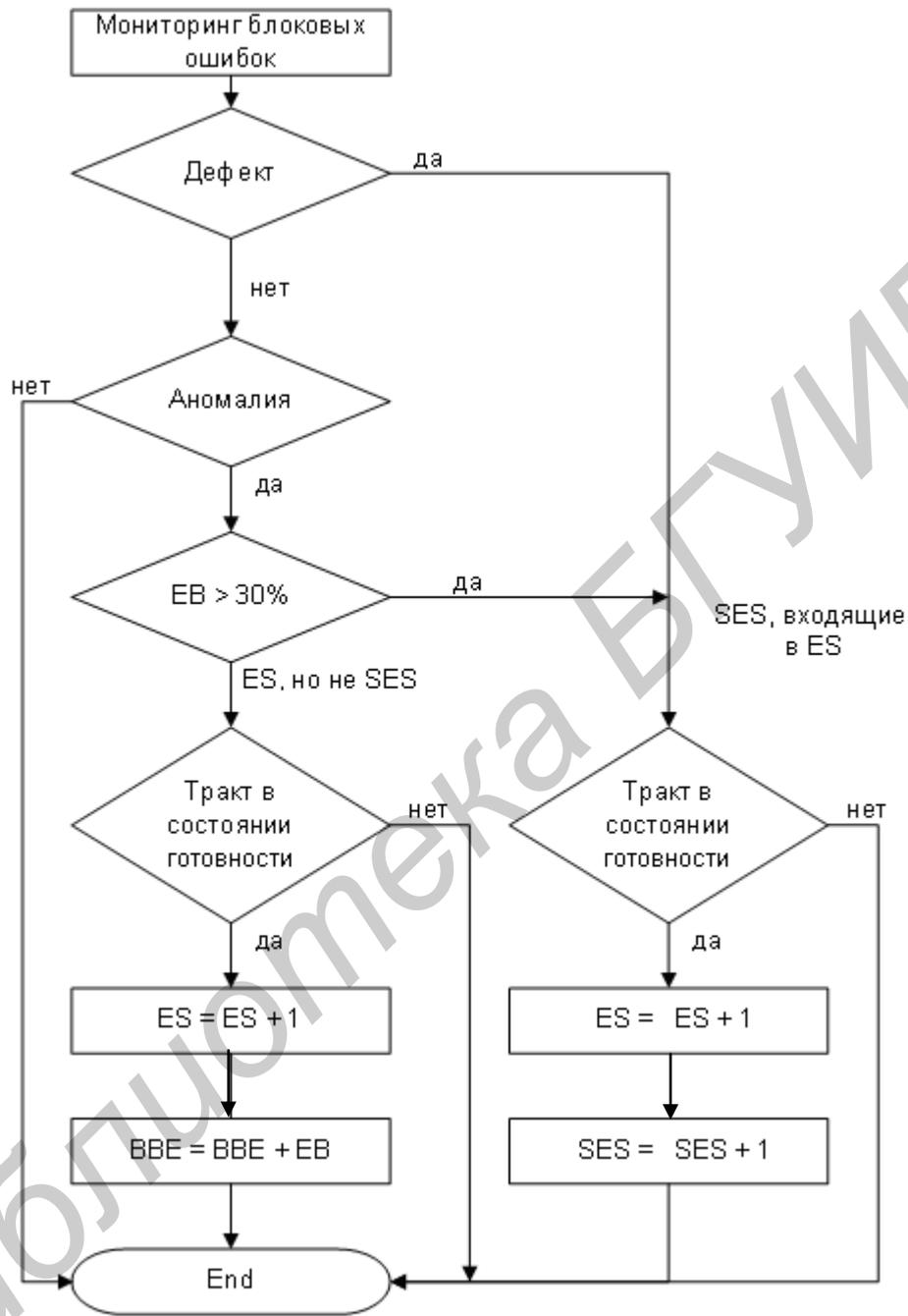
2.8 Оценка параметров показателей качества

При анализе параметров тракта показатели качества могут быть оценены с помощью событий, которые делятся на две группы: аномалии и дефекты.

Аномалии определяются как наименьшее отличие, которое может быть обнаружено между реальной и желательной характеристиками тракта. Одиночные аномалии не являются препятствием для выполнения требуемых функций и используются как входной сигнал в процессе мониторинга показателей качества трактов и определения его дефектов.

Дефекты соответствуют случаю, когда плотность вероятности возникновения аномалий достигает уровня, при котором выполнение функций прерывается. Дефекты используются как входной сигнал в процессе мониторинга и управления последовательностью действий оператора сети и определения причины повреждений.

Алгоритм определения параметров групповых трактов представлен на рисунке 2.7.



EB – число блоков с ошибками на односекундном интервале, не являющемся SES

Рисунок 2.7 – Алгоритм определения параметров групповых трактов

В соответствии с приведенными ранее определениями и указанным алгоритмом параметры тракта определяются по следующим формулам:

$$BBER = \frac{BBE}{T - T_{UAS} - SES B_{BL}}$$

$$ESR = \frac{ES}{T - T_{UAS}}$$

$$SESR = \frac{SES}{T - T_{UAS}}$$

где BBE – число блоков с фоновой ошибкой;
 SES – число секунд, пораженных ошибками;
 ES – число секунд с ошибками;
 B_{BL} – количество блоков в 1 секунду;
 T – общее время наблюдения;
 T_{UAS} – время неготовности канала.

В рекомендации МСЭ-Т G.828 вводится новое событие ошибок – период, пораженный ошибками (Severally Errered Period – SEP), определяемый как последовательность от трех до девяти последовательных секунд, пораженных ошибками (SES). На основе этого события определен новый показатель ошибок – интенсивность периодов, пораженных ошибками, (Severally Errered Period Intensity – SEPI) – число событий за время готовности, отнесенное к общему времени готовности в секундах.

Следует помнить, что рассчитанные в соответствии с требованиями Рекомендаций МСЭ-Т нормы на показатели ошибок должны выполняться в цифровых каналах и трактах одновременно по всем показателям. При невыполнении любого из показателей качества канала (тракта) признается неудовлетворительным. Рекомендуемый период оценки показателей – не менее одного месяца (долговременные нормы). Как уже отмечалось, проверка на соответствие долговременным нормам используется при проверке цифровых каналов и трактов новых систем передач или оборудования при сертификационных испытаниях.

2.9 Аномалии и дефекты для систем PDH

Для трактов на основе оборудования PDH в режиме без прекращения связи аномалии возникают при изменении элементов заголовков сигнала тракта относительно его нормального состояния без изменения состояния общего сигнала тракта от его нормального состояния (нет дефектов в процессе эксплуатации). Различают следующие виды аномалий:

A_1 — прием циклового синхросигнала с ошибками;

A_2 – блок с ошибкой, обнаруженный с помощью методов встроенного контроля (Bit Interleaved Parity-n, VIP-n – проверка на четность или Cyclic Redundancy Check-n, CRC-n – циклическое избыточное кодирование).

Для оперативных норм дополнительно определены следующие аномалии:

A_3 – нарушение стыкового кода;

A_4 – управляемое проскальзывание.

Дефекты в режиме без прекращения связи возникают при появлении отклонений сигнала тракта от нормального состояния:

D_1 – пропадание сигнала LOS (Loss of Signal);

D_2 – генерация сигнала индикации аварийного состояния AIS (Alarm Indication Signal);

D_3 – потеря цикловой синхронизации LOF (Loss of Frame).

Для генерации и сброса дефектов D_1 , D_2 используются следующие критерии.

Дефект LOS генерируется, если уровень входного сигнала на Q дБ меньше номинального для N ($10 < N < 255$) последовательных импульсных интервалов, или при пропадании сигнала на входе интерфейса в течение интервала времени T . Дефект LOS перестает генерироваться, если уровень сигнала становится на P дБ ниже номинального для N ($10 < N < 255$) последовательных импульсных интервалов. Значения параметров Q , P , T приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Критерии генерации и сброса дефекта LOS

Скорость передачи, Мбит/с	Q , дБ	P , дБ	T
2,048	35	9	5 мкс – 1 мс
8,448			1,3 мкс – 1 мс
34,368		15	0,3 мкс – 1 мс
139,264			36 нс – 1 мс

Дефект AIS производится по анализу структуры цифрового сигнала. Сигнал со всеми битами, кроме циклового синхросигнала (ЦСС), в состоянии «1» не должен быть ошибочно принят за AIS. Дефект AIS, когда вместо информационного сигнала принимается сигнал, состоящий из одних «1», генерируется в том случае, если входной сигнал имеет X или менее нулей в каждом из двух последовательных циклов, содержащих Y бит. Дефект AIS перестает генерироваться, если два последовательных цикла содержат Z или более нулей, или обнаружен ЦСС. Значения X , Y , Z приведены в таблице 2.9 для сигналов различных уровней иерархии, использующих как положительное, так и двустороннее согласование скоростей.

Таблица 2.9 – Критерии генерации и сброса дефекта AIS

Скорость передачи, Мбит/с	X , число нулей	Y , бит/цикл	Z , число нулей	Цикловой синхросигнал	Рекомендация МСЭ-Т
8,448	4	848	5	1111010000	G.742
34,368	4	1536	5	1111010000	G.751
34,368	5	2148	6	111110100000	G.753
139,264	4	954	5	1111010000	G.754
139,264	5	2928	6	111110100000	G.751

В зависимости от возможностей, заложенных в систему мониторинга системы передачи, различают три типа трактов:

- с цикловой и блоковой структурами. В таком тракте определяются все дефекты и все аномалии ($D_1, D_2, D_3; A_1, A_2$);

- с цикловой структурой. В таком тракте определяются аномалия A_1 и дефекты D_1, D_2, D_3 ;

- без цикловой структуры. В таком тракте определяются дефекты D_1, D_2 . Примером такого тракта может быть тракт для предоставления потребителю цифрового канала заданной пропускной способности.

При этом в тракте ES отмечается в случае, когда в течение одной секунды возникает хотя бы одна аномалия или один дефект; SES – когда в течение одной секунды возникает соответствующее количество аномалий или один дефект; VBE – когда аномалии возникают в блоке, не являющемся частью SES.

В режиме с прекращением связи аномалия возникает при изменении элементов испытательного сигнала относительно его нормального значения без изменения состояния общего испытательного сигнала. Аномалия проявляется появлением и регистрацией битовых ошибок.

Дефект с прекращением связи возникает при изменении состояния испытательного сигнала относительно его нормального состояния.

Испытательным сигналом для трактов PDH является псевдослучайная последовательность, которая может передаваться вместо стандартного сигнала тракта или встраиваться в него. Критерии оценки параметров ошибки в этом случае следующие:

- секунда с ошибками (ES) – односекундный интервал, содержащий ошибки (одну и более) или один дефект;

- секунда, пораженная ошибками (SES) – односекундный интервал с коэффициентом ошибок по битам $BER > 10^{-3}$;

- если псевдослучайная последовательность встраивается в сигнал, определяются дефекты: AIS, LOS, LOF;

- если псевдослучайная последовательность замещает сигнал, то определяются дефекты: AIS, LOS.

2.10 Аномалии и дефекты в трактах SDH

В трактах на основе систем передачи SDH аномалии и дефекты определяются в режиме эксплуатации. Аномалии (A_1) определяются как блок с ошибками, определенный с помощью встроенной процедуры VIP-n (Bit Interleaved Parity-n).

Перечень дефектов, являющихся следствием SES, для трактов высшего и низшего порядков на ближнем и дальнем концах приведен в таблице 2.10.

Секционные дефекты (потеря оптического сигнала (STM LOS), потеря цикловой синхронизации (STM LOF), генерация сигнала индикации аварийного

состояния на уровнях мультиплексорной (MS AIS) и регенераторной (RS AIS) секций и пр.) определяются как дефекты AIS на уровне тракта.

Для трактов SDH параметры показателей ошибок определяются следующими событиями:

ES – регистрируется, если в течение односекундного интервала отмечается одна аномалия A_1 или один дефект.

SES – регистрируется, если в течение одной секунды отмечается 30 % блоков с ошибками (таблица 2.10) или один дефект.

BBE – регистрируется, если обнаружена аномалия A_1 в блоке, который не является частью SES.

Таблица 2.10 – Дефекты, являющиеся следствием SES

Тип тракта	Дефекты на ближнем конце	
Тракт низшего порядка	LP UNEQ	нет индикации типа нагрузки (LO Path Unequipped VC indication (VC1/VC2))
	LP TIM	потеря идентификатора трассы (Trace Identifier Mismatch)
	TU LOP	потеря указателя TU (Loss of TU pointer)
	TU AIS	AIS компонентного блока: принимаются – все «1»
	TU LOM	потеря сверхцикла TU (Loss of TU multiframe)
Тракт высшего порядка	HP PLM	потеря идентификатора типа нагрузки (HO Path Payload Label Mismatch)
	HP UNEQ	нет индикации типа нагрузки (HO Path Unequipped VC indication (VC3/VC4))
	HP TIM	потеря идентификатора трассы (Trace Identifier Mismatch)
	AU LOP	потеря указателя административного блока AU (Loss of AU pointer)
	AU AIS	AIS административного блока: принимаются – все «1»
Дефекты на дальнем конце		
Тракты низшего и высшего порядков	LP RDI	являются следствием SES на дальнем конце соответственно для трактов высшего и низшего порядков (Remote Defect Indication)
	HP RDI	

Для идентификации события на дальнем конце используются извещения об удаленной аварии (Remote Defect Indication – RDI) и об удаленной ошибке (Remote Errors Indication REI). Пороговые значения для определения SES в трактах SDH приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Пороговые значения для определения SES в трактах SDH

Тип тракта	Число блоков в секунду	Пороговое значение для SES
VC-11	2000	600
VC-12	2000	600
VC-2	2000	600
VC-3	8000	2400
VC-4	8000	2400

2.11 Оперативные нормы на показатели ошибок

Для того чтобы убедиться в том, что система или тракт соответствует нормам на качественные показатели, необходимо провести непрерывные измерения в течение длительного периода времени. В рекомендациях МСЭ-Т G.826, G.828, G.829 приведены нормы, которые требуют длительного измерения в течение не менее одного месяца, что не всегда целесообразно как при вводе оборудования в эксплуатацию, так и в процессе эксплуатации. Поэтому были разработаны оперативные нормы на показатели ошибок, представленные в рекомендациях МСЭ-Т М.21хх. Основой определения оперативных норм для каналов и трактов являются общие расчетные нормы на показатели ошибок для условного эталонного тракта протяженностью 27500 км, однако время испытаний может составлять от 15 мин до 1 сут. Уменьшение времени испытаний увеличивает неопределенность, которую необходимо учитывать при интерпретации результатов. В связи с этим значения эталонных норм на качественные показатели выбраны так, чтобы была уверенность в удовлетворении долговременным нормам. Оперативные нормы основаны на измерении характеристик ошибок по двум показателям (ESR и SESR) для трактов PDH и по всем трем показателям для трактов SDH (таблица 2.12) и составляют, как правило, 50 % от соответствующих долговременных норм на показатели ошибок.

Оперативные нормы регламентированы рекомендациями МСЭ-Т М.2100, М.2101 и предназначены для использования при текущем контроле находящихся в эксплуатации цифровых каналов и трактов.

Оперативные нормы относятся к экспресс нормам и рассчитаны на оценку качества за относительно короткий период измерений.

Таблица 2.12 – Оперативные нормы на параметры ошибок для УЭТ

Скорость, Мбит/с	ОЦК	Тракт				
		1,5 ... 5	5 ... 15	15 ... 55	55 ... 160	160 ... 3500
Размер блока	–	800...5000	2000...8000	4000...20000	6000...20000	15000...30000
ESR	0,04	0,02/0,005	0,025/0,005	0,0375/0,01	0,08/0,02	но/но
SESR	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
BBER		но/2,5·10 ⁻⁵	но/2,5·10 ⁻⁵	но/2,5·10 ⁻⁵	но/5·10 ⁻⁵	но/5·10 ⁻⁵
/* – для трактов PDH/SDH но – не определено						

Различают следующие виды оперативных норм:

- нормы для ввода трактов в эксплуатацию. Используются в случаях, когда аналогичное оборудование испытано на соответствие долговременным нормам и уже находится в эксплуатации;
- нормы технического обслуживания, используемые в процессе эксплуатации оборудования;
- нормы восстановления систем, используемые при сдаче тракта в эксплуатацию после ремонта оборудования.

Контроль показателей ошибок в каналах и трактах для определения соответствия оперативным нормам производится в эксплуатационных условиях в течение следующих периодов времени: 15 мин; 2 ч; 1 сут; 7 сут.

На основе оперативных норм рассчитываются допустимые пределы качественных показателей, которые используются для того, чтобы определить, нужно ли вмешательство во время технической эксплуатации или при вводе в эксплуатацию. Сеть, параметры качества которой поддерживаются в этих пределах, будет удовлетворять нормам на качественные показатели, установленные в рекомендациях МСЭ-Т G.821 и G.826.

Однако статистические флюктуации при возникновении аномалий означают, что нельзя сказать определенно, удовлетворяются ли долговременные нормы. С помощью допустимых пределов для числа событий при ограниченной длительности измерений можно определить, что системы или тракты имеют неприемлемые или ухудшенные качественные показатели.

Для анализа результатов контроля в соответствии с рекомендациями M.2100 и M.2101 определяются значение BISPO (Bringing-Into-Service Performance Objective) и пороговое значение S для ES, SES и VBE за период наблюдения T . Число S – предельное значение, которое используется для анализа результатов, полученных в процессе измерений, при этом S – норма качества, соответствующая числу событий (ES, SES, VBE), при котором цифровой тракт может быть введен в эксплуатацию без всякого сомнения (рисунок 2.8).

Порядок расчета значений оперативных норм следующий:

- 1) определяется скорость передачи цифрового тракта;
- 2) для соответствующей скорости передачи определяются допустимые значения показателей качества PO (Performance Objective) (таблица 2.12);
- 3) вычисляется доля норм на параметры качества в зависимости от структуры и протяженности тракта D , в относительных единицах;
- 4) определяется необходимый период измерения (Test Period – TP) в секундах, где TP составляет 15 мин, 2 ч или 24 ч;
- 5) вычисляется доля распределения норм на качественные показатели тракта (Allocated Performance Objective – APO) в виде количества событий из уже полученной информации:

$$APO = D \cdot TP \cdot PO;$$

б) определяется пороговое значение BISPO за период наблюдения для соответствующего вида эксплуатационного контроля

$$\text{BISPO} = k \cdot \text{АРО},$$

где k – коэффициент, определяемый видом эксплуатационного контроля (таблица 2.13);

Таблица 2.13 – Значения коэффициентов, определяемые видом эксплуатационного контроля

Вид испытаний	k	
	каналы, тракты	оборудование СП
Эталонная норма	1	1
Первоначальный ввод	0,5	0,1
Ввод после ремонта	0,5	0,125
Ввод с ухудшенным качеством	0,75	0,5
Вывод из работы	> 10	> 10

7) определяется пороговое значение S для заданного времени наблюдения, являющееся пороговой нормой для ввода в эксплуатацию:

$$S = \text{BISPO} - 2\sqrt{\text{BISPO}}.$$

Если за период наблюдения по результатам эксплуатационного контроля численное значение соответствующего параметра качества равно S_0 , то в случае, когда:

$S_0 < S$ – тракт принимается в эксплуатацию;

$S < S_0 < \text{BISPO}$ – тракт принимается в эксплуатацию условно, так как требуются корректирующие действия со стороны обслуживающего персонала;

$S_0 > \text{BISPO}$ – тракт не принимается в эксплуатацию.

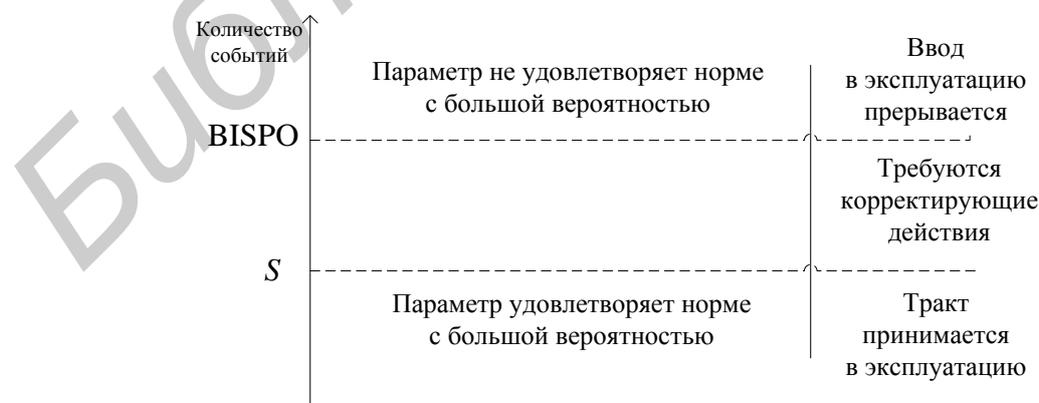


Рисунок 2.8 – Допустимый предел при вводе в эксплуатацию

Для трактов SDH вопросы использования SEPI и их предельных значений для технического обслуживания, ввода в эксплуатацию или вывода из эксплуатации находятся в стадии изучения.

3 НОРМИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ДРОЖАНИЙ

3.1 Необходимость контроля и нормирования фазовых дрожаний

Фазовые отклонения являются специфическим видом искажений, которые возникают в процессе формирования и передачи цифровых сигналов, и оказывают существенное влияние на качество передачи информации в цифровой сети связи. Источники цифровых сигналов вырабатывают элементы цифрового сигнала с равномерной скоростью. Однако при последующих операциях с цифровым сигналом регулярность следования элементов сигнала нарушается: их фактическое положение не совпадает с временными позициями, которые имели место в источнике сигнала.

Различают два вида фазовых отклонений: дрожание и дрейф фазы. Фазовые дрожания (jitter – джиттер) определяются как кратковременные, с частотой более или равной 10 Гц, фазовые отклонения значащих моментов цифрового сигнала от их идеальных временных положений. Значимой может быть любая легко определяемая точка сигнала (передний или задний фронты импульсов). Дрейф фазы (wander – вандер) определяется как долговременное, с частотой менее 10 Гц, фазовое отклонение значащих моментов цифрового сигнала от их идеальных временных положений. Необходимость деления на дрожание и дрейф фазы связана с различными причинами их возникновения и различным влиянием на качество передачи.

Функция фазового дрожания может быть получена путем графического отображения во времени отклонений положений фронтов импульсов на выходе контролируемой системы по отношению к фронтам соответствующих импульсов входного цифрового сигнала. Иллюстрация такого подхода приведена на рисунке 3.1, где представлены: цифровой сигнал на входе контролируемой системы – *a*; цифровой сигнал на выходе контролируемой системы – *b*; серия отсчетов, амплитуда которых равна величине отклонения от значащих моментов, описываемая непрерывной функцией времени, характеризующей модуляцию фазы цифрового сигнала, – *в*.

Амплитуда фазовых отклонений выражается как в единицах абсолютного времени Δt_i , так и в относительных единицах $a(t_i) = \Delta t_i/T$ – единичных интервалах – (ЕИ) (Unit Interval – UI), где T – временной интервал, соответствующий длительности одного элемента цифрового сигнала. Измерение фазовых отклонений в относительных единицах позволяет нормировать и сравнивать амплитуды фазовых отклонений на различных сетевых иерархических стыках.

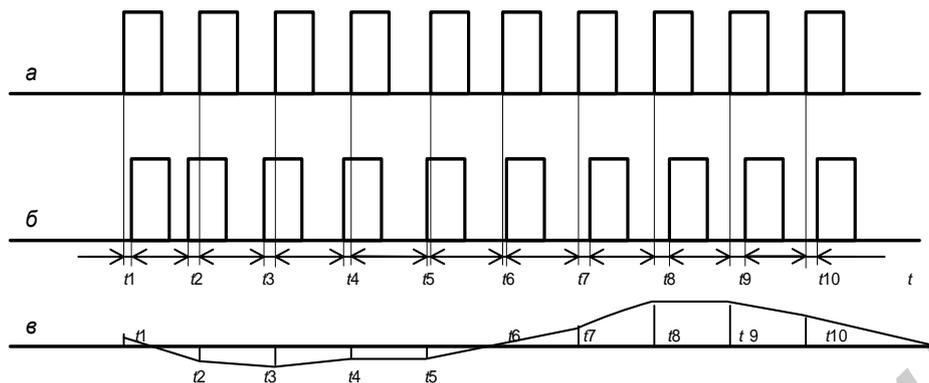


Рисунок 3.1 – Определение фазовых дрожаний

3.2 Влияние фазовых дрожаний на работу цифровых систем и сетей

Рост амплитуды фазовых отклонений цифрового сигнала, передаваемого по сети, приводит к следующим ухудшениям качества передачи:

- увеличению коэффициента битовых ошибок при регенерации цифрового сигнала, что связано со смещением моментов стробирования информационного сигнала относительно оптимальных положений, в которых информационный сигнал имеет или максимальные, или минимальные значения;
- искажению аналогового сигнала, передаваемого цифровыми методами, вследствие фазовых отклонений отсчетов АИМ-сигнала при цифроаналоговом преобразовании;
- появлению неуправляемых проскальзываний в цифровых сигналах в результате переполнения устройств памяти, используемых в определенных видах оконечного оборудования.

Меры по предотвращению первого вида ухудшений предпринимаются на этапе разработки оборудования цифровых систем передачи и реализуются в процессе его настройки. Снижение ухудшений второго типа достигается путем ограничения амплитуды дрожаний фазы до уровня, субъективно допустимого для данной аналоговой службы. Для сетей связи общего пользования нормы установлены в соответствии с требованиями служб телефонии.

Для уменьшения влияния ухудшений третьего типа требуется понимание как механизма возникновения фазовых дрожаний и законов их накопления в разнообразном оборудовании цифровой сети, так и принципов работы всего сетевого комплекса в процессе установления различных, часто весьма сложных, соединений.

Для недопущения снижения качества передачи ниже допустимого уровня необходимы контроль и нормирование фазовых отклонений. Определим основные источники фазовых дрожаний. Как уже отмечалось, возникновение фазовых дрожаний обусловлено принципами обработки и передачи цифрового сиг-

нала, в связи с чем различают фазовые дрожания линейного тракта и фазовые дрожания, возникающие в оборудовании временного группообразования.

Фазовые дрожания, возникающие в линейном тракте, делятся на систематические (регулярные) и несистематические (нерегулярные). Регулярные фазовые дрожания коррелированы с передаваемой последовательностью символов линейного сигнала. Одним из его основных источников является неидеальность работы схем выделения тактовой частоты (ВТЧ) регенераторов. Для проведения полной регенерации цифрового сигнала (по амплитуде и временному положению) ВТЧ выделяет из линейного сигнала хронизирующее колебание. Типовая структурная схема ВТЧ на основе метода пассивной фильтрации приведена на рисунке 3.2.

В нелинейном устройстве принятый и скорректированный линейный сигнал (контрольная точка 1) подвергается нелинейной обработке, в результате чего формируется импульсная последовательность, содержащая в своем спектре дискретную составляющую с тактовой частотой (контрольная точка 2). В зависимости от случайного содержания передаваемой информации (группирования одноуровневых символов), уровень этой составляющей будет случайно меняться. Таким образом, на выходе избирательной схемы (резонансный контур или полосовой фильтр) будет гармонический сигнал с амплитудной модуляцией (контрольная точка 3). В пороговом устройстве, следующем за избирательной схемой, определяются моменты пересечения этим квазигармоническим сигналом порогового уровня. В практических схемах уровень порога отличен от нуля, так что малые изменения амплитуды сигнала приводят к вариациям момента срабатывания порогового детектора, иначе говоря, имеет место амплитудно-фазовое преобразование (контрольная точка 4). Формирователь импульсов необходим для формирования стробирующих импульсов, определяющих моменты принятия решения (контрольная точка 5), а фазовращатель обеспечивает их совмещения с амплитудными значениями линейного сигнала в момент принятия решения.

Другим источником фазовых дрожаний является неидеальность коррекции линейных искажений, появляющихся при прохождении цифрового сигнала по среде передачи, что приводит к появлению межсимвольных помех, длительность и амплитуда которых определяются информационным содержанием сигнала. Их воздействие вызывает смещение временных положений импульсов в последовательности на выходе нелинейного устройства.

Асимметрия импульсов, воздействующих на избирательную схему, которая связана с неидеальностью коррекции и последующим нелинейным преобразованием, также приводит к появлению временных флуктуаций на выходе этой цепи. Изменения длительности импульсов составляют еще один источник систематических фазовых дрожаний, зависящий от содержания передаваемой информации.

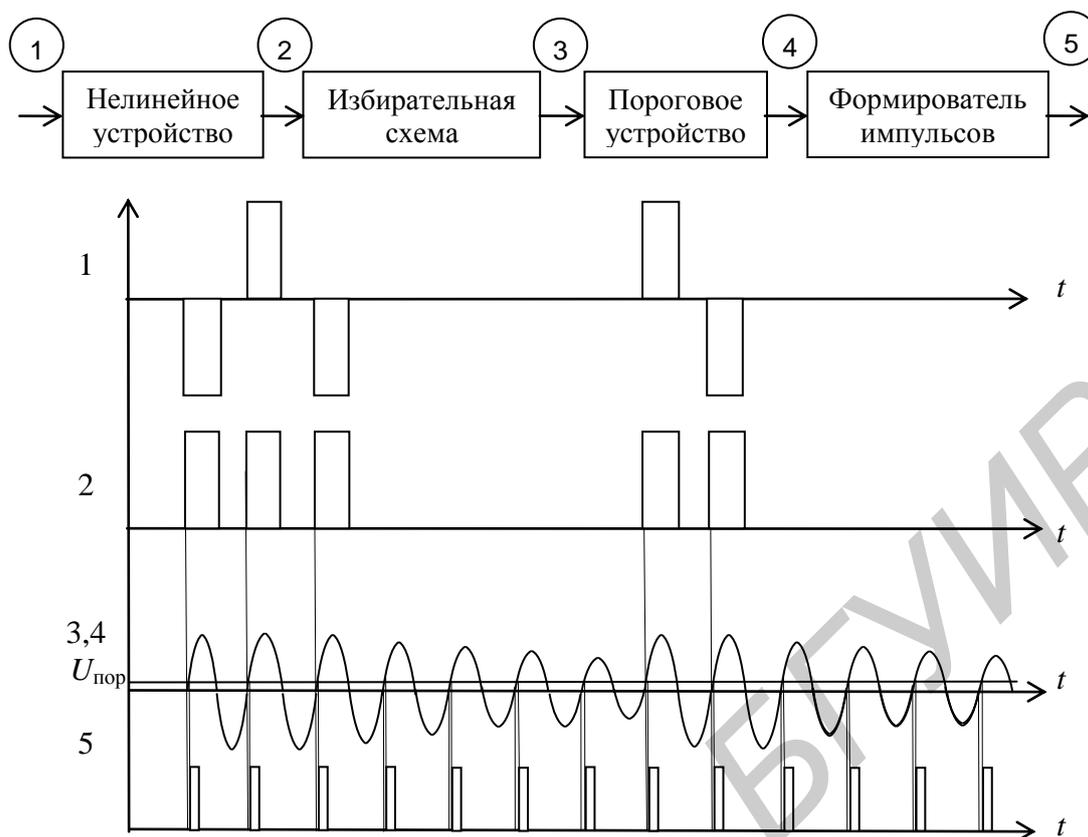


Рисунок 3.2 – Иллюстрация работы схемы выделения тактовой частоты

В зависимости от способа реализации выделителя тактовой частоты (активной фильтрации на основе ФАПЧ или пассивной фильтрации) величина дрожаний фазы на выходе цепи из N аналогичных регенераторов пропорциональна N^d , где показатель степени d лежит в пределах $0,5 \dots 1$.

Выделение хронизирующего колебания пассивными избирательными цепями из-за их неточного выполнения приводит к появлению случайных (нерегулярных) временных сдвигов, величина которых зависит от степени расстройки и характера фазовой характеристики избирательной цепи.

Несистематические фазовые сдвиги вносят в сигнал тактовой синхронизации переходные помехи от других цифровых линейных трактов, работающих в этом же электрическом кабеле. Так как каждая влияющая цепь вносит независимую помеху, то вызываемые ими дрожания фазы являются некоррелированными и их уровень растет пропорционально корню квадратному от числа регенераторов в линейном тракте.

В оборудовании временного группообразования формируются цифровые сигналы высших уровней иерархии на основе объединения нескольких низкочастотных цифровых сигналов. Формирование группового сигнала производится путем периодического чередования битов/байтов поступающих компонентных потоков на стороне передачи. Его разделение на исходные компонентные низкоскоростные потоки выполняется на стороне приема. Для правильного

распределения компонентных сигналов по соответствующим каналам в групповом сигнале необходимо реализовать цикловую синхронизацию, вводя сигнал цикловой синхронизации.

Как правило, компонентные потоки поступают от независимых источников информации с одинаковыми номинальными скоростями передачи, но фактически отличающимися друг от друга на величину, нормируемую соответствующими допусками на эти скорости. Непосредственное объединение таких сигналов может быть выполнено только после их синхронизации от общего задающего генератора с использованием процедуры цифрового выравнивания (согласования скоростей). При цифровом выравнивании скоростей передачи в компонентный сигнал вводят дополнительные временные интервалы – биты выравнивания, которые используются для передачи или информационных бит или бит вставки в зависимости от вида цифрового выравнивания, а в групповой цифровой сигнал вводятся служебные биты управления выравниванием, на основе которых на приемной стороне обрабатываются биты цифрового выравнивания.

В структуре цикла группового цифрового сигнала так же должны быть предусмотрены позиции для передачи необходимого для функционирования оборудования объема служебной информации.

Таким образом, возникновение фазовых дрожаний в компонентных цифровых сигналах при аппаратной реализации временного группообразования на основе описанных выше принципов вызывается следующими явлениями:

- периодическим (с частотой цикла/подцикла) удалением из равномерного потока хронизирующих импульсов компонентных сигналов тех из них, которые определяют временные положения служебных битов в цикле группового цифрового сигнала: циклового синхросигнала, битов управления выравниванием и других;

- исключением из этого же потока импульсов, определяющих положение выравнивающих временных интервалов с частотой, определяемой фактическим расхождением между частотами приема входной информации (записи) и передачи этой информации в составе группового сигнала (считывания);

- проведением операции выравнивания не в тот момент времени, когда она требуется, а в момент времени, предопределенный принятой структурой цикла группового сигнала.

Первые два явления вызывают относительно высокочастотную фазовую модуляцию импульсов хронирования при усреднении частоты, которая в определенной мере подавляется в цепях выделения хронирования линейного тракта и узкополосной ФАПЧ приемного оборудования временного группообразования.

Наибольшую неприятность представляют дрожания фазы, обусловленные последней из перечисленных выше причин (фазовые дрожания времени ожидания), так как они имеют составляющие с частотами, лежащими внутри полосы пропускания ФАПЧ, и поэтому могут появиться в сигналах компонент-

ных потоков на выходе устройств разделения и передаваться по линейным трактам.

В оборудовании SDH при передаче виртуальных контейнеров по сети как неделимых модулей необходима подстройка их частоты под частоту сигнала STM-n конкретного мультиплексора. Подстройка реализуется на основе механизма смещения указателей, что приводит к дополнительным фазовым дрожаниям по смещению указателя (pointer jitter).

3.3 Нормирование фазовых дрожаний

МСЭ-Т на основе результатов многолетних исследований, проведенных в разных странах, рекомендует следующую методологию нормирования фазовых отклонений в цифровых сетях:

- максимальный предел фазовых отклонений для сети должен определяться так, чтобы он не был превышен на любом иерархическом стыке;
- должны быть ограничения на дрожание фазы в отдельных видах цифрового оборудования (временного группообразования, цифровых линейных трактах);
- измерения нормируемых показателей должны иметь единую технологическую основу, обеспечивающую сопоставимость результатов измерений дрожаний фазы и их накоплений в национальных и международных сетях любой конфигурации.

С учетом сказанного установлены следующие виды требований к показателям дрожаний и дрейфа фазы:

- предельные нормы на дрожание и дрейф фазы на выходе цифровых каналов (трактов);
- нормы на допустимые дрожания и дрейф фазы на входе цифровых каналов (трактов), при котором цифровой канал (тракт) должен работать устойчиво;
- нормы на характеристики передачи дрожания и дрейфа фазы цифровых каналов (трактов).

3.4 Нормирование и измерение выходных фазовых дрожаний

Выходные фазовые дрожания подразделяются на две категории:

- выходные фазовые дрожания сети на типовых иерархических стыках;
- собственное фазовое дрожание, генерируемое конкретным оборудованием.

Уровень выходных фазовых дрожаний аппаратуры временного группообразования, цифровых участков и сетевых трактов регламентируется в виде предельных норм, которые не должны превышать при любых условиях эксплуатации независимо от количества включенного оборудования. Для обеспечения согласования результатов измерений фазовых дрожаний, реально вырабаты-

ваемых в оборудовании цифровой сети, с допусками на выходные фазовые дрожания, установленными с помощью псевдослучайного испытательного сигнала с одночастотным синусоидальным дрожанием, МСЭ-Т разработана типовая двухполосная схема измерений, структура которой показана на рисунке 3.3.

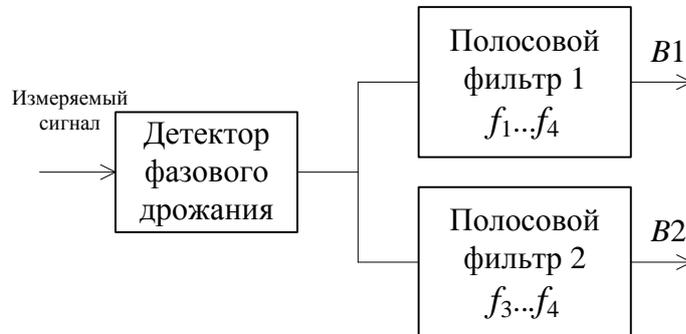


Рисунок 3.3 – Схема измерения выходных фазовых дрожаний

Высокочастотные фазовые дрожания, выделяемые полосовым фильтром ПФ2, характеризуют относительные фазовые дрожания выходного цифрового сигнала, ответственные за работу схем решения во входных цепях последующего оборудования. Поэтому их пиковая величина не должна превышать долей тактового интервала, чтобы заметно не снизить запас помехоустойчивости.

Для фазовых дрожаний с более низкими частотами, выделяемыми ПФ1 в полосе частот $f_1..f_4$, последующее цифровое оборудование будет прозрачным, так что с точки зрения помехоустойчивости может быть допущена их большая величина (пиковая амплитуда до единиц тактового интервала), однако и эта величина должна быть ограничена, чтобы не вызвать переполнения буферной памяти последующего оборудования, например временного группообразования.

Параметры фильтров, определяющих полосы частот измеряемых дрожаний, установлены международными рекомендациями МСЭ-Т G.823, G.825 и O.171, O.172. Основные параметры измерительных фильтров приведены в таблице 3.1. Крутизна склонов ПФ1 и ПФ2 должна составлять 20 дБ на декаду. Технология измерения фазового дрожания в двух полосах частот послужила основой для нормирования максимально допустимого выходного дрожания фазы во всех сетевых элементах. Нормируемые в цифровой сети максимальные значения полного $B1$ и высокочастотного $B2$ фазовых дрожаний (в единичных интервалах) на иерархических стыках цифровой сети, а также на выходах цифровых участков и аппаратуры временного группообразования приведены в таблице 3.1.

Данные, приведенные в таблице 3.1, представляют собой сводку требований из нескольких нормативных документов:

а) для иерархических стыков сетевых трактов – по Рекомендациям G.823, G.825;

б) для стандартного оборудования временного группообразования – по Рекомендациям G.742 и G.751;

в) для цифровых участков – по Рекомендации G.921.

Таблица 3.1 – Нормы на выходные фазовые дрожания

Тракт		Предельная норма на фазовые дрожания, ЕИ		Частоты среза измерительных фильтров			Длительность единичного интервала (ЕИ), нс
Обозначение	Скорость, Мбит/с	$B1$	$B2$	f_1 , Гц	f_3 , кГц	f_4 , кГц	
E1	2,048	1,5	0,2	20	18	100	488
E2	8,448	1,5	0,2	20	3	400	118
E3	34,368	1,5	0,15	100	10	800	29,1
E4	139,264	1,5	0,075	200	10	3500	7,18
STM-1	155,52	1,5	0,15	500	65	1300	6,43
STM-4	622,08	1,5	0,15	1000	250	5000	1,607
STM-16	2488,32	1,5	0,15	5000	1000	20000	0,402
STM-64	9953,28	1,5	0,15	20000	4000	80000	0,100

Нормативные требования на фазовые дрожания аппаратуры временного группообразования и цифровых участков должны обеспечиваться в отсутствие фазового дрожания на их входах.

Максимальные фазовые дрожания на иерархических стыках цифровой сети должны удовлетворять приведенным нормам независимо от состава и количества оборудования, включенного в тракт перед рассматриваемым стыком.

Нормы на выходные дрожания фазы цифровых участков относятся к условным эталонным цифровым трактам.

Измерение фазового дрожания на типовом стыке проводится без отключения от полезной нагрузки по схеме, приведенной на рисунке 3.4.

Рекомендуется следующий порядок проведения измерений:

а) установить соединения в соответствии с рисунком 3.4 и убедиться, что измеряемый тракт работает без ошибок;

б) выбрать нужный измерительный фильтр и измерить пиковую амплитуду выходного фазового дрожания в данной полосе частот, регистрируя максимальную величину в течение заданного интервала измерения;

в) повторить операцию по предыдущему пункту для необходимых полосовых фильтров.

Дополнительный анализатор спектра, подключенный к выходу измерительного фильтра, позволяет наблюдать частотный спектр выходного фазового дрожания в установленной фильтром полосе частот.

Измерение собственного фазового дрожания конкретного цифрового оборудования выполняется с использованием реальной или имитируемой нагрузок. Измерения с имитацией реальной нагрузки псевдослучайной последовательностью (ПСП) позволяют совмещать измерения фазовых дрожаний и параметров ошибки с отключением канала при проведении приемо-сдаточных и сертификационных испытаний. Измерения в этом случае проводятся по схеме рисунка 3.2 при подключении на вход измеряемого объекта источника сигнала без фазовых дрожаний и при подключении к его выходу соответствующего полосового фильтра и измерителя фазового дрожания.

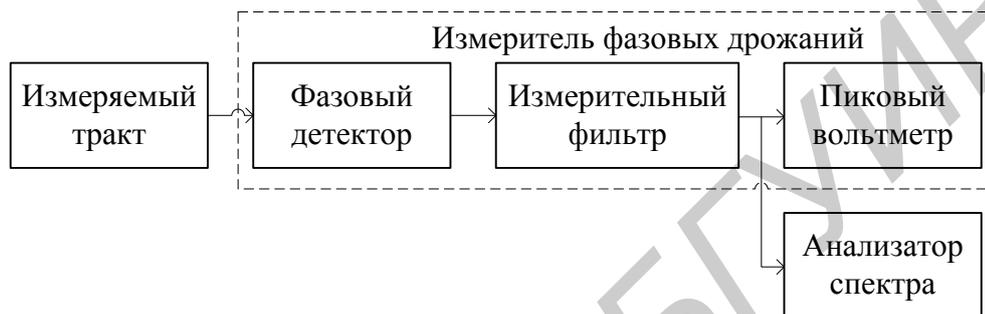


Рисунок 3.4 – Измерение выходного фазового дрожания на иерархическом стыке

Сетевая предельная норма на дрейф фазы на любом иерархическом стыке не определена и находится в стадии изучения. Однако для сетевых узлов дрейф фазы косвенным образом оценивается с помощью параметра МОВИ – максимальной ошибки временного интервала. Максимальная ошибка временного интервала (МОВИ) (рисунок 3.5) – это максимальный размах изменения времени запаздывания данного хронизирующего сигнала $x(t)$ относительно идеального хронизирующего сигнала, определяемый между двумя пиковыми отклонениями в течение определенного периода времени наблюдения S , то есть $МОВИ(S) = \max x(t)$ для всех t в пределах S .

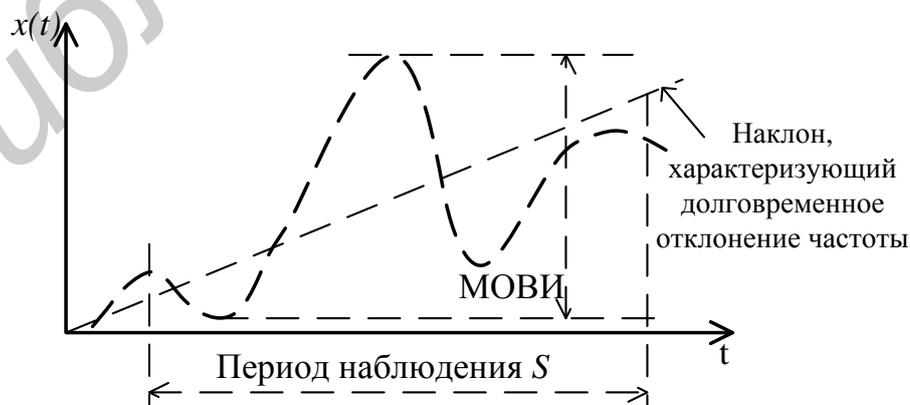


Рисунок 3.5 – Определение максимальной ошибки временного интервала

Максимальная ошибка временного интервала (рисунок 3.6) на стыках любых сетевых узлов за период наблюдения в S секунд не должна превышать

- а) для $S < 10^4$ – эта область требует дальнейшего изучения;
- б) для $S > 10^4$ – $(10^{-2} \cdot S + 10000)$, нс.

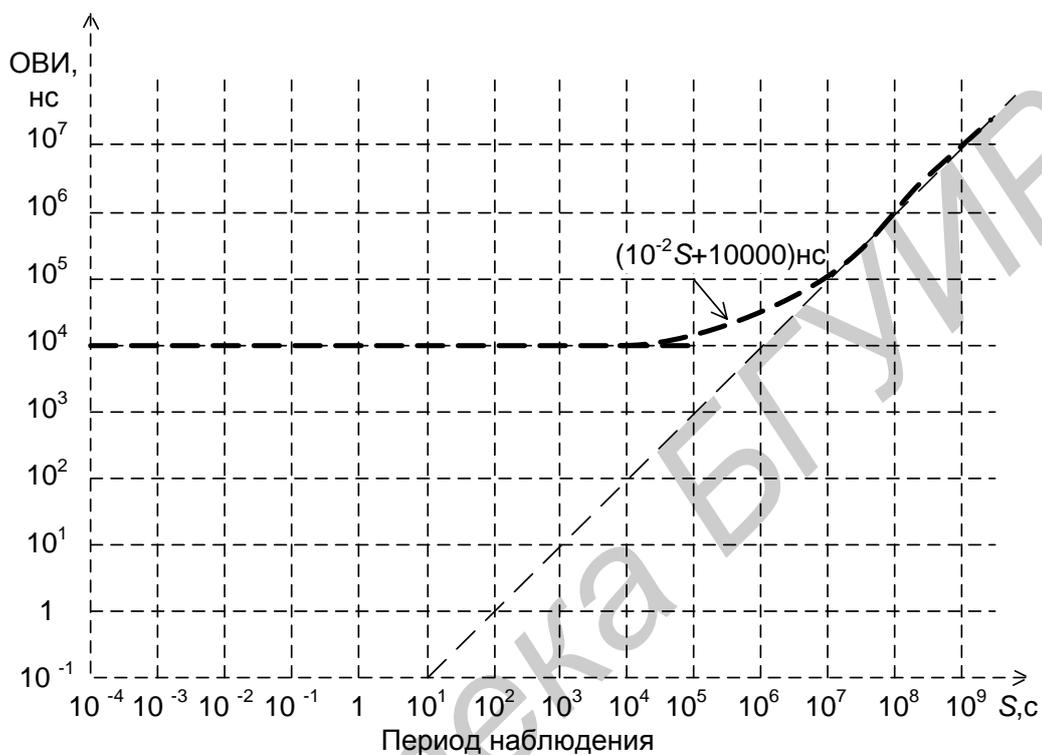


Рисунок 3.6 – Зависимость максимально допустимой ошибки временного интервала (ОВИ) на выходе сетевого узла от периода наблюдения (S)

3.5 Нормирование и измерение входных фазовых дрожаний

Цифровая сеть представляет собой совокупность соединенных между собой элементов, включающих в себя цифровые участки, аппаратуру временного группообразования и цифровые станции. Каждый из этих сетевых элементов имеет свойственный ему верхний предел по входным фазовым дрожаниям, превышение которого сопровождается сбоями и отказами в работе. Поэтому в процессе эксплуатации сети необходимо знать, каковы эти пределы, определить для них нормы и проводить их измерение на согласованной основе.

Нормы на допустимые дрожания и дрейф фазы на входе цифрового тракта или оборудования (Maximum Tolerable Jitter, МТЖ) определяют нижний предел максимально допустимого входного дрожания и дрейф фазы, при котором оборудование должно работать устойчиво. Нормирование допусков на входные фазовые дрожания основано на испытаниях с помощью испытательного сигнала

ла, имеющего синусоидальное дрожание фазы. Любое цифровое оборудование различных иерархических уровней должно без существенного ухудшения своей работы выдерживать на своих входах цифровой псевдослучайный испытательный сигнал, регламентированный Рекомендацией O.150, который модулирован по фазе синусоидальными сигналами с амплитудой, определяемой маской, представленной на рисунке 3.7 и значениями таблицы 3.2.

Синусоидальные фазовые дрожания, не моделируя шумоподобные случайные дрожания фазы цифровых сигналов, вырабатываемых внутри сети, позволяют создать четкую нормативную базу для оценки показателей дрожаний, которая обеспечивает устойчивую работу комплекса сетевого оборудования. Допускаемые амплитуды определяются как все амплитуды до (но не включая) той амплитуды, которая вызывает нормированное ухудшение показателей ошибок.

Нормированное ухудшение показателя ошибок может выражаться в виде двух критериев: увеличения коэффициента ошибок по битам (*BER*) и момента появления ошибок. При проведении измерений необходимо рассмотреть оба критерия, поскольку допуск на входное фазовое дрожание измеряемого объекта определяется, в основном, двумя факторами:

- способностью схемы восстановления хранимого сигнала точно восстанавливать этот сигнал из информационного потока, подверженного фазовому дрожанию, и, возможно, другому ухудшению качества (искажение импульсов, переходное влияние, шум и т. д.);

- способностью выдерживать динамически меняющуюся скорость входного цифрового информационного сигнала (например, способностью к цифровому выравниванию и емкостью буферного ЗУ по входу и выходу из синхронизма в асинхронной цифровой аппаратуре группообразования).

Критерий увеличения *BER* позволяет определить воздействие фазового дрожания на схему восстановления хранимого сигнала приемника, что очень важно для оценки первого фактора. Критерий появления ошибок рекомендуется для оценки второго фактора.

Методология измерений следующая:

- на измеряемое оборудование/канал подается тестовый сигнал (обычно ПСП) с внесенным дрожанием фазы на определенной частоте;

- затем амплитуда вносимого фазового дрожания варьируется, а на выходе измеряемого оборудования/канала измеряется параметр ошибки;

- по одному из указанных критериев делается вывод о максимально допустимом дрожании фазы для данной частоты;

- измерения повторяются для другой частоты;

- в результате получается зависимость амплитуды максимально допустимого дрожания фазы от частоты для данного измеряемого оборудования, которая и является предметом измерений.

Таблица 3.2 – Значения параметров допусков на дрожание и дрейф фазы на входе тракта

Усл. обозн.	Скорость, Кбит/с	Полный размах, ЕИ				Частота, Гц								ПСП
		A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	f ₀	f ₁₀	f ₉	f ₈	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	
ОЦК	64	1,15	0,25	0,05		1,2·10 ⁻⁵	–	–	–	20	600	3·10 ³	20·10 ³	2 ¹¹ –1
E1	2048	36,9	1,5	0,2	18	1,2·10 ⁻⁵	4,88·10 ⁻³	1,0·10 ⁻²	1,67	20	2400	18·10 ³	100·10 ³	2 ¹⁵ –1
E2	8448	152	1,5	0,2	–	1,2·10 ⁻⁵	–	–	–	20	400	3·10 ³	400·10 ³	2 ¹⁵ –1
E3	34368	618,6	1,5	0,15	–	–	–	–	–	100	1000	10·10 ³	800·10 ³	2 ²³ –1
E4	139264	2506,6	1,5	0,075	–	–	–	–	–	200	500	10·10 ³	2,5·10 ⁶	2 ²³ –1
STM-1	–	–	1,5	0,15	–	–	–	–	–	500	3300	65·10 ³	1,3·10 ⁶	2 ²³ –1
STM-4	–	–	1,5	0,15	–	–	–	–	–	100	1000	25·10 ⁴	5·10 ⁶	2 ²³ –1
STM-16	–	–	1,5	0,15	622	–	–	10	12,1	5000	1·10 ⁵	1·10 ⁶	20·10 ⁶	2 ²³ –1
STM-64	–	–	1,5	0,15	2490	–	–	10	12,1	20·10 ³	4·10 ⁵	4·10 ⁶	80·10 ⁶	2 ³¹ –1

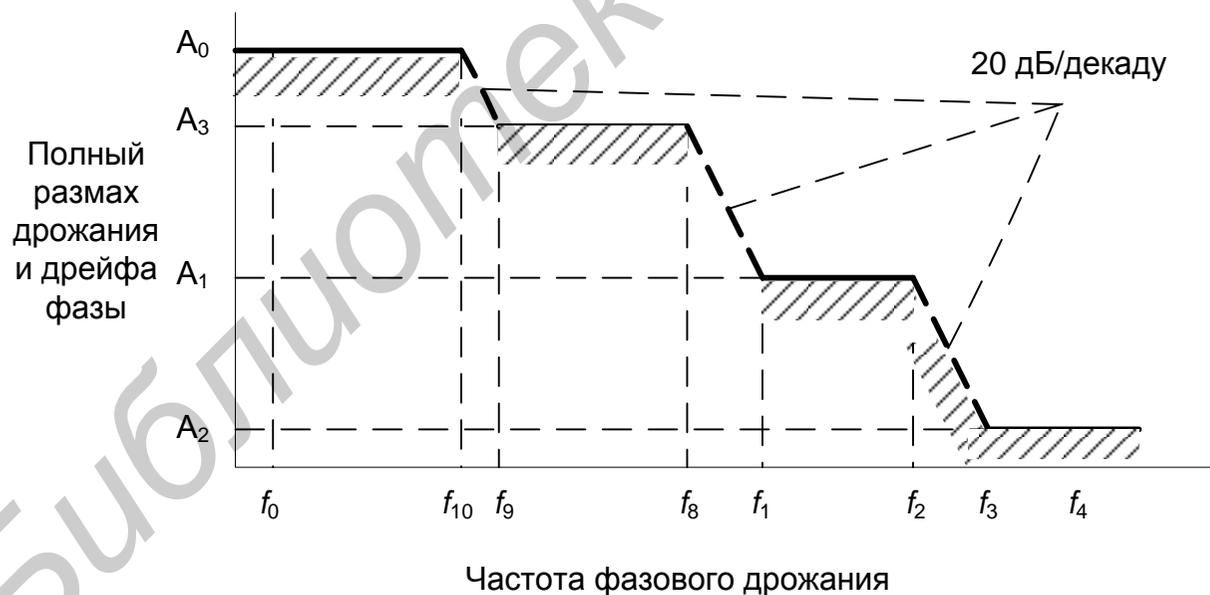


Рисунок 3.7 – Нижний предел максимально допустимого входного дрожания и дрейфа фазы

Метод по критерию увеличения параметра BER

Критерий увеличения BER для измерений МТJ определяется как амплитуда дрожания фазы (на заданной частоте), удваивающего коэффициент битовых ошибок BER, что обусловлено определенным уменьшением отношения сигнал/шум. Процедура метода разделяется на два этапа.

На первом этапе определяются два значения BER в зависимости от отношения сигнал/шум в эталонных точках измеряемого канала. При нулевом фазовом дрожании к сигналу добавляется шум или сигнал ослабляется до получения нужного первоначального BER1. Затем шум или затухание сигнала снижается до момента, когда коэффициент битовых ошибок уменьшится в два раза и становится равным $BER2 = BER1/2$.

На втором этапе на определенной частоте в испытательный сигнал с отношением сигнал/шум, обеспечивающим BER2, вводится дрожание фазы до момента получения первоначально выбранного значения BER1. Введенное эквивалентное дрожание фазы представляет собой точную и воспроизводимую меру параметра МТJ. Второй этап метода повторяется для достаточного количества частот, чтобы измерение точно показывало постоянный допуск синусоидального входного дрожания фазы для испытываемого объекта в используемом диапазоне частот. Измерительное устройство должно обеспечивать генерирование сигнала с изменяемым фазовым дрожанием, получение необходимого отношения сигнал/шум в информационном сигнале и измерение BER испытываемого объекта.

На рисунке 3.8 представлена схема измерения, применяемая для метода по критерию увеличения BER. Синтезатор частот обеспечивает более точное определение частот, используемых для измерения. Анализатор фазового дрожания применяется для контроля амплитуды вырабатываемого фазового дрожания.

Метод с использованием критерия появления ошибок

Критерий появления ошибок для измерения параметра МТJ определяется как наибольшая амплитуда фазового дрожания на заданной частоте, обеспечивающая, в конечном счете, не более двух секунд с ошибками. Секунды суммируются в последовательных 30-секундных интервалах, в течение которых амплитуда фазового дрожания возрастала.

Рассматриваемый метод заключается в изменении частоты вносимого фазового дрожания и в определении критической амплитуды допустимого дрожания фазы для каждой частоте и амплитуды фазового дрожания испытательного сигнала, обеспечивающего соблюдение критерия появления ошибок.

Метод включает в себя следующие операции:

- исключение «переходной области» амплитуды фазового дрожания, в которой прекращается безошибочная работа;
- измерение отдельных секунд с ошибками в течение 30 с для каждого увеличения амплитуды фазового дрожания, исключая «переходную область»;

– определение для каждой частоты наибольшей амплитуды дрожания фазы, при которой суммарное число секунд с ошибками не превышает двух.

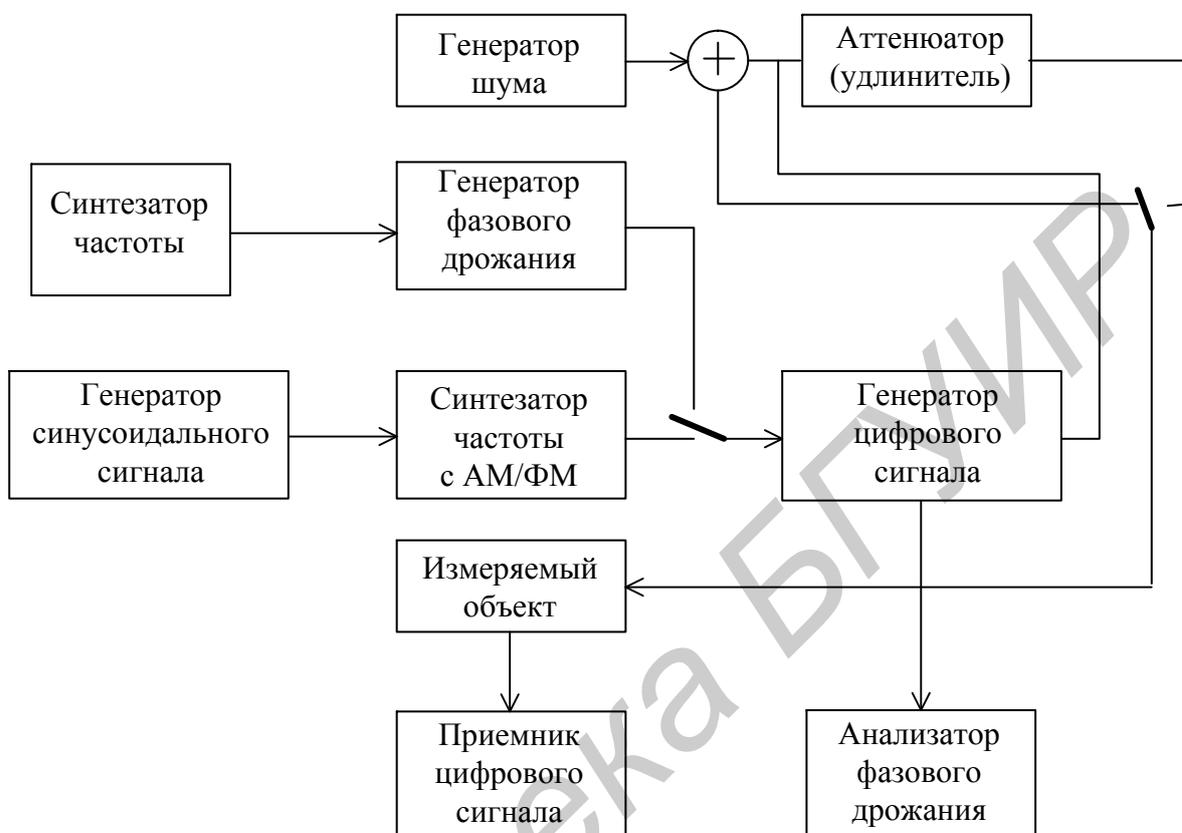


Рисунок 3.8 – Схема организации измерений параметра МТJ по критерию увеличения ошибок

Процесс повторяется для числа частот, достаточного для того, чтобы измерение точно отражало допустимое для испытываемого объекта синусоидальное входное фазовое дрожание в заданном диапазоне частот. Измерительное устройство должно при этом вырабатывать сигнал с управляемым фазовым дрожанием и измерять количество секунд с ошибками, обусловленных фазовым дрожанием во входном сигнале.

Схема измерений указанным методом приведена на рисунке 3.9. Последовательность измерений следующая:

- а) установить частоту входного дрожания фазы на нужное значение и отрегулировать его амплитуду на ноль единичных интервалов;
- б) увеличить амплитуду фазового дрожания и определить область, в которой прекращается безошибочная работа. Снизить амплитуду дрожаний до уровня, при котором начинается эта область;
- в) зарегистрировать число секунд с ошибками за 30-секундный измерительный интервал (первоначальное измерение должно показывать отсутствие секунд с ошибками);

г) увеличить амплитуду фазовых дрожаний до удовлетворения критерия появления ошибок и зарегистрировать установленный размах фазового дрожания и его частоту;

д) повторить операции а) – г) с нужным числом частот.

Амплитуды измеренных таким образом дрожаний должны располагаться в области выше кривой маски, изображенной на рисунке 3.7, которая является, таким образом, нижним пределом допустимого входного фазового дрожания.

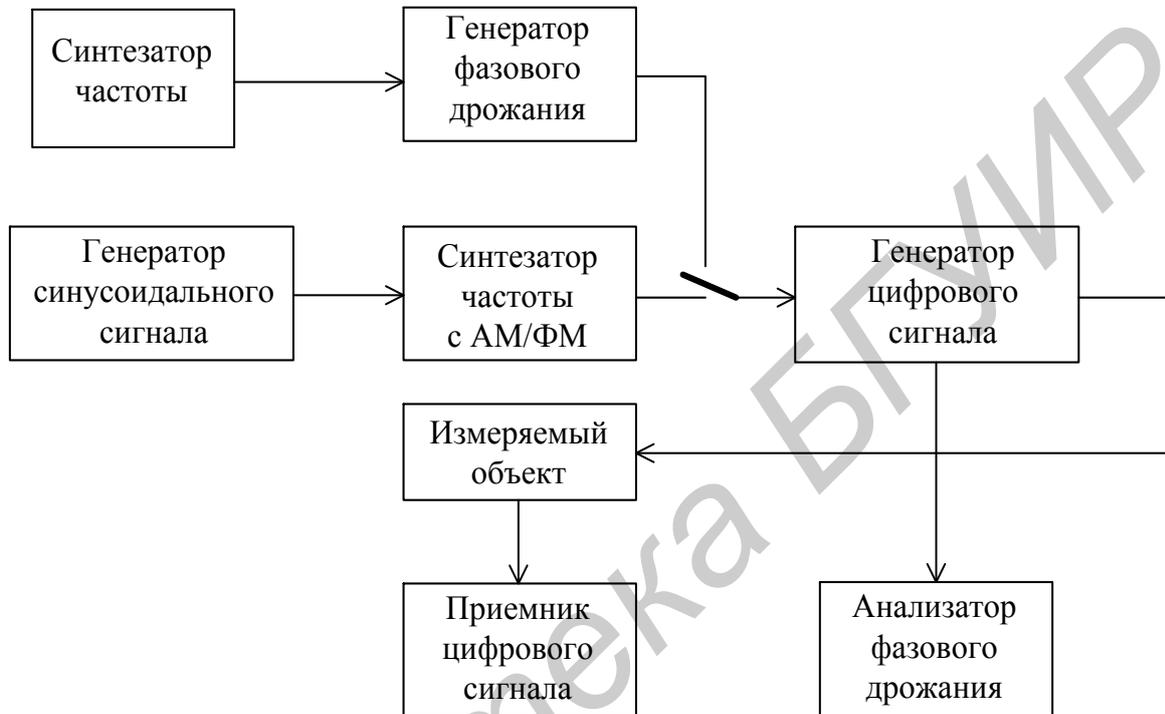


Рисунок 3.9 – Схема измерений параметра МТJ по критерию появления ошибок

3.6 Нормирование характеристики передачи фазовых дрожаний

Характеристика передачи фазового дрожания определяет частотную зависимость отношения амплитуды синусоидального выходного фазового дрожания к амплитуде синусоидального входного фазового дрожания для данной скорости передачи. При обработке цифрового сигнала в большинстве видов оборудования происходит затухание высокочастотных фазовых дрожаний, имеющих на входе. Но некоторые виды оборудования, имеющие цепи синхронизации на основе ФАПЧ или на основе пассивных избирательных систем с выбросами амплитудно-частотной характеристики, имеют тенденцию усиливать низкочастотные фазовые дрожания. Нормативные документы жестко

определяют ограничительные пределы для характеристики передачи фазовых дрожаний.

Характеристика передачи фазового дрожания определяет частотную зависимость отношения амплитуды выходного фазового дрожания к амплитуде входного фазового дрожания для данной скорости передачи.

Типовая характеристика передачи фазового дрожания в виде маски определена Рекомендациями МСЭ-Т и приведена на рисунке 3.10. В любом случае норма на уровень усиления передачи (X) не должна превышать 1 дБ. Норма на характеристику передачи дрейфа фазы разрабатывается.

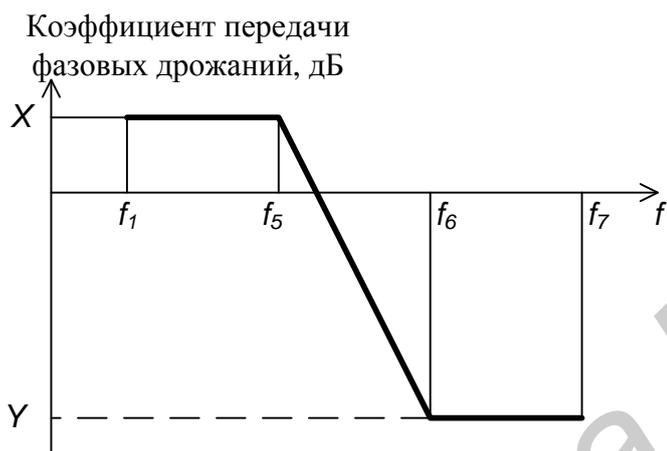


Рисунок 3.10 – Типовая характеристика передачи фазового дрожания

Значения уровней X (усиления) и Y (ослабления) и частот f_1, f_5, f_6, f_7 определены требованиями к конкретным видам оборудования:

а) для компонентных потоков при временном группообразовании – Рекомендациями МСЭ-Т G.743, G.751;

б) для цифровых участков – Рекомендацией G.921.

В таблице 3.3 приведены нормы на характеристики передачи фазовых дрожаний компонентных потоков при временном группообразовании.

Таблица 3.3 – Нормирование характеристик передачи фазовых дрожаний при временном группообразовании

Скорость, Кбит/с	X , дБ	Y , дБ	Частоты			
			f_1 , Гц	f_5 , Гц	f_6 , Гц	f_7 , кГц
2048	0,5	- 19,5	< 20	40	400	100
8448	0,5	- 19,5	< 20	100	1000	400
34368	0,5	- 19,5	< 20	300	3000	800

Нижний предел частоты (f_1) должен быть по возможности более низким: значение 5...10 Гц считается приемлемым. Для цифровых участков Рекомендация G.921 упоминает лишь одно требование на величину усиления X : в любом случае норма на усиление не должна превышать 1 дБ.

Измерение характеристики передачи фазового дрожания (Jitter Transfer Function – JTF) производится с помощью испытательного псевдослучайного сигнала, модулированного синусоидальным фазовым дрожанием по схеме рисунка 3.11 при подключенном к выходу измерителе фазовых дрожаний в соответствии с выражением

$$JTF(f) = 20 \lg((J_{\text{ВЫХ}}(f) - J_{\text{ВХ}}(f)) / J_{\text{ВХ}}(f)),$$

где $J_{\text{ВЫХ}}(f)$, $J_{\text{ВХ}}(f)$ – фазовые дрожания цифрового сигнала на выходе и входе цифрового тракта соответственно.

В настоящее время методика проведения таких измерений не определена, поэтому в сложившихся условиях считается целесообразным проводить их при уровне входных дрожаний в районе 1/2 от предельных норм.

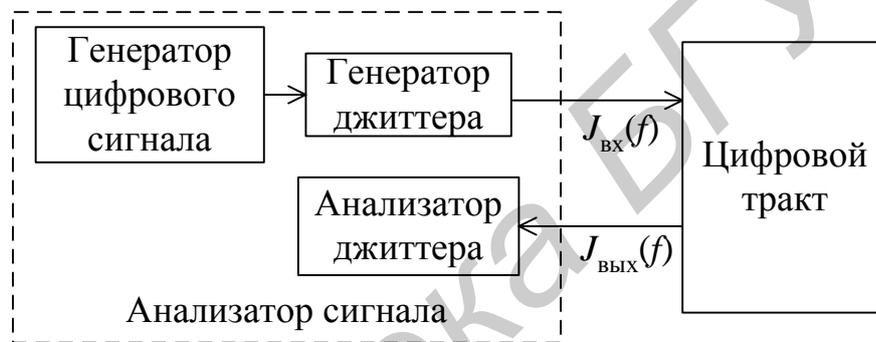


Рисунок 3.11 – Схема измерений характеристики передачи фазового дрожания

3.7 Нормирование проскальзываний

Проскальзывание (slip) – повторение или изъятие битов информации в цифровом сигнале из-за отличия тактовых частот входного сигнала и местного задающего генератора.

Базовым показателем качества передачи применительно к проскальзываниям является количество проскальзываний для цифрового потока 64 Кбит/с, передаваемого по тракту в составе цифровой сети. Вопросы проскальзываний для потоков более высоких скоростей находятся в стадии изучения.

Показатели проскальзываний рассчитываются и указываются на основе базовой модели условного эталонного цифрового тракта длиной 27500 км, организованного в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G.801. Предполагается, что международные центры коммутации (МЦК) соединены между собой международными трактами, работающими плезиохронно с использованием задающих генераторов, показатели стабильности которых соответствуют рекомендации МСЭ-Т G.811. Установлено, что на каждый участок такого коммутируемо-

го тракта максимальным теоретически допустимым уровнем проскальзываний является одно проскальзывание в течение 70 дней.

В условиях практической эксплуатации ЦСП уровень проскальзываний может существенно превышать вышеприведенные оценки из-за различий в построении оборудования на национальных и международных участках. Рекомендуемый пороговый уровень проскальзываний представляет собой компромисс между теоретическим расчетным значением и результатами, наблюдаемыми в процессе практической эксплуатации. В таблице 3.4 приведены эксплуатационные нормы на частоту управляемых проскальзываний октетов на международном соединении протяженностью 27500 км со скоростью передачи 64 Кбит/с, взятые из рекомендации МСЭ-Т G.822. Если уровень проскальзываний превышает указанный в нижеприведенной таблице в категории *b*, это может привести к заметным ухудшениям качественных показателей передачи. Уровень проскальзываний, отнесенный к категории *c*, соответствует неудовлетворительному качеству передачи.

Следует отметить, что достоверные результаты относительно уровня проскальзываний могут быть получены только на основе длительных наблюдений и измерений, поэтому время работы (наблюдения) должно быть не менее одного года.

Таблица 3.4 – Качественные показатели проскальзываний для цифрового потока 64 Кбит/с

Категория качества передачи	Среднее количество проскальзываний	Относительная доля времени, %
<i>a</i>	≤ 5 проскальзываний за 24ч	> 98,9
<i>b</i>	>5 проскальзываний за 24 ч и ≤ 30 проскальзываний за 1 ч	< 1,0
<i>c</i>	>30 проскальзываний за 1 ч	< 0,1

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Портнов, Э. Л. Принципы построения первичных сетей и оптических кабельных линий связи / Э. Л. Портнов. – М. : Горячая линия–Телеком, 2009. – 544 с.
- 2 Соколов, Н. Эволюция задач проектирования телекоммуникационных сетей / Н. Соколов // Мир связи.Connect. – 2008. – №5. – С. 62–66.
- 3 Аджемов, А. С. Перспективные направления развития сетей связи общего пользования / А. С. Аджемов, А. Б. Васильев, А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2008. – №10. – С. 6–7.
- 4 Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи : учеб. пособие для вузов / В. В. Крухмалев [и др.] ; под ред. В. В. Крухмалева. – М. : Радио и связь, 1996. – 344 с.
- 5 Слепов, Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н. Н. Слепов. – М. : Радио и связь, 2000. – 468 с.
- 6 Гордиенко, В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. – М. : Горячая линия–Телеком, 2005. – 416 с.
- 7 Слепов, Н. Н. Синхронные цифровые сети SDH / Н. Н. Слепов. – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997. – 148 с.
- 8 Ракк, М. А. Измерения в цифровых системах передачи / М. А. Ракк : учеб. пособие для вузов – М. : Маршрут, 2004. – 196 с.
- 9 Битнер, В. И. Нормирование качества телекоммуникационных услуг : учеб. пособие для вузов / В. И. Битнер, Г. Н. Попов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 312 с.
- 10 Бесслер, Р, Дойч А. Проектирование сетей связи / Р. Бесслер, А. Дойч : справочник. – М. : Радио и связь, 1988. – 272 с.
- 11 Фриман, Р.. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – М. : Техносфера, 2006. – 496 с.
- 12 Фокин, В. Г. Оптические системы передачи и транспортные сети / В. Г. Фокин. – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 2008. – 288 с.
- 13 Алексеев, Е. Б. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей : учеб. пособие для вузов / Е. Б. Алексеев [и др.] : под ред. В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкого. – М. : Горячая линия–Телеком, 2008. – 392 с.
- 14 ITU-T Recommendation G.703 (2005). Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.
- 15 ITU-T Recommendation G.742 (1988). Second order digital multiplex equipment operating at 8448 kbit/s and using positive justification.
- 16 ITU-T Recommendation G.751 (1988). Digital multiplex equipments operating at the third order bit rate of 34 368 kbit/s and the fourth order bit rate of 139 264 kbit/s and using positive justification.
- 17 ITU-T Recommendation G.753 (1980). Third order digital multiplex equipment operating at 34 368 kbit/s and using positive/zero/negative justification.

18 ITU-T Recommendation G.921 (1988). Digital sections based on the 2048 kbit/s hierarchy.

19 ITU-T Recommendation G.801 Digital transmission models.

20 ITU-T Recommendation G.811 Timing characteristics of primary reference clocks.

21 ITU-T Recommendation G.821 (2000) Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an Integrated Services Digital Network.

22 ITU-T Recommendation G.823 (2000) The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy.

23 ITU-T Recommendation G.822 (1988). Controlled slip rate objectives on an international digital connection.

24 ITU-T Recommendation G.823 (2000). The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy.

25 ITU-T Recommendation G.825 (2008). The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).

26 ITU-T Recommendation G.826 (2002). End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections.

27 ITU-T Recommendation G.827 (2003). Availability performance parameters and objectives for end-to-end international constant bit-rate digital paths.

28 ITU-T Recommendation G.828 (2000). Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate synchronous digital paths.

29 ITU-T Recommendation G.829 (2002). Error performance events for SDH multiplex and regenerator sections.

30 ITU-T Recommendation M.2100 (2003). Нормы качественных показателей при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных трактов и соединений PDH многих операторов.

31 ITU-T Recommendation M.2101 (2003). Предельные значения рабочих характеристик при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных мультиоператорных трактов и мультиплексных участков SDH.

32 ITU-T Recommendation O.171 (1997). Timing jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH).

33 ITU-T Recommendation O.172 (2005). Аппаратура для измерения фазового дрожания и дрейфа фазы для цифровых систем, построенных на основе синхронной цифровой иерархии (СЦИ).

Учебное издание

Тарченко Надежда Владимировна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ
И ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Т. П. Андрейченко*

Корректор *А. В. Тюхай*

Компьютерная верстка *М. В. Гуртатовская*

Подписано в печать 01.04.2011. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. Уч.-изд. л. 3,5. Тираж 100 экз. Заказ 502.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6