Раздел V

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТРАКТОВ И КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ПЕРВИЧНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Глава 17

ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ

17.1. Задачи контроля качества каналов передачи

Каналы передачи и групповые тракты первичных сетей связи являются основой построения всех вторичных сетей и их каналов электросвязи. Поэтому очевидно, что от качества каналов (трактов) передачи непосредственно зависит эффективность всех вторичных сетей – телефонных, телеграфных, факсимильных, передачи данных и т.д.

Под *качеством канала* (тракта) передачи первичной сети понимается его пригодность к безыскаженной передаче всех предусмотренных видов информации на любую необходимую дальность связи. С этой точки зрения возможны две оценки качества канала передачи – “ годен” или “не годен”. Однако в практике организации и эксплуатации связи, особенно в полевых сетях, нередки случаи, когда в силу объективных причин канал не может быть доведен до требуемого качества, и тогда приходится применять оценку “ограниченно годен” с указанием, для каких именно видов связи может быть использован такой канал.

Так как каналы (тракты) многоканальных систем передачи предназначены для передачи информации в форме электрических сигналов, то свойства канала (тракта), как четырехполюсника, характеризуются прежде всего его электрическими параметрами. При этом мерой качества данного канала (тракта) служит степень соответствия его электрических параметров установленным нормам.

В современных многоканальных системах передачи требуемое качество каналов (трактов) достигается посредством целого комплекса организационно-технических мероприятий, включающих настроечные и регулировочные работы при строительстве (развертывании) многоканальных линий и сетей связи, в процессе их эксплуатации и при восстановлении после аварий, разрушений. Таким образом, контроль качества каналов и групповых трактов необходим на всех этапах функционирования систем передачи и сетей связи.

Главной задачей контроля является обеспечение требуемого качества каналов и групповых трактов при сдаче их в эксплуатацию и поддержание его в процессе эксплуатации. Вместе с тем контроль должен способствовать прогнозированию ухудшения качества, выявлению причин его ухудшения и определению мер по предотвращению ухудшения или восстановлению требуемого качества.

Другой класс контроля связан с прогнозированием качества каналов (трактов) при проектировании (планировании) сетей связи. Ведь маршруты каналов связи информационных направлений между различными пунктами проходят, в общем случае, по многим участкам стационарных и полевых сетей связи, имеющих значительную протяженность и реализованных различными многоканальными проводными и радиосредствами. При составлении конкретного маршрута канала передачи для прогнозирования качества связи целесообразен расчет ожидаемых параметров качества составного канала (тракта) в данном варианте маршрута. Подобный расчет производится на основе математической модели канала (тракта) передачи, которая учитывает взаимосвязь параметров качества простого и составного каналов, их зависимость от протяженности, от числа и вида транзитов, а также от особенностей составляющих канал систем передачи. При этом необходимо знать влияние любого из электрических параметров на качество предусмотренных видов связи, а для улучшения качества канала – какие элементы (узлы) тракта канала влияют на тот или иной электрический параметр.

17.2. Качество связи и качество канала передачи

Качество различных видов связи (телефонная, телеграфная, передача данных, факсимильная и т.д.) определяется качеством каналов соответствующих вторичных сетей. Но все вторичные сети базируются на каналах и трактах передачи первичных сетей, создаваемых многоканальными системами передачи. Поэтому качество каналов вторичных сетей зависит от качества каналов и трактов первичных сетей.

Как было показано в гл. 4, сигнал на выходе канала $c_i'(t)$ во всех случаях отличается от сигнала на его входе $c_i(t)$. Чем меньше это отличие, тем выше качество связи. Численную оценку качества связи по каналу передачи можно рассматривать как функционал от разности сигналов на входе и выходе канала:

$$\varepsilon = F[c(t) - c'(t)] \qquad (17.1)$$

Напомним, что функционал – это правило, ставящее в соответствие каждой функции $f(x)$ из некоторой совокупности функций $F[f(x)]$ определенное число $\varepsilon = F[f(x)]$.

Для канала, предназначенного для передачи сигналов различных видов связи, можно применить несколько видов функционалов. При передаче дискретных сигналов критерием качества может служить коэффициент ошибки

$$\varepsilon = p_{\text{ош}} = N_{\text{ош}} / N \qquad (17.2)$$

где $N_{\text{ош}}$ – число ошибочно принятых символов (букв, слов), N – число переданных символов (букв, слов). При большом N (время измерения $t \to \infty$), коэффициент ошибок приближается к вероятности ошибки.

При передаче аналоговых сигналов критерием качества может служить среднеквадратическое отклонение

$$\varepsilon = \frac{1}{T}\int_0^T (c(t) - c'(t))^2\, dt \ , \qquad (17.3)$$

где T – длительность сигнала.

Допустимые численные значения ε определенного вида функционала могут служить требованиями к качеству канала передачи для данного вида связи.

17.3. Методы оценки качества каналов передачи

В настоящее время применяются прямые и косвенные методы оценки качества каналов передачи**.**

Прямые методы. Методы оценки качества каналов передачи, основанные на использовании функционалов, называют *прямыми*, а соответствующие параметры каналов – *обобщенными или интегральными*, позволяющими оценить канал в целом для определенного вида связи. Обобщенные параметры выгодно применять тогда, когда канал передачи сдается в эксплуатацию на оконечные устройства, обеспечивающие определенный вид электросвязи (аппаратуру передачи данных, факсимильную аппаратуру и т.д.). Оценка каналов по обобщенным параметрам ведется при помощи специализированных приборов, позволяющих весьма оперативно проверить пригодность канала передачи для конкретного вида связи. При этом оценка дается по принципу “годен” - “не годен”. Это обеспечивает быстроту контроля и возможность применения автоматизированных средств оценки качества каналов передачи.

Рассмотрим несколько методов, которые находят применение в указанных специализированных приборах.

Метод “глазковой диаграммы”. Он заключается в передаче в испытуемый канал случайной последовательности заполненных импульсов с огибающей косинусоидальной формы. На приемном конце после детектирования импульсы подаются на осциллограф. Если в канале отсутствуют искажения, то на экране видны четкие контуры огибающих, образующие “глазок” с раскрывом А (рис.17.1,а).

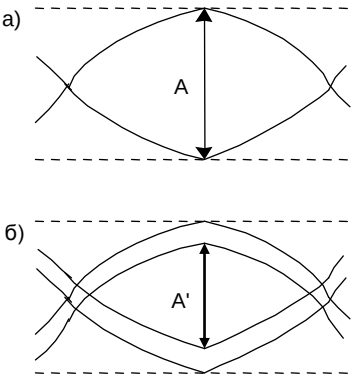

Рис.17.1

При воздействии шумов, амплитудно-частотных и фазовых искажений или других факторов фронты импульсов начинают смещаться, контуры “глазка” расплываются, а его раскрыв уменьшается до величины А´ (рис. 17.1,б). Мерой качества канала является отношение ε = А´/А. Качество считается достаточным при ε ≥

0.45, то есть канал “годен” для передачи дискретных сигналов со скоростью аналогичной или меньшей скорости передачи испытательных сигналов.

Метод парных импульсов основан на передаче в испытуемый канал периодической последовательности пар заполненных прямоугольных импульсов. Расстояние между двумя импульсами равно половине тактового интервала Т (рис.17.2,а). На приемном конце канала специальным прибором или по осциллографу фиксируется степень разделения импульсов $\eta = A_{min}/A_{max}$ (рис.17.2,б). При η ≤ 0,3 качество канала считается достаточным для скорости передачи, аналогичной испытательным импульсам. Этим методом оцениваются, главным образом, межсимвольные помехи, обусловленные ограничением спектра в канале передачи и наличием амплитудно-частотных и фазовых искажений.

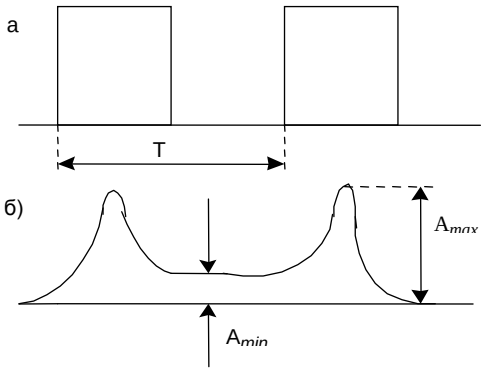

Рис.17.2

Метод пикфактора. В современных аналоговых многоканальных системах передачи (например, комплекс “Азур”) в качестве обобщенного параметра используется *пикфактор* – отношение пикового напряжения сигнала к действующему среднему значению сигнала

$$\text{ПФ} = \frac{U_{\text{пик}}}{U_{\text{с}}} \cdot 100\% \qquad (17.4)$$

Для измерения пикфактора в канал передается периодическая последовательность заполненных импульсов специальной формы с ПФ = 100% (рис.17.3). Идея оценки качества канала передачи заключается в том, что из-за амплитудно-частотных искажений, а также влияния шума и нелинейных искажений появляются межсимвольные искажения передаваемых импульсов, в результате чего пиковые напряжения импульсов уменьшаются, а среднее значение напряжения изменяется незначительно в основном в сторону увеличения. Поэтому отношение $U_{\text{пик}}/U_{\text{с}}$ будет уменьшаться. Если ПФ ≥ 70% , то качество канала для передачи дискретных сигналов можно считать удовлетворительным.

Для определения качества цифровых каналов цифровых систем передачи, а также для определения качества аналоговых каналов, представляемых для передачи дискретных сигналов, широко применяется обобщенный параметр – коэффициент (вероятность) ошибок – формула (17.2).

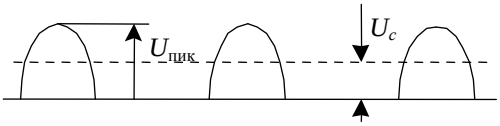

Рис.17.3

В заключение необходимо отметить, что обобщенные параметры всех видов имеют ограниченное применение. Их целесообразно использовать для быстрой оценки только каналов передачи, предназначенных для передачи сигналов импульсной формы и только в пунктах, где каналы сдаются в эксплуатацию. Но ранее было показано, что в стационарных и военных сетях для организации связи между различными пунктами чаще всего необходимо использовать составные каналы, получаемые путем транзитных соединений нескольких каналов, образованных различными многоканальными системами передачи между сетевыми (опорными) узлами первичных сетей связи. Для нормального функционирования составных каналов необходим контроль качества их составных частей в транзитных пунктах. Применять здесь обобщенные параметры нецелесообразно. Во-первых, для ряда обобщенных параметров пока неизвестны зависимости их численных величин от протяженности простого канала и законы суммирования при различном количестве транзитов в составном канале. Во-вторых, в промежуточных узлах сети связи, где производятся измерения, как правило, неизвестно, для какого вида связи предназначен тот или иной канал, а обобщенные параметры позволяют оценивать качество канала для одного или нескольких родственных видов связи (обычно с импульсными сигналами). И в-третьих, обобщенные параметры не обеспечивают диагностику отказов, так как не позволяют определить, какие узлы каналообразующей аппаратуры, групповых или линейных трактов нуждаются в проверке и регулировке, если численное значение обобщенного параметра не соответствует норме.

*Косвенные методы***.** Косвенные методы оценки качества каналов передачи являются основными для аналоговых систем передачи и базируются на совокупности частных электрических параметров, которые можно измерить и объективно оценить, пользуясь соответствующими измерительными приборами. Обнаружив при измерениях отклонение того или иного параметра от номинального значения, можно найти устройство, узел или группу узлов, составляющих канал (тракт) передачи, нуждающихся в регулировке, ремонте или замене, так как в большинстве случаев известно, каким образом то или иное устройство (узел) каналообразующей аппаратуры или линейного тракта оказывает влияние на каждый из параметров.

Перечень электрических параметров достаточно велик. Так, каналы ТЧ и групповые тракты (широкополосные каналы) аналоговых систем передачи объективно и всеобъемлюще оцениваются следующими электрическими параметрами: остаточное затухание (усиление) и его стабильность во времени; частотная характеристика остаточного затухания (усиления); фазочастотная характеристика или частотная характеристика группового времени прохождения (ГВП); амплитудная характеристика; коэффициент нелинейности искажений; изменение частоты сигнала; передаваемого по каналу; величина взвешенной (псофометрической) и невзвешенной (действующей) мощности (напряжения) шума (помех) на выходе канала; защищенность от внятных переходных помех между

каналами; защищенность от внятных переходных помех между разными направлениями передачи канала; устойчивость от самовозбуждения; влияние электрического эха; величина и продолжительность импульсных помех на выходе канала; глубина и частость кратковременных изменений уровня сигнала; скачкообразное изменение фазы передаваемого сигнала; защищенность от помех токов промышленной частоты и их гармоник; защищенность от помех радиоизлучающих устройств (радиостанций).

Контроль по перечисленному перечню электрических параметров дает практически полное представление о качестве канала. Однако при огромном числе каналов на современном узле связи затраты времени на измерения всех параметров не смогут укладываться ни в какие оперативные нормы. Поэтому такой объем измерений допустим и в основном проводится только на стационарных системах передачи при вводе их в эксплуатацию. В процессе эксплуатации, при техническом обслуживании стационарных систем, а для полевых систем и при вводе в эксплуатацию контролируется сокращенный перечень параметров, но в таком объеме, который позволяет с определенной вероятностью судить о пригодности канала для передачи предусмотренных видов информации. При этом следует иметь в виду, что при ограниченном числе контролируемых параметров уменьшается *глубина контроля*, которая трактуется как вероятность того, что канал будет пригоден к эксплуатации, если отвечает нормам данное число параметров. Например, в каналах ТЧ обязательному контролю подлежат параметры: остаточное затухание, его частотная характеристика, напряжение (уровень) шума, частотная характеристика группового времени прохождения (ГВП), а на однокабельных однополосных линиях передачи и защищенность между разными направлениями передачи канала. Глубина контроля при этом будет около 0,95. При отказе от контроля ГВП глубина контроля уменьшается до 0,80.

В условиях жесткого лимита времени на измерения, а также при автоматизированном контроле допустимо ограничиваться контролем остаточного затухания и шума. Глубина контроля, равная при этом примерно 0,45, позволяет судить о работоспособности канала, однако без уверенности в его пригодности для всех видов связи.

17.4. Организационно-технические принципы нормирования электрических параметров

17.4.1. Общие принципы нормирования

На ранних порах развития техники многоканальной электросвязи, когда основой организации связи были отдельные направления, а различные средства связи (проводные, радиорелейные и др.) использовались раздельно, нормы для каждой новой системы передачи разрабатывались по существу заново, ориентируясь главным образом на достижимый уровень совершенства. Иной подход

потребовался по мере развития сетей связи и создания единых взаимоувязанных сетей электросвязи как, например, ЕСЭ РФ.

Основу такого подхода к нормированию параметров составляют следующие *общие принципы:*

1. Каналы передачи и групповые тракты организуются в первичных сетях связи с помощью совместного использования проводных, радиорелейных, тропосферных и спутниковых средств связи. Поэтому нормы должны устанавливаться на каналы передачи и групповые тракты первичной сети связи, а на их основе выбирать и реализовываться нормы на каналы (тракты) каждой отдельной системы передачи. Эти нормы должны быть максимально едины для всех систем передачи сети связи, но могут частично отличаться с учетом особенностей конкретного средства связи.

2. Каналы (тракты) первичной сети составляются в общем случае из нескольких простых каналов (трактов). Поэтому нормы на параметры простых каналов (трактов) должны устанавливаться в расчете на необходимость обеспечения требуемого качества связи при максимальной дальности связи в сети, то есть при *максимальном* числе транзитов в составном канале (тракте). Следовательно, кроме норм на параметры простых каналов необходимо устанавливать нормы на составные каналы различной протяженности и структуры (число транзитов).

3. Первичные сети имеют иерархическую структуру: Единая сеть электросвязи РФ включает магистральную, внутризоновые и местные сети; военные сети включают сеть ГШ, территориальные сети по стратегическим направлениям, полевые опорные сети связи войсковых объединений. Поэтому нормы на электрические параметры каналов конкретной сети должны устанавливаться в соответствии с рангом сети, ее протяженностью, структурой, совместной работой со старшими и младшими сетями.

4. Каналы (тракты) передачи должны обеспечивать выход сетей связи РФ на международную сеть связи, для чего при разработке норм необходимо учитывать рекомендации Международного Союза Электросвязи по телефонии (МСЭ-Т).

17.4.2. Нормирование параметров в зависимости от протяженности и структуры канала передачи

В государственной Единой сети электросвязи (ЕСЭ) нормирование электрических параметров каналов (трактов) передачи проводится отдельно для местной, внутризоновой, зоновой и магистральной сети, а также для каналов, проходящего по всем сетям ЕСЭ.

Нормы разрабатываются на основе номинальных цепей каналов передачи (сетевых трактов), представляющих собой электрические модели каналов данной сети при максимальной протяженности и *максимальном* числе транзитов по тональной частоте (ТЧ) и групповым трактам (ГТ). Нормы ЕСЭ РФ оформ-

ляются соответствующими Государственными стандартами (ГОСТ) или приказами министра связи РФ.

В полевых сетях связи нормы на электрические параметры ПОСС оперативных объединений (фронта, армии) разрабатываются в соответствии с оперативными требованиями для каждого типа систем передачи на максимальную дальность связи с установленной структурой (числом различных транзитов).

Для выхода ЕСЭ и военных сетей на международную сеть связи каналы и тракты их должны соответствовать нормам, рассчитанным на основе номинальных цепей канала ТЧ МСЭ.

Максимальная протяженность номинальной цепи канала ТЧ страны составляет 13900 км и включает участки всех сетей в иерархии ЕСЭ РФ (рис. 17.4).

Максимальное число транзитов ТЧ должно быть не более 10 (11 простых каналов ТЧ), из которых 4 на магистральной сети, 2 – на внутризоновой (по одному на каждом конце) и 4 – на местных сетях (по два на каждом конце). Кроме того, в канале может быть до 49 транзитов по групповым трактам, из них до 45 – на магистральной сети и до 4-х – на внутризоновых сетях (по 2 с каждой стороны). При организации международной связи протяженность канала ТЧ может доходить до 25000 км, а число транзитов ТЧ – до 11 (12 простых каналов).

Условные обозначения:

Максимальная протяженность номинальной цепи канала ТЧ магистральной сети составляет 12500 км с числом транзитов по ТЧ – не более 4 (пять простых каналов), по групповым трактам – не более 45, из них по каждому первичному, вторичному и третичному трактам – не более 15 транзитов. Допускается организация дополнительно 4-х транзитов по групповым трактам вместо 4-х транзитов по ТЧ на этой сети, при этом общее число транзитов по одноименному тракту должно быть не более 19.

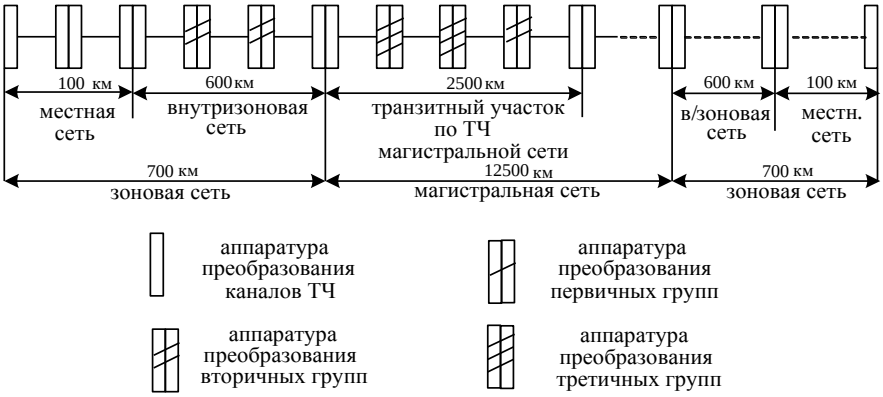

Рис.17.4

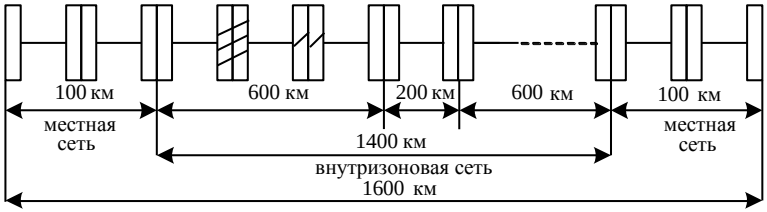

Рис.17.5

Максимальная протяженность номинальной цепи канала ТЧ зоновой сети составляет 1600 км (рис.17.5) с числом транзитов по ТЧ не более 6 (семь простых каналов), из них 2 транзита на внутризоновой сети и 4 – на местных сетях. Кроме того, на внутризоновой сети может быть до 4-х транзитов по групповым трактам. Здесь расстояние до 200 км между сетевыми узлами соседних зон.

Максимальная протяженность номинальной цепи канала ТЧ внутризоновой сети составляет 1400 км с числом транзитов по ТЧ не более двух (три простых канала ТЧ) и по групповым трактам (первичным или вторичным) – не более 4-х. Вместо двух транзитов по ТЧ допускается организация дополнительно 2 транзитов по групповым трактам.

Максимальная протяженность номинальной цепи канала ТЧ местной сети составляет 200 км (рис.17.6) с числом транзитов по ТЧ не более трех (четыре простых канала ТЧ), транзиты по групповым трактам не предусматриваются.

По рекомендации МСЭ-Т электрические параметры канала ТЧ нормируются исходя из условной (гипотетической) цепи канала ТЧ определенной протяженности и структуры. Так, протяженность гипотетической цепи канала ТЧ для кабельных, радиорелейных и цветных воздушных линий при использовании аналоговых систем передачи с числом каналов ТЧ от 12 до 60 принята 2500 км с двумя транзитами по ТЧ (три простых канала) и на каждом простом канале по одному транзиту по первичной группе (рис.17.7).

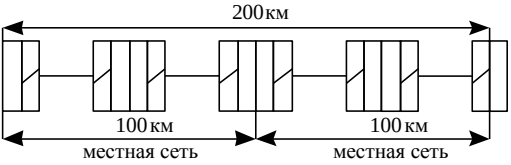

Рис. 17.6

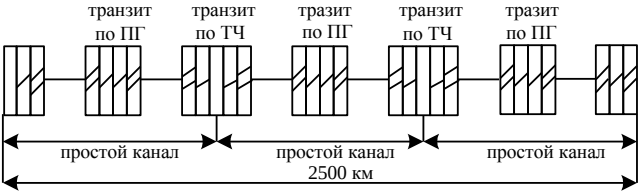

Рис.17.7

17.5. Виды норм на электрические параметры каналов передачи

Номинальные величины электрических параметров каналов (трактов) передачи определены в соответствии с требованиями обеспечения высокого качества передачи различных сигналов электросвязи, техническими возможностями аппаратуры многоканальных систем передачи и с такой точностью, которая позволяет их измерять встроенными измерительными устройствами и устанавливать имеющимися в аппаратуре регуляторами.

Кроме установленных номинальных значений определены и допустимые отклонения с учетом того, что практически все параметры изменяются во времени, как в процессе эксплуатации. В связи с этим различают несколько видов норм, рассмотренных ниже.

17.5.1. Статистические нормы и нормы одноразового контроля

На действующих сетях связи все без исключения электрические параметры каналов ТЧ и групповых трактов подвержены непрерывным случайным изменениям. Поэтому каждый из них, будучи величиной случайной, должен нормироваться, как минимум, своим средним значением и дисперсией, то есть *статистическими нормами.* Для уверенной оценки этих величин требуются длительные периодические измерения (до трех суток). Такой контроль каналов и трактов применяется в стационарных сетях связи главным образом при сдаточных испытаниях систем передачи, а также на действующих системах передачи для накопления данных об эксплуатационном разбросе числовых величин различных параметров.

В практике эксплуатации стационарных и полевых сетей связи приходится ограничиваться менее глубоким *одноразовым* контролем части параметров. При этом по большинству параметров нормируются предельно допустимые значения (например, по шумам, помехам, защищенности и др.), а по некоторым другим – номинальные значения и допустимые отклонения (например, остаточное затухание). Импульсные помехи и кратковременные прерывания в каналах контролируются в течение относительно коротких (15-минутных) сеансов. Поэтому при таких измерениях ориентируются на *нормы одноразового контроля.*

17.5.2. Установочные нормы

Установочные нормы на электрические параметры изложены в соответствующих государственных стандартах, технических описаниях и инструкциях по эксплуатации стационарной и полевой аппаратуры многоканальных систем передачи. Они включают значения электрических величин, которые должны быть установлены в процессе измерений и регулировок трактов и каналов передачи с точностью, определяемой в основном возможностями имеющихся в аппаратуре регуляторов, а также погрешностями измерительных приборов. Так, при использовании ступенчатых регуляторов допуск может быть равен половине ступени регулировки, а при использовании плавных регуляторов может вовсе отсутствовать.

17.5.3. Настроечные нормы

Так как на действующих системах передачи электрические параметры каналов и трактов передачи с течением времени неизбежно ухудшаются, то при настройке и регулировке необходимо обеспечивать некоторый запас качества. Этой цели служат *настроечные нормы,* которые учитывают допустимые отклонения величин параметров от номинальных (установочных). Установленные при настройке систем передачи, трактов и каналов значения настроечных норм заносятся в электрические паспорта или другие эксплуатационные документы и являются основание для приемки в эксплуатацию после строительства (развертывания) многоканальных линий передачи, после проведения работ по техническому обслуживанию действующих систем передачи или после восстановительных, ремонтных работ.

Поскольку основные факторы, обусловливающие изменение параметров (изменение окружающих температурно-климатических условий, питающих напряжений, старение элементной базы) изменяются относительно медленно во времени, то в процессе эксплуатации электрические параметры в течение длительного времени остаются в пределах настроечных норм, что обеспечивает высокое качество связи.

17.5.4. Эксплуатационные нормы

С течением относительно большого промежутка времени эксплуатации, а также вследствие различных внешних воздействий (особенно это характерно для полевых систем передачи в боевых условиях) начинают проявляться изменения от старения элементов, возникают различные повреждения, что влечет за собой постепенное или скачкообразное ухудшение качества связи и может стать недопустимо низким. Во избежание этого в процессе эксплуатации периодически в соответствии с планом технического обслуживания или после устранения повреждений производятся контрольные измерения установленного перечня параметров, которые выполняются без прекращения действия связи, а в необходимых случаях и с закрытием связи.

При жестких оперативных условиях результаты таких контрольных измерений сопоставляются с *эксплуатационными нормами,* которые обеспечивают только удовлетворительное качество связи, так как допустимые отклонения этих норм от номинальных (установочных) значений существенно шире, чем настроечных. Поэтому каналы передачи такого качества используются для передачи ограниченных видов информации (например, только для организации открытой телефонной связи). При ухудшении значений норм параметров ниже эксплуатационных требуется закрытие связи по данному каналу, тракту или системе передачи в целом и проведение необходимых ремонтных и настроечных работ, в результате которых параметры должны вновь удовлетворять настроечным нормам.

Эксплуатационные нормы разрабатываются и устанавливаются по данным статистических наблюдений за параметрами каналов различных систем переда-

чи исходя из требований к качеству каналов передачи различных потребителей (оконечных устройств, терминалов и др.). Они изложены в специальных документах, утвержденных в установленном порядке.

17.5.5. Предельные нормы параметров в сетях связи

Предельные нормы определяют наихудшие допустимые значения электрических параметров на стыках первичных и вторичных сетей связи и призваны обеспечить оптимальные технико-экономические (оперативно-технические) показатели сетей связи, так как ужесточение норм стыка упрощает аппаратуру вторичных сетей, но усложняет оборудование первичных сетей и наоборот.

Средние значения норм по каждому электрическому параметру, а также средние и среднеквадратические отклонения значений отдельных параметров исходя из предельных норм приведены в гл. 18 и 19 при анализе электрических параметров каналов ТЧ и сетевых трактов (широкополосных каналов).

Исследования показывают, что разброс значений большинства электрических параметров канала передачи подчиняется нормальному закону распределения. При этом вероятность того, что отклонение случайной величины y от среднего значения M не превысит заданного значения $x\sigma$, определяется по формуле[3,с.52]

$$p(|y| < x\sigma) = \Phi(x), \tag{17.5}$$

где $x > 0$ – аргумент табулированной функции Лапласа $\Phi(x)$.

Следовательно, с вероятностью p ожидаемые значения случайной величины будут находиться в пределах

$$y = M \pm x\sigma\,. \tag{17.6}$$

При $x = 1$ $\Phi(x) = 0{,}683$; $x = 2$ $\Phi(x) = 0{,}995$; $x = 3$; $\Phi(x) = 0{,}997$.

По требованиям ЕСЭ РФ большинство норм должно выполняться с вероятностью не хуже $p = 0{,}95$, что соответствует $x = 2$, то есть при удвоенной величине рассчитанного среднеквадратического отклонения.

Предельные нормы параметров номинальных цепей каналов (трактов) различных сетей связи являются базой для реализации норм параметров каналов и трактов конкретных систем передачи.