

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»



Кафедра «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания
к выполнению практических занятий по дисциплине
«Методы технического контроля и управления в ЦСП»

(для студентов по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии
и системы связи профиль Мобильная связь и интернет вещей)

Ростов-на-Дону
2022

УДК 621.317
ББК 31.221
Б

Составители: доцент кафедры ИТСС Борисов Б.П.

Данное методическое пособие предназначено для обеспечения проведения практических занятий со студентами направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиля Мобильная связь и интернет вещей, квалификации «бакалавр».

Пособие обеспечивает получение практических навыков по основополагающим вопросам изучаемой дисциплины.

Объем методического пособия определен программой по дисциплине «Методы технического контроля и управления в ЦСП».

Рецензент: доцент кафедры ИТСС канд. тех. наук, доцент Ершов В.В.

Методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры ИТСС «19» декабря 2022 г. Протокол № 5.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Организация и проведение практических занятий.....	4
2	Практическое занятие № 1. Контроль работоспособности аппаратуры, каналов и трактов многоканальных систем передачи (МСП)	5
3	Практическое занятие № 2. Контроль состояния мультиплексора МЦП155К	11
4	Практическое занятие № 3. Расчет эксплуатационных норм на составной канал	14
5	Практическое занятие № 4. Оптимизация решений по организации технической эксплуатации по критерию надежности	21

1 ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Цели практических занятий:

- помочь обучающимся систематизировать, закрепить и углубить знания теоретического характера;
- научить студентов приемам решения практических задач, способствовать овладению навыками и умениями выполнения расчетов, графических и других видов заданий;
- научить их работать с книгой, служебной документацией и схемами, пользоваться справочной и научной литературой;
- формировать умение учиться самостоятельно, т.е. овладевать методами, способами и приемами самообучения, саморазвития и самоконтроля.

Практические занятия — метод репродуктивного обучения, **обеспечивающий связь теории и практики, содействующий выработке** у студентов умений и навыков применения знаний, полученных на лекции и в ходе самостоятельной работы.

Практические занятия играют важную роль в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач совместно с преподавателем.

Структура практических занятий:

1. Вступление преподавателя – 5 мин.
2. Ответы на вопросы студентов по неясному материалу – до 10 мин. вначале и далее по мере необходимости.
3. Практическая часть – до 160 мин.
4. Заключительное слово преподавателя – до 5 мин.

Практические занятия представляют собой занятия по решению различных прикладных задач, теоретический материал для которых был дан на лекциях. В итоге у каждого обучающегося должен быть выработан определенный профессиональный подход к решению каждой задачи и интуиция. На практические занятия выносятся четыре задачи. Преподаватель стремится к тому, чтобы занятие давало целостное представление о предмете и методах изучаемой дисциплине, причем методическая функция выступает здесь в качестве ведущей.

Список рекомендованной литературы:

1. Хамадулин Э.Ф. Методы и средства измерений в телекоммуникационных системах. Учебное пособие - М.: Юрайт, 2014
2. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов - М.: Горячая линия - Телеком, 2013
3. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов - М.: Горячая линия – Телеком, 2012

Практическое занятие №1

Тема: Контроль работоспособности аппаратуры, каналов и трактов многоканальных систем передачи (МСП)

Постановка задачи:

1. Провести выбор контролируемых параметров МСП
2. Выполнить контроль работоспособности мультиплексора SDH в период эксплуатации

Краткие теоретические сведения

Система передачи является объектом, подвергающимся в процессе эксплуатации периодическому или непрерывному контролю. В самом общем виде любую СП можно представить в виде динамической системы, выполняющей преобразование, и передачу входных сигналов в виде некоторых функций. В этом случае при исправном состоянии ОК каждой входной функции соответствует вполне определенная функция на выходе. Таким образом, в самом общем виде процесс контроля можно представить как контроль выходной функции времени, являющейся реакцией системы на входную функцию времени.

Система передачи как ОК представляет собой сложную систему, имеющую множество параметров и характеристик. По сути, каждый канал и каждый тракт можно представить как отдельную систему с большим числом параметров. Параметры СП характеризуются:

- номинальным значением и границами допусков (*допуск* — установленные расчетным или опытным путем границы для значений параметра, при которых ОК способен выполнять заданные функции в течение требуемого времени в заданных условиях работы);
- зависимостью от внешних условий (температуры, влажности и т. п.);
- требуемой точностью измерений;
- закономерностью изменения во времени в период эксплуатации;
- функциональной зависимостью от других величин и процессов.

Для удобства анализа параметры классифицируются по различным признакам.

По способу определения различают параметры:

- выраженные электрическими величинами и оцениваемыми прямыми измерениями (например, уровень измерительного сигнала);
- измеряемые косвенным путем (остаточное затухание или его отклонение, затухание нелинейности);
- неэлектрические величины, измерения которых и передача на расстояние требуют предварительного преобразования (давление воздуха в кабеле, температура и влажность в НУП или НРП);
- оцениваемые визуально (параметры, проверяемые световыми индикаторами).

Анализ эксплуатации оборудования показывает, что более 80... 90% параметров СП относятся к первой группе.

По *значимости* параметры могут быть:

- *определяющими* — их контроль позволяет оценить общую работоспособность СП. Параметры, используемые совместно с определяющими для отыскания мест повреждений, называются *вспомогательными*;

- *прогнозирующими* — содержат информацию, необходимую для прогноза технического состояния СП;

- *аварийными* — часть определяющих параметров, по которым судят о приближении аварийных режимов в работе СП.

В зависимости от *степени информативности* различают параметры:

- *выходных функций* СП, имеющие самую высокую степень обобщения информации о ее работоспособности (к ним относят определяющие параметры);

- *элементов* СП, имеющие самую низкую степень обобщения (обычно это вспомогательные варианты).

При выборе контролируемых параметров следует учитывать:

- степень влияния параметра на эффективность работы СП;
- величины отклонений параметров от номинальных значений;
- законы распределения контролируемых параметров;
- независимость (отсутствие корреляции) или степень корреляции параметров;
- стоимость контроля, т. е. условные затраты по всему комплексу факторов для обеспечения проведения данного вида измерений (возможность создания режима, выработка ресурса, аварийный характер параметра и т. п.).

Обычно при выборе контролируемых параметров проводятся теоретические и экспериментальные исследования, на основе результатов которых определяют вид и число параметров, подлежащих контролю, необходимое время контроля, а также номинальные и допустимые значения параметров. По подавляющему большинству параметров и характеристик СП, каналов и трактов имеются рекомендации МСЭ-Т, устанавливающие требования к их номинальным значениям и допускам.

К настоящему времени разработан ряд методов, позволяющих определить перечень и оптимальное число контролируемых параметров. Методы основаны на разработке математических моделей объектов контроля путем аналитического и статистического их описания. В качестве примера рассмотрим метод статистической оптимизации по критерию максимальной вероятности отказа параметра, основанный на построении физической модели объекта.

Метод условно можно разделить на три этапа. На первом этапе производятся исследование и анализ работы функциональных узлов аппаратуры и СП в целом, устанавливаются зависимости выходных сигналов от входных, а также от внутренних и внешних помех, определяется взаимная связь узлов аппаратуры и их параметров, выбирается исходное число контролируемых параметров.

Степень связи между параметрами h_i и h_j видна из выражения для предельного значения коэффициента корреляции:

$$Z_{hihj} = n_{\text{общ}} \cdot \sqrt{n_i \cdot n_j}, \quad (1.1)$$

где n_i и n_j — число вспомогательных параметров, влияющих на параметры h_i и h_j ; $n_{общ}$ — число вспомогательных параметров, общих для параметров h_i и h_j .

Исходное число параметров выбирается таким образом, чтобы контролем были охвачены все элементы системы. Достаточность исходных параметров проверяется расчетом полноты контроля по формуле (1.1).

На втором этапе рассчитывается вероятность отказа функциональных узлов (или аппаратуры, канала, тракта передачи). На основе полученных данных и результатов работы первого этапа составляется физическая модель объекта контроля. В зависимости от задач и глубины контроля в некоторых случаях физическая модель ОК может совпадать с его структурной, функциональной или даже принципиальной схемой. На рисунке 1.2 показан пример физической модели ОК, представляющего собой СП, где $u_{вх1}$, $u_{вхn}$, $u_{вых1}$, $u_{выхn}$ — соответственно входные и выходные сигналы n -канальной СП; $a_1 \dots, a_{10}$ — объединенные в группы аппаратура или отдельные виды оборудования СП.

Модель составляется таким образом, что каждая группа a_k ($k = 1, \dots, 10$) характеризуется одним параметром h_{ki} определенной степени обобщения. Если состояние какого-либо узла (аппаратуры) характеризуется несколькими параметрами, то он условно делится на некоторое количество a_k (по числу характеризующих параметров). Следовательно, состояние каждой группы a_k характеризуется одним обобщенным параметром

$$h_{ki} = f_k(a_i),$$

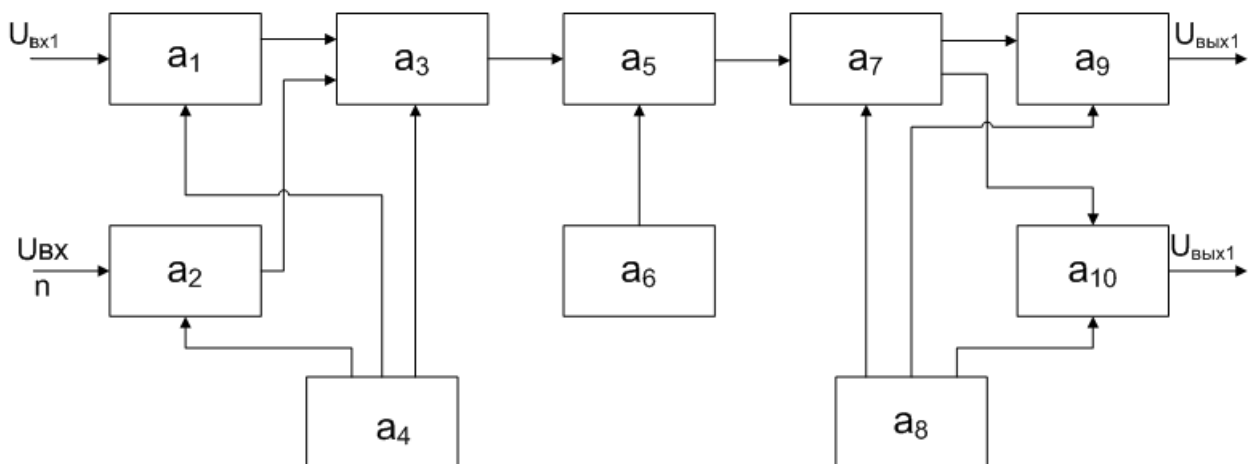


Рисунок 1.1 – Физическая модель Объекта контроля

где a_i — подмножество вспомогательных параметров, характеризующих узлы группы a_k .

Отклонение параметра h_{ki} от номинального значения вычисляется по формуле

$$\Delta h_{ki} = \sum_1^m \frac{df_k}{da_i} \Delta a_i,$$

где m — количество составляющих параметра h_{ki} .

Наличие в этой формуле разнополярных слагаемых может привести к взаимной компенсации отклонений параметров подмножества a_i . Благодаря этому параметр h_{ki} может иметь номинальное значение даже при выходе некоторых Δa_i , за пределы

допуска. Например, АЧХ линейного тракта может оказаться в допустимых пределах даже при выходе за нормы одноименных характеристик отдельных участков тракта.

Нестабильность остаточного затухания (усиления) линейных и групповых трактов СП определяется одновременным действием множества нестабильностей отдельных узлов аппаратуры и участков линейного тракта. Поэтому она представляет собой случайный стационарный процесс с нормальным распределением плотности вероятности. В силу этого обработка результатов измерений должна происходить по правилам математической статистики для нахождения вероятностных характеристик случайного процесса (математического ожидания, дисперсии и т. д.).

На третьем этапе рассчитываются вероятности отказа каждой группы a_k , по максимальной из них выбираются контролируемые параметры и устанавливается очередность их проверки.

Приведенным методом могут быть определены контролируемые параметры каналообразующей аппаратуры СП, аппаратуры сопряжения и линейного тракта, оборудования линейных сооружений и дистанционного питания.

При организации контроля параметры и характеристики СП целесообразно подразделять на основные, дополнительные и факультативные.

В связи с большим числом и разнообразием параметров и характеристик СП их контроль и измерение классифицируются по многим признакам.

Основанные на тех или иных методах измерений методы контроля параметров каналов и трактов СП можно подразделять на контроль работоспособности, диагностический контроль и прогнозирующий контроль.

Контроль работоспособности. В период эксплуатации работоспособность аппаратуры, каналов и трактов СП может контролироваться различными методами. Наиболее распространенными являются методы предпочтения и составления графа принятия решений.

При методе предпочтения построение программы контроля работоспособности основано на определении порядка проверок. Принцип выбора порядка заключается в том, чтобы каждая предыдущая проверка давала бы информацию о техническом состоянии наибольшего числа элементов аппаратуры (канала, тракта, СП).

Последовательность проверок составляется на основе функции: предпочтения, которая ставит в соответствие каждому контролируемому параметру некоторое число, зависящее от структуры контролируемого объекта. Программа контроля работоспособности, строится с учетом выполнения проверки параметров в порядке, убывания функции предпочтения.

Следует отметить, что указанный способ определения функция предпочтения предполагает равновероятность отказов элементов объекта контроля и равное время их контроля. При различных вероятностях отказов и разном времени выполнения проверок функция предпочтения рассчитывается как отношение суммарной, вероятности отказов элементов, подверженных проверке, ко времени выполнения проверки. Рассмотрим пример.

Предположим, что аппаратура состоит из восьми функциональных узлов (рисунок 1.2). Допустим, что, полагая одинаковыми вероятности отказов всех узлов и длительности проверок каждого выхода z_i , рассчитаны функции предпочтения $f_n(2) = 0,38$; $f_n(4)=0,38$; $f_n(6)=0,5$.

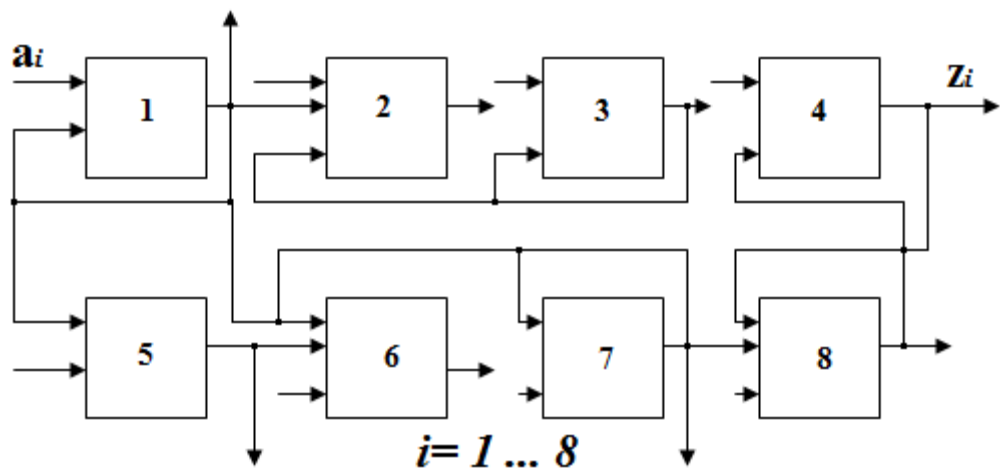


Рисунок 1.2 – Функциональная схема аппаратуры

Следовательно, контроль необходимо начинать с проверки узла 6. Этой проверкой контролируются узлы 1, 5, 6 и 7 (см. граф выходов на рисунок 1.3), Последовательность контроля узлов 2, 4 и 8 произвольная, так как у них функции предпочтения одинаковы.

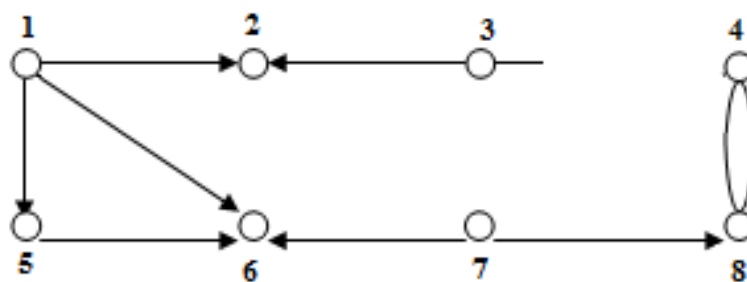


Рисунок 1.3 - Граф выходов

Рассмотренный метод контроля позволяет минимизировать время оценки работоспособности объекта эксплуатации.

Метод составления графа принятия решений относится к вероятностным методам. Суть метода представлена в рисунке 1.4, на котором приведен граф процесса принятия решений.

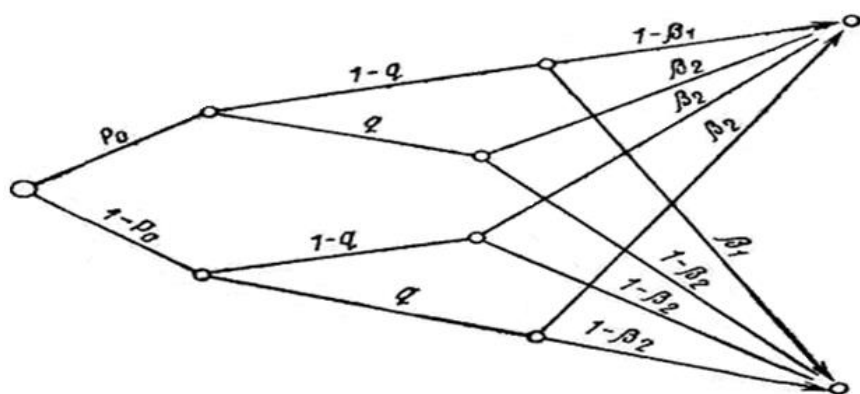


Рисунок 1.4 - Графа принятия решений

Принятые на графе обозначения: P_0 — вероятность исправного технического состояния ОК; q — вероятность отказа ОК в процессе контроля β_1 — вероятность принятия исправного объекта за неисправный (ошибка I рода); β_2 — вероятность принятия неисправного объекта за исправный (ошибка II рода). Полагаем, что указанные вероятности независимы.

Из графа с учетом независимости отмеченных вероятностей следует, что вероятность принятия объекта работоспособным без учета результатов контроля $P_p = P_0(1-q)(1-\beta_1)$, а с учетом результатов контроля

$$P_{pk} = P_0[(1-q)(1-\beta_1) + q\beta_2] + (1-P_0)[(1-q)\beta_2 + q\beta_2].$$

Вероятности принятия объекта неработоспособным соответственно будут: $P_{np} = q(1-P_0)(1-\beta_2)$ и $P_{npk} = P_0[(1-q)\beta_1 + q(1-\beta_2)] + (1-P_0)[(1-q)(1-\beta_2) + q(1-\beta_2)]$.

Отношение P_p/P_{pk} определяет достоверность контроля.

В качестве контролируемого оборудования взять аппаратуру гибкого мультиплексирования МК 2048 ГК.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите виды контроля?
2. Приведите характеристики контроля?
3. Что следует учитывать при выборе параметров контроля?
4. Перечислите основные этапы контроля.
5. Дайте характеристику основным методам контроля.
6. К каким методам относится составления графа принятия решений.

Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Расчеты.
4. Выводы.

Практическое занятие №2.

Тема: Контроль состояния мультиплексора МЦП155К

Постановка задачи:

1. Провести внешний осмотр оборудования
2. Провести функциональный контроль мультиплексора.

Краткие теоретические сведения

МЦП-155К является развитием ряда выпускаемых НПП «Новел-ИЛ» высокотехнологичных систем передачи и создан на базе мультиплексора ADR 155C фирмы SAGEM. МЦП-155К (рисунок 2.1) представляет собой компактный мультиплексор 1-го уровня SDH нового поколения, способный обеспечить интеграцию услуг традиционных телекоммуникаций и Internet.

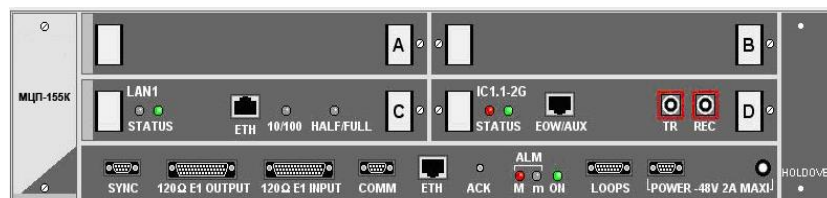


Рисунок 2.1 – Внешний вид передней панели мультиплексора

МЦП-155К построен по модульному принципу и содержит материнскую плату, поддерживающую основные функции мультиплексора, в том числе кросс-коммутацию, и четыре слота для установки трибутарных (компонентных) и линейных интерфейсов.

МЦП-155К, благодаря модульной архитектуре построения, в одном конструктивном исполнении может реализовать функции:

- терминального мультиплексора на 63x2 Мбит/с или 3x34 Мбит/с компонентных потока -МЦП-155КТ;
- мультиплексора ввода/вывода 63x2 Мбит/с компонентных потока - МЦП-155КА;
- регенератора агрегатного потока 155 Мбит/с -МЦП-155КР;
- кросс-коммутатора VC12, VC3, VC4 с полнодоступной матрицей кросс-коммутации на пять направлений STM-1 - МЦП-155КК;
- компактного терминального мультиплексора для оптических выносов на 21x2 Мбит/с компонентных потока МЦП-155КС.

МЦП-155К, кроме традиционных потоков PDH, имеет возможность транспортирования и кросс-коммутации потоков LAN, таких как Ethernet 10 и 100, V.11 и HSSI.

МЦП-155К обеспечивает защиту трафика по схемам MSP и 1+1.

МЦП-155К имеет возможность локального конфигурирования и обслуживания, а также интегрируется в системы сетевого управления IONOS-ANM, IONOS-NMS фирмы SAGEM и систем других производителей, поддерживающих протокол управления SNMP

МЦП155К Н является оптическим STM-1/STM-4 мультиплексором цифровых потоков ввода/вывода, используемым для построения:

- STM -1/ STM -4 линий связи по типу точка – точка;
- STM -1 или STM -4 для построения кольца;
- сетей связи с SNC или MSP резервированием;
- транспортировки потоков 2 Мбит/с, 34 или 45 Мбит/с, сигналов Ethernet, сигналов STM -1.

МЦП155К Н может использоваться как:

- окончечный STM -1 мультиплексор на 63 потока VC12 с резервированием 1+1 (МЦП155К НТ),
- STM регенератор, передающий 2 VC4 (два двухсторонних регенератора) (МЦП155К НР),
- STM -4 мультиплексор ввода - вывода с емкостью 63 через один AU4 на плате STM -4 (МЦП155КНА),
- STM-1 мультиплексор с функцией кросс-коннектирования VC12, VC3 или VC4 максимум до 4-х направлений STM-1 и с выделением до 21 VC12 , (МЦП155К НК)
- мультиплексор ПЛС через точку подсоединения VC12 или VC3 (через плату ПЛС 10/100 (ADR-LAN1) или через плату ПЛС-GFP-IO/IOO (GFP1500).

Управление МЦП155К Н может осуществляться:

- локальным терминалом с эмуляцией VT100 (COMM доступ);
- HTTP сервером для локального или удаленного управления с использованием Веб-Браузера;
- удаленно с помощью SNMP протокола. В этом случае, протокол SNMP обеспечивает общий сетевой мониторинг.

Использование местного терминала с эмулятором VT100 является необходимым при первом пуске оборудования для конфигурирования параметров связи.

Мультиплексор МЦП155К Н размещается в 19-ти дюймовых или ESTI несущих конструкциях. МЦП155К Н состоит из следующих узлов:

- секция МЦП155К/2G высотой 2U, включающая в себя:
 - а) каркас секции с кроссплатой и устройством удержания частоты;
 - б) базовый блок (ББ) с выделением 21xE1 и модулем питания;
- блок вентиляторов (БВ) состоит из двух вентиляционных узлов;
- встроенное программное обеспечение для конфигурирования и управления с локального терминала.

Базовый блок выполняет основные функции оборудования: контроль, кросс-коммутацию, синхронизацию системы, доступ к 21-му потоку 2 Мбит/с по G.703.

Четыре платы передачи, которыми могут быть:

- оптическая плата STM -1 для стыков IC1.1-2G и IC1.2-2G обеспечивающая передачу по VC4 или 3 соединения по VC3 или 63 соединения по VC12 или комбинации соединений VC3/VC12;
- оптическая плата STM -4 для стыков S4.1 (плата МА-S4.1) или L4.1 (плата МА-L4.1) или L4.2 (плата ИА-14.2) обеспечивающая передачу по VC4 или 3 соединения по VC3 или 63 соединения по VC12 или комбинации соединений VC3/VC12;
- плата локальной сети Ethernet 10/100 обеспечивающая передачу 2-х VC3;

- плата локальной сети Ethernet 10/100 на 8 портов обеспечивающая передачу до 63-х VC12 или до 3-х VC3 в восьми виртуальных связных группах;
- G.703 плата 34/45 Мбит/с, , обеспечивающая передачу 1 VC3;
- G.703 плата 21х2 Мбит/с, обеспечивающая передачу 21 VC12 со стыком 120 Ом.

Контрольные вопросы (ПК-2.3):

1. Физические и электрические характеристики интерфейсов ОЦК и цифровых трактов
2. Перечислите интерфейсы мультиплексора МЦП155К.
3. Какими параметрами являются показатели ошибок?
4. К каким параметрам относятся показатели дрожания и дрейфа фазы?
5. Величина блока для первичного тракта при определении блочных ошибок?
6. Какие параметры определяют качество передачи?
7. Типы норм.
8. Какие параметры являются косвенными параметрами?

Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Операции контроля и состояние функциональных блоков.
4. Выводы.

Практическое занятие №3.

Расчет эксплуатационных норм на составной канал

Краткие теоретические сведения

Семейство интерфейсов сетевого узла объединяет интерфейсы основного цифрового канала ОЦК и цифровых сетевых трактов различного уровня. Физические и электрические характеристики данных интерфейсов определены рекомендацией G.703 МСЭ-Т для обеспечения возможности соединения элементов цифровых сетей при формировании международных линий связи или соединений.

В таблице 3.1 приведены основные физические и электрические характеристики ОЦК и трактов, относящихся к европейской плезиохронной цифровой иерархии. В семейство интерфейсов сетевого узла включен также электрический интерфейс тракта первого уровня синхронной цифровой иерархии STM-1e.

Таблица 3.1 – Характеристики цифровых трактов

Тракт	ОЦК ¹⁾	ПЦТ	ВЦТ	ТЦТ	ЧЦТ	STM-1
Скорость передачи, кбит/с	64	2048	8448	34368	139264	155520
Относительная нестабильность скорости передачи, ppm	50	50	30	20	15	20
Вид входа	симм.	несимм./симм.	несимм.	несимм.	несимм.	несимм.
Сопротивление, Ом	120	75/120	75	75	75	75
Амплитуда импульса, В	1,0 ²⁾	3,7/3,0	2,37	1,0	±0,55 ⁵⁾	±0,55 ⁵⁾
Длительность импульса ³⁾ , нс	3,9/7,8, 7,8/15,6, мкс	244	59	14,55	3,59/7,19	3,216/6,43
Код	⁴⁾	HDB3	HDB3	HDB3	CMI	CMI
¹⁾ для ОЦК применяется три типа интерфейса: сонаправленный, разнонаправленный и с центральным тактовым генератором ²⁾ для интерфейса с центральным генератором 1,1 В для нормальных условий и 3,4 В при повышенных помехах. ³⁾ числитель соответствует одиночному импульсу, знаменатель - сдвоенному. Для ОЦК длительность импульсов указана в мкс, для других трактов в нс ⁴⁾ для сонаправленного интерфейса применяется октетный код, для других - код AMI ⁵⁾ маска импульса симметрична и не имеет нулевого значения.						

Помимо указанных параметров для интерфейсов сетевого узла задаются и некоторые другие. Следует отметить такой параметр, как форма импульса и соответствующее поле допуска (маска импульса). Этот параметр задается для каждой скорости передачи и для каждой возможной длительности (одиночный или сдвоенный импульс). На рис.1 в качестве примера приведена маска одиночного импульса сонаправленного интерфейса основного цифрового канала. На рисунке жирной линией показана половина неискаженного прямоугольного импульса, штриховые линии, помещенные выше и ниже, ограничивают область, в которой может размещаться импульс, качество которого находится в допустимых пределах.

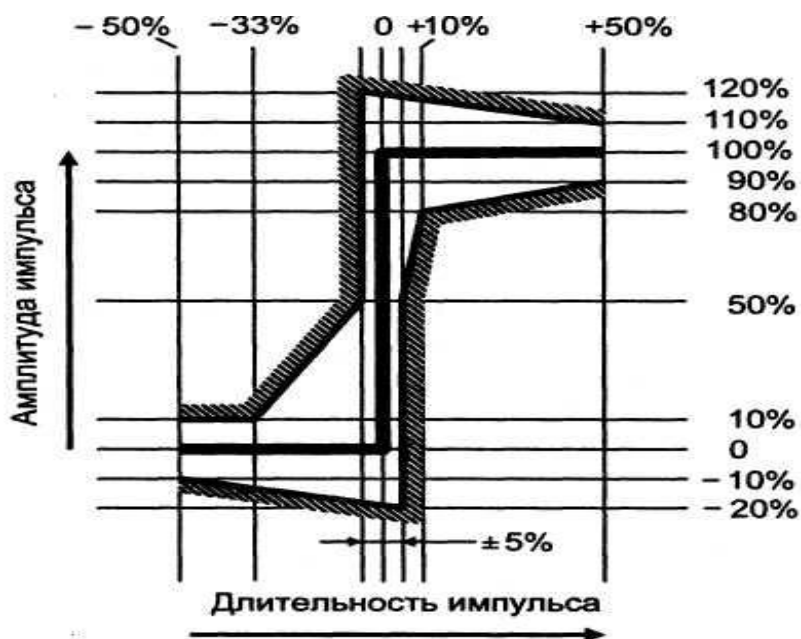


Рисунок 3.1 - Маска для одиночного импульса сонаправленного интерфейса ОЦК

2. Нормирование ошибок в каналах и трактах

В настоящее время для цифровых каналов и трактов первичной магистральной сети и первичных внутризоновых сетей разработаны нормы на важнейшие параметры, определяющие качество передачи. Это нормы на показатели ошибок и показатели дрожания и дрейфа фазы. В ближайшее время должна быть закончена разработка норм для трактов СЦИ, а также определены нормы на проскальзывания и время распространения в цифровых каналах и трактах ПЦИ. Кроме этого, пока отсутствуют нормы на каналы и тракты местных первичных сетей и нормы на показатели надежности каналов и трактов.

Показатели ошибок являются статистическими параметрами, поэтому соответствие их нормам может быть определено в результате более или менее длительных периодов наблюдения. Различают нормы долговременные и оперативные. Первые из них разработаны на основе рекомендаций МСЭ-Т G.821 (для каналов 64 кбит/с) и G.826 (для трактов со скоростью передачи от 2048 кбит/с и выше). Оперативные нормы требуют относительно коротких периодов наблюдения; нормы эти определены на основе рекомендаций МСЭ-Т M.2100, M.2110, M.2120,

Долговременные нормы используются при проверке качественных показателей каналов и трактов нового оборудования ЦСП, которое ранее на первичной сети РФ не

применялось. Оперативные нормы подразделяются на нормы для ввода трактов в эксплуатацию, нормы технического обслуживания и нормы восстановления систем.

Нормы для ввода в эксплуатацию используются при вводе в эксплуатацию оборудования, аналогичного уже работающему на сети и прошедшему испытания на соответствие долговременным нормам. Нормы технического обслуживания используются в процессе эксплуатации каналов и трактов для контроля их параметров. При выходе этих параметров за допустимые пределы принимается решение о выводе трактов из эксплуатации. Нормы восстановления систем используются при сдаче тракта в эксплуатацию после ремонта оборудования. Соотношения между указанными нормами наглядно представлены на рис. 2.

Показатели дрожания и дрейфа фазы не относятся к статистическим параметрам, а потому для проверки их соответствия нормам не требует длительного времени измерения. В настоящее время определены следующие виды норм:

- сетевые предельные нормы на иерархических стыках;
- предельные нормы на фазовое дрожание цифрового оборудования;
- нормы для фазового дрожания цифровых участков.



Рисунок 3.2 - Классификация норм на показатели ошибок

Необходимо иметь в виду, что процесс работы над нормированием параметров качества принципиально не может быть завершен, поскольку оборудование неуклонно совершенствуется и, кроме того, появляются новые технологии передачи информации. Поэтому существующие нормы постоянно дорабатываются и уточняются.

Параметры ошибок для ОЦК. В течение длительного времени единственным параметром ошибок являлся коэффициент ошибок по битам BER - отношение числа неправильно принятых битов к общему числу принятых битов в течение достаточно длительного интервала времени. Этот параметр вполне пригоден для оценки качества передачи, если в тракте преобладают случайные одиночные ошибки. В общем случае, когда ошибки могут образовывать пакеты той или иной величины, более подходят параметры, определенные в рекомендации G.821 МСЭ-Т - процент временных интервалов, в которых появление ошибок превышает некоторый заданный порог. Такими временными интервалами являются:

- **секунда с ошибками** ES_K - период в 1 секунду, в течение которого наблюдалась хотя бы одна ошибка;

- **секунды, пораженные ошибками** SES_K - период в 1 секунду, в течение которого коэффициент ошибок был более 10^3 .

Для этих интервалов определены коэффициенты ошибок:

- **коэффициент ошибок по секундам с ошибками** ESR - отношение числа ES_K к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений.

- **коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками** $SESR$ - отношение числа SES_K к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений.

Параметры ошибок для сетевых трактов. В современных системах связи используются встроенные системы контроля появления ошибок. Суть их работы заключается в разбиении цифрового потока на блоки и определении на передаче и приеме для каждого блока некоторого параметра. Так, при контроле циклическим кодом CRC определяется остаток от деления содержания данного блока на образующий полином. При контроле кодом ВРР определяется бит, дополняющий число единиц в блоке до четного числа (1 или 0). Полученные результаты на передаче и приеме сравниваются; в случае их совпадения делают заключение об отсутствии ошибок в принятом блоке, а при расхождении - о наличии ошибок. В связи с этим в рекомендации G.826 МСЭ-Т осуществлен переход к определению блочных ошибок. При этом используются такие понятия:

- **блок** - последовательность, ограниченная по числу бит, относящихся к данному тракту; при этом блоки не должны перекрываться, количество бит в блоке зависит от скорости передачи (табл. 2);

- **блок с ошибками** EB_T - блок, в котором один или несколько битов являются ошибочными;

- **секунда с ошибками** ES_T - период в 1 секунду с одним или несколькими ошибочными блоками;

- **секунда, пораженная ошибками** SES_T - период в 1 секунду, содержащий $\geq 30\%$ блоков с ошибками (EB) или, по крайней мере, один период с серьезными нарушениями;

- **коэффициент ошибок по секундам с ошибками** ESR - отношение числа ES_T к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений;
- **коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками** SESR - отношение числа SES_T к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений;
- **период с серьезными нарушениями** SDP - период длительностью, равной 4 смежным блокам, в каждом из которых коэффициент ошибок $\geq 10^{-2}$ или в среднем за 4 блока коэффициент ошибок $\geq 10^{-2}$, или же наблюдалась потеря сигнальной информации;
- **блок с фоновой ошибкой** BBE - блок с ошибками, не являющийся частью SES;
- **коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками** BBER - отношение числа блоков с фоновыми ошибками ко всему количеству блоков в течение готовности за фиксированный интервал измерений за исключением всех блоков в течение SES_T ;
- **период неготовности** для одного направления тракта - это период, начинающийся с 10 последовательных секунд SES (эти 10 секунд считаются частью периода неготовности) и заканчивающийся до 10 последовательных секунд без SES (эти 10 секунд считаются частью периода готовности).

Таблица 3.2 – Характеристики блоков цифровых трактов

Тип тракта	Скорость передачи, кбит/с	Величина блока, бит	Длительность блока, мкс	Код проверки
Первичный (ПЦСТ)	2048	2048	1000	CRC-4
Вторичный (ВЦСТ)	8448	4224	500	–
Третичный (ТЦСТ)	34368	4296	125	–
Четверичный (ЧЦСТ)	139264	17408	125	–
VC-11	1664	832	500	BIP-2
VC-12	2240	1120	500	BIP-2
VC-2	6848	3424	500	BIP-2
VC-3	48960	6120	125	BIP-8
VC-4	150336	18792	125	BIP-8

Период неготовности для тракта - это период, когда хотя бы одно из направлений его находится в состоянии неготовности.

При измерениях без закрытия связи можно определять параметры ESR и SESR косвенно. Косвенными параметрами являются *аномалии и дефекты*.

Состояния аномалии без прекращения связи используются для определения показателей ошибок тракта, когда тракт не находится в состоянии дефекта. Определены следующие две категории аномалий, относящихся к приходящему сигналу:

- a_1 - цикловой синхросигнал (FAS) с ошибками;
- a_2 - блок с ошибками (EB), обнаруженный с помощью методов встроенного контроля (циклический контроль избыточности, проверка на четность) - не применима для трактов типа 2 и 3 (см. ниже).

Состояния дефекта без прекращения связи используются, чтобы обнаружить изменение состояния качественных показателей, которое может произойти в тракте. Определены следующие три категории дефектов, относящихся к приходящему сигналу;

- d_1 -пропадание сигнала (LOS);
- d_2 -сигнал индикации аварийного состояния СИАС (AIS);
- d_3 — пропадание цикловой синхронизации (LOF).

Критерии возникновения состояния дефектов должны соответствовать конкретной аппаратуре. Для аппаратуры различных уровней иерархии для состояния дефектов LOS и AIS критерии определены, в рекомендации G.775 МСЭ-Т, а дефекта LOF также в рекомендациях серий от G.730 до G.750.

В табл. 3 приведены правила, по которым должны формироваться значения показателей ошибок, исходя из зарегистрированных аномалий и дефектов, для имеющихся на ЕСЭ типов трактов.

В зависимости от системы встроенного контроля (ВК) без прекращения связи, имеющихся в аппаратуре образования тракта, может оказаться невозможным получение всей совокупности параметров качественных показателей. Для ВСС может быть определено три типа трактов.

Таблица 3.3 - Правила формирования значения показателей ошибок

Тип	Параметр	Критерии оценки результатов измерений
1	ESR	ES отмечается тогда, когда в течение одной секунды возникает, по крайней мере, одна аномалия a_1 и a_2 или один дефект от d_1 до d_3
	SESR	SES отмечается тогда, когда в течение одной секунды возникает, по крайней мере, «х» аномалий a_1 или a_2 или один дефект от d_1 до d_3 (примечание 1 и 2)
	BBER	BBE отмечается тогда, когда в течение 1 секунды в блоке, не являющемся частью SES, возникает аномалия a_1 или a_2
2	ESR	ES отмечается тогда, когда в течение одной секунды возникает, по крайней мере, одна аномалия a_1 или a_2 или один дефект от d_1 до d_3
	SESR	SES отмечается тогда, когда в течение одной секунды возникает, по крайней мере, «х» аномалий a_1 или один дефект от d_1 до d_3 (примечание 2)
3	SESR	SES отмечается тогда, когда в течение одной секунды возникает, по крайней мере, один дефект d_1 или d_2 (примечание 2)
<p>1. Если в течение интервала одного блока возникает более, чем одна аномалия a_1 или a_2, должна отсчитываться одна аномалия.</p> <p>2. Значения «х» для трактов разного порядка указаны в соответствующих нормах, например, для тракта со скоростью 2,048 Мбит/с SES отмечается при появлении ≥ 2805 блоков CRC-4 с ошибками. В общем случае при появлении аномалии фиксируется ES, а при появлении дефекта – SES.</p>		

Тип 1: Тракт с цикловой и блоковой структурой.

Обеспечивается определение с помощью средств ВК всей совокупности дефектов от d_1 до d_3 и аномалий a_1 и a_2 .

Примерами данного типа тракта являются:

- первичные и вторичные тракты с CRC (от 4 до 6) в соответствии с рекомендацией G.704 МСЭ-Т;

- четверичные тракты с битом проверки на четность каждого цикла в соответствии с рекомендацией G.755 МСЭ-Т.

Тип 2: Тракты с цикловой структурой.

Обеспечивается определение с помощью средств ВК всей совокупности дефектов от d_1 до d_2 и аномалий a_1 .

Примерами данного типа тракта являются типовые сетевые тракты от первичного до четверичного в соответствии с ГОСТ 27763-88.

Тип 3: Тракты без циклов.

Обеспечивается определение с помощью средств ВК ограничений совокупности дефектов d_1 и d_2 , которые не включают проверку любой ошибки. Не имеется контроля циклового синхросигнала (FAS).

Примером данного типа тракта может быть цифровой канал, предоставляемый потребителю, образованный в нескольких трактах более высокого порядка, соединенных последовательно.

Контрольные вопросы:

1. Категории аномалий и дефектов.
2. Параметры ошибок для ОЦК.
3. Параметры ошибок для сетевых трактов.
4. Характеристики блоков цифровых трактов.
5. Величина блока для первичного тракта при определении блочных ошибок?
6. Нормы на важнейшие параметры, определяющие качество передачи?
7. Типы трактов.
8. Правила формирования значения показателей ошибок.
9. Распределение ошибок для ОЦК в тракте максимальной протяженности.
10. Нормирование протяженности участков на ЕСЭ.

Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Расчет эксплуатационных норм на составной канал.
4. Выводы.

**Оптимизация решений по организации технической эксплуатации
по критерию надежности**

1. Оптимизация периода ПТО по минимуму коэффициента простоя
2. Оптимизация периода ПТО по минимуму затрат
3. Оптимизация поиска неисправности при организации КТО

Рассмотрим случай, когда в процессе ПТО в промежутках между периодическими профилактиками устраняются только явные отказы, носящие чисто случайный характер и имеющие интенсивность λ . Эти отказы ликвидируются техническим персоналом с интенсивностью восстановления

$$\mu = 1/T_v$$

Скрытые отказы (например, недопустимое ухудшение некоторых показателей качества), имеющие интенсивность Λ , обнаруживаются и устраняются только при проведении профилактики, продолжительность которой примем неизменной и равной $T_{пр}$.

Если период T , через который повторяют профилактику, велик, то велика опасность продолжительного скрытого отказа.

При малом T велики затраты времени на проведение профилактических работ. На рис. 1 приведена диаграмма процесса ПТО.

Явный отказ, возникший в момент $t = 0$, будет устранен в среднем через T_v (на графике ξ - случайная величина). Среднее число таких отказов

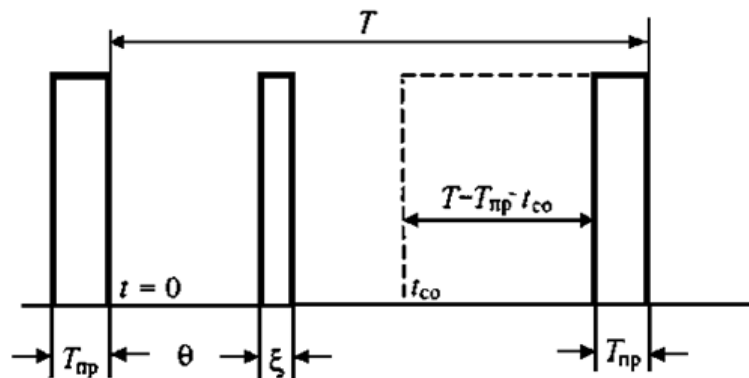


Рисунок 4.1 – Временная диаграмма процесса ПТО

за время $T - T_{\text{пр}}$ между соседними профилактиками равно: $\lambda(T - T_{\text{пр}})$, а их средняя суммарная продолжительность: $\lambda(T - T_{\text{пр}}) \cdot T_{\text{в}}$.

Простой из-за скрытых отказов, в момент $t = t_{\text{со}}$, ($t_{\text{со}}$ – случайная величина) найдется с учетом вероятности этих отказов, как математическое ожидание, т.е. как величина $\overline{t_{\text{скр}}}$ продолжительности скрытого отказа $T - T_{\text{пр}} - t_{\text{со}}$:

$$\begin{aligned}\overline{t_{\text{скр}}} &= \int_0^{T-T_{\text{пр}}} (T - T_{\text{пр}} - t) f(t) dt = \int_0^{T-T_{\text{пр}}} (T - T_{\text{пр}} - t) \cdot \Lambda e^{-\Lambda t} dt = \\ &= T - T_{\text{пр}} - \frac{1 - e^{-\Lambda(T-T_{\text{пр}})}}{\Lambda},\end{aligned}$$

откуда при условии, что простои должны составлять малую долю времени, т.е. $\Lambda(T - T_{\text{пр}}) \ll 1$ (и $e^{-x} = 1 - x + x^2/2$), получим:

$$\overline{t_{\text{скр}}} = \frac{\Lambda(T - T_{\text{пр}})^2}{2}.$$

Суммарная продолжительность простоев за период профилактики составит:

$$\begin{aligned}\overline{t_{\text{пр}}} &= T_{\text{пр}} + \lambda(T - T_{\text{пр}})T_{\text{в}} + \Lambda(T - T_{\text{пр}})^2 \cdot 1/2 = \\ &= \left[T_{\text{пр}} - \lambda T_{\text{пр}} T_{\text{в}} + \frac{\Lambda T_{\text{пр}}^2}{2} \right] + T(\lambda T_{\text{в}} - \Lambda T_{\text{пр}}) + T^2 \frac{\Lambda}{2},\end{aligned}$$

а коэффициент простоя:

$$K_{\text{п}} = \frac{\overline{t_{\text{пр}}}}{T};$$

$$\frac{1}{T} \left(T_{\text{пр}} - \lambda T_{\text{пр}} T_{\text{в}} + \frac{\Lambda T_{\text{пр}}^2}{2} \right) + \lambda T_{\text{в}} - \Lambda T_{\text{пр}} + \frac{1}{2} \Lambda \cdot T.$$

Дифференцируя и приравнявая к нулю $\frac{dK_{\text{п}}}{dT}$, получим при условии,

что $\lambda T_{\text{в}} \ll 1$, $\Lambda T_{\text{пр}} \ll 1$:

$$T'_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2T_{\text{пр}}(1 - \lambda T_{\text{в}}) + \Lambda T_{\text{пр}}^2}{\Lambda}} \approx \sqrt{\frac{2T_{\text{пр}}}{\Lambda}};$$

$$K_{\text{п min}} \approx \lambda T_{\text{в}} + \sqrt{2\Lambda T_{\text{пр}}}.$$

Из полученных выражений видно, что интенсивность явных отказов λ , так же как и средняя продолжительность их устранения $T_{\text{в}}$, практически не влияет на выбор периода профилактики $T_{\text{опт}}$, хотя влияет на величину $K_{\text{п min}}$.

2. Оптимизация периода ПТО по минимуму затрат

Затраты, связанные с проведением профилактики, и затраты, обусловленные простоем объекта из-за скрытого отказа могут быть различными. Если период T будет мал, то велики затраты на ПТО. Но при большом T простой объекта из-за несвоевременности обнаружения скрытых отказов приведут к увеличению времени неоказания услуг связи, т.е. возрастут потери, характеризуемые штрафом $C_{\text{ш}}$ (потерей прибыли).

Поскольку средняя продолжительность времени простоя из-за скрытого отказа примерно равна:

$$\overline{t_{\text{скр}}} = \frac{\Lambda T^2}{2},$$

то суммарные затраты на ПТО за период T составят:

$$C = T_{\text{пр}} C_{\text{пр}} + \frac{1}{2} C_{\text{ш}} \Lambda T^2,$$

где $C_{\text{пр}}$ – затраты в единицу времени на проведение профилактики; $C_{\text{ш}}$ – затраты в единицу времени, связанные с простоем (штраф);

Определим суммарные затраты в единицу времени делением C на T :

$$C_1 = \frac{C}{T} = \frac{C_{\text{пр}} T_{\text{пр}}}{T} + \frac{\Lambda}{2} \cdot T.$$

Дифференцируя и приравнявая к нулю $\frac{dC_1}{dT}$, получим:

$$T_{\text{опт}}^C = \sqrt{\frac{2T_{\text{пр}}}{\Lambda} \cdot \frac{C_{\text{пр}}}{C_{\text{ш}}}},$$

$$C_{1\text{min}} = \sqrt{2\Lambda T_{\text{пр}} C_{\text{пр}} C_{\text{ш}}}.$$

Из полученных выражений следует, что величина установленного штрафа $C_{\text{ш}}$ и стоимость профилактики $C_{\text{пр}}$ одинаково влияют на затраты C_1 , но по-разному на периодичность ПТО, которая зависит не от абсолютных их величин, а от соотношения между ними. С ростом $\frac{C_{\text{пр}}}{C_{\text{ш}}}$

увеличивается $T_{\text{опт}}$. Причем, по сравнению с $T'_{\text{опт}} \approx \sqrt{\frac{2T_{\text{пр}}}{\Lambda}}$, $T_{\text{опт}}^C$ больше в $\sqrt{\frac{C_{\text{пр}}}{C_{\text{ш}}}}$ раз.

Оптимизация поиска неисправности при организации КТО

Для оборудования электросвязи устанавливаются:

- текущий ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности ОТЭ и состоящий в замене и (или) восстановлении отдельных его элементов;

- средний ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса ОТЭ с заменой или восстановлением элементов ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния элементов, выполняемым в объеме, установленном в нормативной документации.

При ремонте объекта распространены следующие способы поиска неисправности:

- способ внешнего осмотра;
- способ контрольных переключений (последовательное исключение отдельных элементов или изменение режимов их работы с помощью встроенных контрольных приборов, сигнализации, средств защиты и т.п.);
- способ промежуточных измерений (результаты измерений осциллограммы сравнивают с паспортными или нормативными данными);

– способ замены (отдельные элементы заменяются на заведомо исправные, однако, при этом могут быть повреждены при некоторых неисправностях в объекте);

– способ сравнения режимов работы неисправного элемента с однотипным исправным;

– способ поиска (обнаружения) характерных неисправностей (как правило, в инструкциях по эксплуатации неисправностей и их типичных признаков).

Сокращение продолжительности отыскания неисправного элемента ОТЭ важно для уменьшения общего времени простоя.

Пусть объект состоит из n элементов, отказы которых независимы. P_i, q_i – соответственно вероятность безотказной работы i -го элемента

$$(i = \overline{1, n}).$$

Элементы имеют различную доступность для проверки и различную сложность в связи с чем время, затрачиваемое на проверку каждого i -го элемента τ_i , различно.

Можно показать, что оптимальная последовательность проверок, обеспечивающая наименьшее время поиска, удовлетворяет условию:

$$\frac{\tau_1 P_1}{q_1} \leq \frac{\tau_2 P_2}{q_2} \leq \dots \leq \frac{\tau_{n-1} P_{n-1}}{q_{n-1}},$$

т.е. проверки должны начинаться с наименее надежных и требующих наименьшее время на проверку элементов.

При одинаковой продолжительности проверок $\tau_i = \tau = \text{const}$, это условие сводится к следующему:

$$\frac{q_1}{P_1} \geq \frac{q_2}{P_2} \geq \dots \geq \frac{q_{n-1}}{P_{n-1}}$$

или:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_{n-1},$$

т.е. проверка начинается с наименее надежного элемента и т.д.

Поиск может быть существенно упрощен, если при каждой проверке схема объекта делится на две части с одинаковой ненадежностью и последовательным исключением из проверок исправных частей.

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях используется коэффициент ошибок по битам BER для оценки качества передачи?
2. Какие отказы имеют место в оборудовании ЦСП?
3. Какие параметры влияют на коэффициент простоя?
4. От чего зависят затраты при ПТО?
5. По каким параметрам оптимизируется КТО?
6. В чем различие сигналов АИМ-I и АИМ-II.
7. От чего зависят среднее время восстановления ЦСП?

Отчет должен содержать:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Расчеты.
4. Выводы.