

ности сигнала от уровня шумов квантования $A_{\text{кв}}$ при различных значениях входных уровней.

В этом разделе не был указан ряд параметров, нормируемых в каналах и трактах, например взаимные влияния между каналами и трактами, нормы на гармонические и импульсные помехи, изменение частоты передаваемого сигнала и ряд других, которые приводятся в специальной литературе и документах (см., например, ГОСТ 21655-87, Рекомендации МККТТ G-221, G-222, G-226, G-232, G-241, G-242, M.410, M.460, G-711, G-712, G-732 и др.).

ГЛАВА 13. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

13.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование линий передачи так же, как и других сооружений, производится исходя из проектного поручения, которое передается заказчиком (министерством, ведомством и т. д.) проектной организации. В качестве последней чаще всего выступает один из государственных институтов по изысканию и проектированию сооружений связи (Гипросвязь), хотя могут привлекаться и другие специализированные проектные организации или проектные отделы предприятий связи.

Проектное поручение является основанием для составления проектного задания, которое осуществляется заказчиком проекта с привлечением проектной организации (генерального проектировщика). Целью проектного задания является установление технической возможности и экономической целесообразности строительства проектируемой линии передачи.

Проектное задание содержит схему организации связи, технические решения по всем видам сооружений (выбор системы передачи, типа и емкости линейных сооружений, обоснование строительства технических и вспомогательных зданий, сетей тепло- и электроснабжения с указанием его источников, определение видов и объема информации, подлежащей передаче), сроки начала и конца строительства, предварительные сведения о местных условиях строительства (сейсмичности, наличие вечной мерзлоты, группе грунтов) и т. д. Основой решения этих вопросов является технико-экономическое обоснование целесообразности, хозяйственной, социальной и оборонной необходимости строительства, его очередности. При этом выполняются необходимые топографические, геологические, гидрологические и другие изыскания для выбора трассы линии передачи, определения мест расположения промежуточных станций (усилительных

и регенеративных) и решения других вопросов, определяющих стоимость строительства и экономическую эффективность капитальных вложений, а также вопросов экологии.

Выбор окончательных проектных решений осуществляется на основе сравнения технико-экономических показателей нескольких вариантов.

Важнейшими направлениями в проектировании должны быть типизация планировочных, конструктивных и технологических проектных решений и широкое применение типовых проектов.

Проектирование сооружений связи, в частности линий передачи, осуществляется в одну стадию при использовании типовых и повторно применяемых проектов или в две стадии для крупных и сложных объектов строительства. При одностадийном проектировании разрабатывается рабочий проект со сводной сметной документацией, при двухстадийном – проект со сводным сметным расчетом стоимости и рабочая документация со сметами.

В процессе проектирования необходимо реализовывать достижения науки, техники и передового отечественного и зарубежного опытов с тем, чтобы ко времени ввода построенной линии передачи в эксплуатацию обеспечивались высокие качественные показатели каналов передачи за счет применения наиболее совершенных современных МСП. При этом должна учитываться возможность увеличения пучка каналов передачи в данном направлении по мере необходимости при минимальных капитальных вложениях.

Качественные показатели каналов проектируемой линии передачи определяются в ходе электрических расчетов, которые проводятся после выбора трассы, системы передачи и типа линейных сооружений и разработки схемы организации связи. Электрические расчеты включают в себя размещение промежуточных усилительных (регенерационных) пунктов, расчет диаграммы уровней (при использовании АСП), расчет допустимой и ожидаемой помехозащищенности каналов передачи, определение ожидаемой вероятности ошибки и сравнение ее с допустимыми значениями (для ЦСП), разработку схемы ДП необслуживаемых промежуточных станций и расчет цепей ДП. Материалы с указанными выше расчетами в состав проектно-сметной документации не включаются, заказчику не передаются и хранятся в проектной организации.

Принимаемые в процессе проектирования линий передачи решения должны быть оптимальными относительно выбранного критерия оптимальности. С математической точки зрения линию передачи можно рассматривать как сложную систему, проектирование которой должно основываться на системном подходе. Системный подход предполагает изучение системы и ее функциони-

рования как единого объекта с взаимоувязанными частями (подсистемами), который выполняет определенные функции для достижения некоторых конечных целей. При системном подходе осуществляется оптимизация системы в целом, так как оптимизация по частям не всегда приводит к желаемому результату, и определяется (в математической форме) единственный критерий оптимальности (целевая функция) и оптимизируемые параметры. При этом возникает необходимость разработки математической модели системы, т. е. установление аналитических соотношений между внешними параметрами системы (помехоустойчивостью, числом каналов, надежностью и т. п.) и внутренними параметрами (видом модуляции, числом ступеней преобразования, применяемым кодом и т. п.).

Наиболее важной задачей процесса оптимизации является составление целевой функции, зависящей от внешних параметров. Оптимизация по составленной целевой функции наиболее эффективно реализуется в системе автоматизированного проектирования (САПР), которая содержит комплекс средств автоматизации процесса проектирования в виде методического, математического, программного, информационного, технического и организационного обеспечения. Составными частями САПР являются проектирующие и обслуживающие подсистемы. Первые выполняют проектные операции, а вторые поддерживают работоспособность первых, осуществляя информационный поиск, документирование и т. п. Неотъемлемой частью САПР являются ЭВМ, широко используемые на всех этапах проектирования. Они обеспечивают формализацию задачи проектирования, формулируют техническое задание на систему в целом и ее отдельные узлы, осуществляют окончательный выбор варианта и разрабатывают конструкторскую и технологическую документации.

Применение САПР существенно повышает качество проектных решений и сокращает время проектирования.

13.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Выбор трассы, системы передачи и типа линейных сооружений

Трасса проектируемой линии передачи должна быть возможно короче и проходить вдоль шоссе и железных дорог, что обеспечивает возможность транспортировки строительных материалов при прокладке кабеля и передвижения обслуживающего персонала при эксплуатации. При выборе трассы необходимо также учитывать возможности подачи электропитания на питающие пункты, расположенные на линии передачи, например на ОУП.

Выбор СП определяется числом каналов, организуемых на данном направлении, видами передаваемой информации, требованиями к качественным показателям каналов передачи и соображениями экономической эффективности. Как правило, существуют несколько вариантов выбора СП и предпочтение отдается такой системе, которая обеспечивает возможность качественной передачи требуемого объема информации и одновременно требует меньших затрат на строительство и последующую эксплуатацию. Выбор наиболее рациональной системы определяется технико-экономическим сравнением вариантов. При этом следует также учитывать возможность использования существующих сооружений связи.

Выбор типа линейных сооружений практически однозначно определяется применяемой СП, а также специфическими условиями на трассе проектируемой линии передачи — степенью агрессивности грунтов, наличием вечной мерзлоты, электрофицированных железных дорог и т. п. Кроме того, выбор типа и емкости линейных сооружений существенно зависит от результатов технико-экономического сравнения вариантов.

Размещение усилительных пунктов

Размещение усилительных пунктов обычно начинают с ОУП, которые устанавливаются на концах секции ОП — ОУП или ОУП — ОУП. Для каждой СП определена максимальная длина секции, которая ограничена возможностями подачи ДП на НУП, размещенные внутри данной секции, а также регулируемыми способностями устройств АРУ, установленных на данном ОУП. В пределах указанной максимальной длины секции ОУП располагаются в населенных пунктах, обеспеченных гарантированным электроснабжением и водоснабжением, а также во всех пунктах, где осуществляются выделение и ввод групп каналов. Учитывая относительную сложность оборудования ОУП и значительные эксплуатационные расходы, при проектировании линий передачи число ОУП следует выбирать минимальным, что улучшает экономические показатели проектируемой магистрали.

В системе передачи К-60П, работающей по многочетверочному симметричному кабелю, различают ОУП с двух- и трехчастотной АРУ. Последние устанавливаются через 500...600 км, а также в пунктах выделения и ввода групп каналов. Это необходимо для выравнивания диаграммы уровней, уменьшения перепадов уровней передачи на средних частотах линейного спектра и, следовательно, уменьшения взаимных влияний между одноименными каналами в этой части спектра параллельно работающих СП. В системах, работающих по коаксиальному кабелю, используются, как правило, ОУП одного типа.

Необслуживаемые усилительные пункты размещаются внутри секции ОУП – ОУП по возможности равномерно и так, чтобы длина усилительного участка (УУ) между НУП была равна некоторой номинальной длине $l_{ном}$, при которой обеспечиваются требуемая величина защищенности от помех при всех значениях температуры грунта и допустимых значениях неточности коррекции и одновременно высокие экономические показатели линии передачи. Для каждой СП установлено значение номинальной длины (или номинального затухания) УУ, которое приводится в справочных данных этой системы [8]. Однако, практически обеспечить равномерное размещение НУП часто не представляется возможным из-за рельефа местности, по которой проходит трасса проектируемой линии передачи, а также потому, что в секции ОУП – ОУП не укладывается целое число УУ номинальной длины. Тогда появляются участки с длиной больше (удлиненные) или меньше (укороченные) номинальной. Поэтому в каждой СП предусматривается возможность варьирования длины УУ в некоторых пределах: $l_{max} \geq l_{уу} \geq l_{min}$.

Величины l_{max} и l_{min} определяются регулирующей и корректирующей способностями усилителя НУП и либо указываются в паспорте системы передачи, либо вычисляются. Например, для СП, работающих по коаксиальному кабелю, эти величины приводятся в справочных данных, а для системы К-60П вычисляются по формулам

$$l_{max} = (S_{max} - 2 A_{тр}) / \alpha_{t_{max}}; \quad l_{min} = (S_{min} - 2 A_{тр}) / \alpha_{t_{min}}, \quad (13.1)$$

где S_{min} , S_{max} – минимальное и максимальное усиления НУП соответственно; $A_{тр}$ – затухание линейного трансформатора; $\alpha_{t_{min}}$, $\alpha_{t_{max}}$ – коэффициент затухания кабеля при минимальной и максимальной температурах соответственно.

Кроме l_{min} , определяемой по формуле (13.1), следует рассчитать также $l_{min\text{ кор}}$, определяемую корректирующей способностью усилительной станции, т. е. возможностью устранения АЧИ предшествующего участка линии с помощью контура начального наклона (КНН) в цепи ООС усилителя и линейного корректора (ЛК), включенного на входе усилителя:

$$l_{min\text{ кор}} = (\Delta A_{кнн} + \Delta A_{лк}) / (\alpha_{f_2} - \alpha_{f_1}), \quad (13.2)$$

где $A_{кнн}$, $A_{лк}$ – разность затуханий КНН и ЛК соответственно на крайних частотах линейного спектра СП (17 и 247 кГц); α_{f_1} и α_{f_2} – коэффициент затухания кабеля на этих частотах при минималь-

ной температуре грунта. За минимальную длину УУ принимается наибольшее из значений l_{min} и $l_{min\text{кор}}$.

Применения удлиненных участков следует избегать, так как это приводит к увеличению мощности помех на выходе секции ОУП–ОУП. В тех случаях, когда такие участки (но не более l_{max}) имеются, необходимо наличие и укороченных участков. Для некоторых СП удлиненные участки вообще недопустимы.

При укороченном участке длиной $l_{ук} < l_{min}$ в него следует включать искусственную линию (ИЛ) с тем, чтобы

$$l_{max} \geq (l_{ук} + l_{ИЛ}) \geq l_{min}. \quad (13.3)$$

Здесь $l_{ИЛ}$ – электрическая длина ИЛ, т. е. длина участка линии, затухание которого равно затуханию ИЛ. В каждой СП имеется набор ИЛ с разными электрическими длинами. Включаемая в укороченный участок на входе усилителя ИЛ должна выбираться из этого набора. Поскольку включение ИЛ уменьшает помехозащищенность от собственных помех, то всегда следует стремиться обойтись без ИЛ или использовать ИЛ с минимальной электрической длиной.

В некоторых СП, работающих по коаксиальному кабелю, организуются НУП разных типов, различающихся видом применяемой АРУ. Например, в системах К-1920П, К-3600 в основном используются НУП без АРУ, которые компенсируют затухания предшествующих им участков при средней температуре грунта. При изменениях температуры относительно средней возникает погрешность коррекции, которая компенсируется регулирующими НУП (НУП-Р), содержащими устройства АРУ по КЧ, осуществляющие послерегулировку, и АРУ по температуре грунта, обеспечивающие предрегулировку (см. § 4.2). Установка НУП-Р производится примерно через три–четыре НУП без АРУ.

В системе передачи К-3600, кроме того, используются корректирующие НУП (НУП-К), которые устанавливаются примерно на каждом 20-м усилительном пункте и устраняют накапливающиеся регулярные АЧИ. В состав НУП-К также входят устройства АРУ по КЧ и АРУ по температуре грунта.

В системе передачи К-300 применяются НУП трех типов: с АРУ по температуре грунта, с АРУ по КЧ и корректирующие. В ряде систем (К-1020С, К-5400) организуются только НУП с АРУ по КЧ.

После размещения усилительных пунктов на линии передачи производят электрический расчет каналов передачи, который включает в себя расчет диаграммы уровней и определение допустимой и ожидаемой мощностей помех.

Расчет диаграммы уровней

При расчете диаграммы уровней определяются относительные уровни на входе и выходе каждого линейного усилителя. Расчет проводится для самого верхнего по спектру канала СП при максимальной температуре грунта, т. е. для канала, находящегося в наихудших условиях. По диаграмме уровней устанавливается усиление усилителей при настроечных работах на линии передачи и рассчитывается мощность помех.

На входе i -го усилителя уровень приема

$$P_{\text{пр } i} = P_{\text{пер } i-1} - A_{\text{yy } i} \quad (13.4)$$

где $P_{\text{пер } i-1}$ — уровень передачи на выходе предыдущего усилителя, а

$$A_{\text{yy}} = \alpha_{t_{\text{max}}} l_{\text{yy } i} + A_{\text{ст}} \quad (13.5)$$

Здесь $\alpha_{t_{\text{max}}}$ — километрическое затухание кабеля при максимальной температуре грунта; $l_{\text{yy } i}$ — длина i -го усилительного участка;

$$A_{\text{ст}} = 2A_{\text{лтр}} + A_{\text{мк}} + A_{\text{ил}} + 2A_{\text{фдп}} \quad (13.6)$$

— затухание стационарных устройств, включающее в себя затухания двух линейных трансформаторов ($A_{\text{лтр}}$), магистрального корректора ($A_{\text{мк}}$), искусственной линии ($A_{\text{ил}}$) и двух фильтров дистанционного питания ($A_{\text{фдп}}$). На тех усилительных участках, где эти устройства отсутствуют, их затухания принимаются равными нулю. В СП, работающих по коаксиальному кабелю, затухание линейных трансформаторов учитывается в затухании фильтров ДП. Необходимые данные приводятся в справочных данных соответствующей системы передачи.

Уровень передачи на выходе i -го усилителя

$$P_{\text{пер } i} = P_{\text{пр } i} + S_i \quad (13.7)$$

где S_i — усиление i -го усилителя, определяемое по формуле

$$S = S_{\text{уст } i} + \Delta S_x \quad (13.8)$$

В этом выражении $S_{\text{уст } i}$ — установочное усиление i -го усилителя, а ΔS_x — изменение усиления, вызванное работой АРУ. Установочное усиление обеспечивается ручной регулировкой обычно в цепи ООС усилителя и должно быть равно:

для СП, работающих по симметричному кабелю (К-60П),

$$S_{\text{уст}} \approx A_{\text{yy } \text{min}} \quad (13.9)$$

для СП, работающих по коаксиальному кабелю,

$$S_{уст} \approx A_{уу\text{ ср}} \quad (13.10)$$

Здесь $A_{уу\text{ min}}$ и $A_{уу\text{ ср}}$ — затухание УУ при минимальной и средней температурах соответственно. Следует при этом иметь в виду, что установочное усиление может изменяться обычно ступенями через $\Delta S_{уст}$, поэтому равенства (13.9) и (13.10) являются приближенными. Например, в К-60П $\Delta S_{уст} = 0,5$ дБ, а в К-1920П $\Delta S_{уст} = 0,7$ дБ. В связи с этим величины, рассчитанные по (13.9) и (13.10), округляются до ближайшего допустимого значения.

Для определения километрического затухания при температуре грунта t используется соотношение

$$\alpha_t = \alpha_{+20} [1 - \alpha_\alpha (20 - t)], \quad (13.11)$$

где α_α — температурный коэффициент километрического затухания, который приводится в справочной литературе; α_{+20} — километрическое затухание при $t = +20$ °С, значения которого также имеются в справочниках.

Для усилителей с АРУ по температуре грунта, имеющей пределы регулирования $\Delta S_{гр}$,

$$\Delta S_x = \frac{\Delta S_{гр}}{\Delta t} (t_{max} - t_0), \quad (13.12)$$

где Δt — перепад температуры грунта, на который рассчитан термодатчик АРУ, °С; t_0 — средняя температура грунта, при которой $\Delta S_x = 0$. Значение t_0 для разных СП приведено в справочной литературе, например в [8]. Отклонение уровня передачи на выходе усилителя с АРУ по температуре грунта от номинального значения не должно превышать значения $\Delta p_0 = \pm 0,5$ дБ. Если такое превышение имеет место, то следует изменить установочное усиление этого усилителя.

Как отмечалось выше, НУП-Р систем К-1920П и К-3600 содержат устройства как АРУ по КЧ, так и температурную АРУ. Первые осуществляют послерегулирование и доводят уровень передачи до номинального значения, а вторые обеспечивают предрегулирование и изменяют уровень передачи относительно номинального. Уровень передачи на выходе таких усилителей

$$p_{пер} = p_{пер0} + \frac{\Delta S_{гр}}{\Delta t} (t_{max} - t_0). \quad (13.13)$$

Если НУП-Р расположен непосредственно перед ОУП (ОП), то температурная АРУ в этом НУП выключается и $p_{пер} = p_{пер0}$. В усилителях без АРУ $\Delta S_x = 0$.

Расчет мощности помех в каналах передачи

Расчет мощности помех в каналах передачи на проектируемой магистрали производится при существенном разбросе длин УУ относительно номинальной длины, а также в тех случаях, когда при проектировании и строительстве линии передачи невозможно выполнить все нормы на параметры СП. Цель расчета – определение допустимых и ожидаемых значений мощностей помех в канале ТЧ, для которого была построена диаграмма уровней. Сравнение этих значений между собой позволяет сделать вывод о допустимости принятого при проектировании и строительстве порядка размещения усилительных пунктов и качестве каналов передачи.

В СП, работающих по симметричному кабелю, при расчете учитываются помехи от линейных переходов, собственные и нелинейные помехи, а в СП, работающих по коаксиальному кабелю, – собственные и нелинейные помехи.

Суммарная психофотметрическая мощность помех, пВт пс, от линейных переходов в ТНОУ на выходе канала ТЧ при наличии в линейном тракте n усилительных участков

$$P_{\text{лп}\Sigma} = k_{\text{псф}}^2 m n \cdot 10^{0,1\rho_{\text{к0}}} \cdot 10^{-0,1A_{\text{з1}}} \cdot 10^9. \quad (13.14)$$

Здесь $\rho_{\text{к0}}$ – уровень средней мощности канального сигнала в ТНОУ; $A_{\text{з1}}$ – защищенность от помех на дальнем конце; m – число активных влияющих пар в кабеле, которое зависит от числа СП, работающих по одному кабелю. При этом предполагается двухкабельный режим работы линии передачи. Расчет величины m производится на основе теории вероятности (см. гл. 3). В табл. 13.1 приведены значения m для различного числа N систем передачи, работающих по одному кабелю, при вероятности превышения 0,01.

Таблица 13.1

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
m	1	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7

В справочной литературе приводятся допустимые значения защищенности на дальнем конце для 20 % комбинаций пар кабеля ($A_{\text{з11}}$) и 80 % этих комбинаций ($A_{\text{з12}}$). Например, для кабеля МКС $A_{\text{з11}} = 71$ дБ; $A_{\text{з12}} = 73,8$ дБ. Поэтому в формуле (13.14)

$$10^{-0,1A_{\text{з1}}} = 0,2 \cdot 10^{-0,1A_{\text{з11}}} + 0,8 \cdot 10^{-0,1A_{\text{з12}}}. \quad (13.15)$$

Уровень средней мощности канального телефонного сигнала на активном участке разговора принимается равным $p_{к0} = -10,6$ дБ.

Суммарная психофотметрическая мощность собственных помех, пВт психоф, как было показано в гл. 3, на выходе линейного тракта, содержащего n усилительных участков, в ТНОУ равна

$$P_{\text{сп}0\Sigma} = k_{\text{пс}}^2 \sum_{i=1}^n 10^{0,1(p_{\text{сп} \text{пр} i} + S_i - p_{\text{пер} i})} \cdot 10^9, \quad (13.16)$$

где $p_{\text{сп} \text{пр} i}$ — уровень собственных помех, приведенных ко входу усилителя; S_i — усиление i -го усилителя; $p_{\text{пер} i}$ — относительный уровень передачи на выходе этого усилителя. При этом следует учитывать, что величина $p_{\text{сп} \text{пр} i}$ для усилителей ОУП и НУП может быть различной. Если не учитывать собственные помехи, возникающие в аппаратуре сопряжения и преобразовательном оборудовании, то на выходе канала мощность помех будет также определяться выражением (13.16). Величины S_i и $p_{\text{пер} i}$ находятся по диаграмме уровней канала передачи, для которого эта диаграмма рассчитана.

Выражение (13.16) не учитывает влияние на величину мощности собственных помех погрешностей работы АРУ, компенсирующих температурные изменения затухания УУ. В самом неблагоприятном случае эти погрешности суммируются и приводят либо к снижению уровней передачи на выходах усилителей, что увеличивает мощность собственных помех, либо к росту уровней, что повышает мощность нелинейных помех. Если принять погрешность АРУ по температуре грунта равной $\pm \Delta S_{\text{п гр}}$, а АРУ по КЧ $\pm \Delta S_{\text{п КЧ}}$, то для j -й секции регулирования (части линии передачи между двумя усилителями с АРУ по КЧ), содержащей n_j усилителей с АРУ по температуре грунта, суммарная мощность собственных помех, создаваемых этой секцией в ТНОУ, будет

$$P_{\text{сп} j0} = 10^{0,1\Delta S_{\text{п КЧ}}} \sum_{k=1}^{n_j} P_{\text{сп} k0} \cdot 10^{0,1(k-1)\Delta S_{\text{п гр}}}, \quad (13.17)$$

где

$$P_{\text{сп} k0} = k_{\text{пс}}^2 \cdot 10^{0,1(p_{\text{сп} \text{пр} k} + S_k - p_{\text{пер} k})} \cdot 10^9; \quad (13.18)$$

k — номер усилительного участка в j -й секции регулирования. Если на m -м усилителе устройство АРУ по температуре грунта выключено, то в (13.17) при $k = m$ принимают $\Delta S_{\text{п гр}} = 0$.

Суммарная психофотметрическая мощность собственных помех в ТНОУ на выходе канала рассчитывается по формуле

$$P_{\text{сн } 0 \Sigma} = \sum_{j=1}^N P_{\text{сн } j 0}, \quad (13.19)$$

где N – число секций регулирования на линии передачи.

Для расчета суммарной мощности нелинейных помех 2-го и 3-го порядков можно использовать соотношения (3.70) и (3.71). При работе СП с перекосом уровней эти соотношения можно переписать в следующем виде:

для мощности нелинейных помех 2-го порядка в ТНОУ на выходе i -го усилителя в верхнем по спектру канале ТЧ

$$P_{2\text{н } 0 i} = 4k_{\text{пс}}^2 \frac{\Delta F_{\text{к}}}{\Delta f} \cdot 10^{0,1(2p_{\text{мсм } 0} + p_{\text{пер } i} - A_{\text{г } 20})} r^2 y_{2\text{н}}(1) \cdot 10^9, \quad (13.20)$$

где $p_{\text{мсм } 0}$ – уровень максимальной среднeminутной мощности группового сигнала в ТНОУ; $p_{\text{пер } i}$ – уровень передачи на верхней частоте линейного спектра на выходе i -го усилителя; $r = (1 - 10^{-0,1\Delta p})/0,23\Delta p$; Δp – величина перекоса уровней; $y_{2\text{н}}(1)$ – нормированная спектральная плотность нелинейных помех 2-го порядка в случае введения перекоса уровней при $\sigma = 1$, определяемая выражением (3.62) или из таблиц [4];

для мощности нелинейных помех 3-го порядка 1-го рода в ТНОУ в том же канале ТЧ

$$P_{3\text{н } 0 i} = 24k_{\text{пс}}^2 \frac{\Delta F_{\text{к}}}{\Delta f} \cdot 10^{0,1(3p_{\text{мсм } 0} + 2p_{\text{пер } i} - A_{\text{г } 30})} r^3 y_{3\text{н}}(1) \cdot 10^9. \quad (13.21)$$

Величина $p_{\text{пер } i}$ определяется из диаграммы уровней. Затухания нелинейности $A_{\text{г } 20}$ и $A_{\text{г } 30}$ определяются из справочных данных соответствующей СП, где они указываются для номинального значения усиления, т. е. для номинальной длины УУ. При изменении усиления относительно номинального значения на величину ΔS_i затухания нелинейности изменяются на эту же величину, если полагать, что регулировка усиления осуществляется в цепи ООС. Очевидно, что

$$\Delta S_i = \alpha_{l_{\text{max}}} (l_{\text{н}} - l_i), \quad (13.22)$$

где $l_{\text{н}}$ – номинальная длина УУ.

С учетом накопления помех 2-го порядка по мощности на выходе канала ТЧ суммарная мощность нелинейных помех 2-го порядка в ТНОУ

$$P_{2\text{н } 0 \Sigma} = 4k_{\text{пс}}^2 \frac{\Delta F_{\text{к}}}{\Delta f} \cdot 10^{0,1(2p_{\text{мсм } 0} - A_{\text{г } 20})} \times \quad (13.23)$$

$$\times r^2 y_{2\text{н}}(1) \cdot 10^9 \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0,1[p_{\text{пер } i} - \alpha_{l_{\text{max}}} (l_{\text{н}} - l_i)]}$$

Здесь n — число усилительных пунктов на проектируемой линии передачи.

Помехи 3-го порядка 1-го рода суммируются в соответствии с принятым правилом на секции ОУП–ОУП (ОП–ОУП) по напряжению, а от секции к секции по мощности. Отсюда

$$P_{3и0\Sigma} = 24k_{ис}^2 \frac{\Delta F_k}{\Delta f} \cdot 10^{0,1(3p_{мсм0} - A_{r30})} \cdot r^3 y_{3иП}(1) \cdot 10^9 \times \quad (13.24)$$

$$\times \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{n_j} \sqrt{10^{0,1[p_{кспi} - \alpha_{r_{max}}(l_n - l_i)]}} \right)^2.$$

Здесь m — число секций ОУП–ОУП, а n_j — число УУ в j -й секции.

При расчете мощности нелинейных помех 3-го порядка помехами 2-го рода обычно можно пренебречь ввиду их относительно небольшой мощности.

Рассчитанные значения психофотметрической мощности помех сравниваются с допустимыми значениями, которые определяются нормами, приведенными в гл. 3. При этом допустимое значение общей мощности помех распределяется между помехами разных видов следующим образом (см. § 3.1):

на линиях передачи симметричного многочетверочного кабеля на помехи от линейных переходов отводится половина всей допустимой мощности, а на собственные и нелинейные помехи — по 25% этой мощности (соотношение 2:1:1);

на линиях передачи симметричного одночетверочного кабеля допустимая мощность распределяется между собственными, нелинейными помехами и помехами от линейных переходов поровну (соотношение 1:1:1);

на линиях передачи коаксиального кабеля в диапазоне частот до 8 МГц поровну между собственными и нелинейными помехами (соотношение 1:1);

на линиях передачи коаксиального кабеля в диапазоне частот свыше 8 МГц (К-1920П, К-3600, К-5400) на мощность собственных помех отводится 2/3 общей допустимой мощности (соотношение 2:1). На нелинейные помехи 3-го порядка 1-го рода отводится до 75% допустимой мощности нелинейных помех.

Если ожидаемые значения мощностей помех не превышают допустимых значений, можно считать, что размещение усилительных пунктов на линии передачи произведено правильно.

13.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Принципы нормирования коэффициента ошибок на различных участках сети связи

Нормирование характеристик и параметров СП является одной из важнейших задач техники многоканальной связи. Из основного принципа развития взаимоувязанной сети связи (ВСС) России – создания цифровой первичной сети, ее совместности и сосуществования с аналоговой первичной сетью – следует основополагающий принцип нормирования параметров ЦСП. Он заключается в предъявлении таких требований к качеству каналов и групповых трактов цифровой первичной сети, которые обеспечивают выполнение норм, принятых в аналоговой сети, и сохраняют структуру номинальных цепей. Данный принцип приводит к возможности постепенного внедрения ЦСП в существующую сеть. Конфигурация номинальных цепей канала ТЧ и основного цифрового канала (ОЦК) совпадает, причем в последнем случае отсутствуют жесткие ограничения на число транзитов, поскольку транзит сигналов в цифровой форме не снижает качество передачи информации.

Максимальная протяженность номинальной цепи ОЦК ВСС составляет 13 900 км (рис. 13.1). В ее состав входит участок магистральной первичной сети, а также участки местной и внутризоновой первичных сетей. Номинальная цепь ОЦК при организации международного соединения представлена на рис. 13.2, где СС – сетевая станция, а МС – международная станция. Для качественной передачи информации при организации международной связи (рис. 13.3) вероятность ошибки между двумя абонентами не должна превышать 10^{-6} (при использовании компандиро-

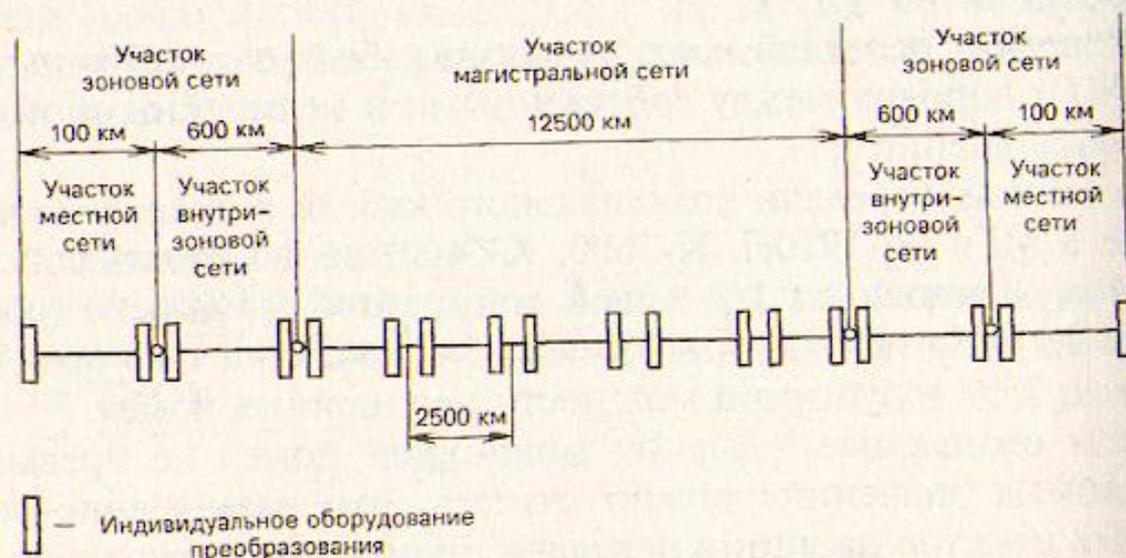


Рис. 13.1. Номинальная цепь ОЦК ВСС

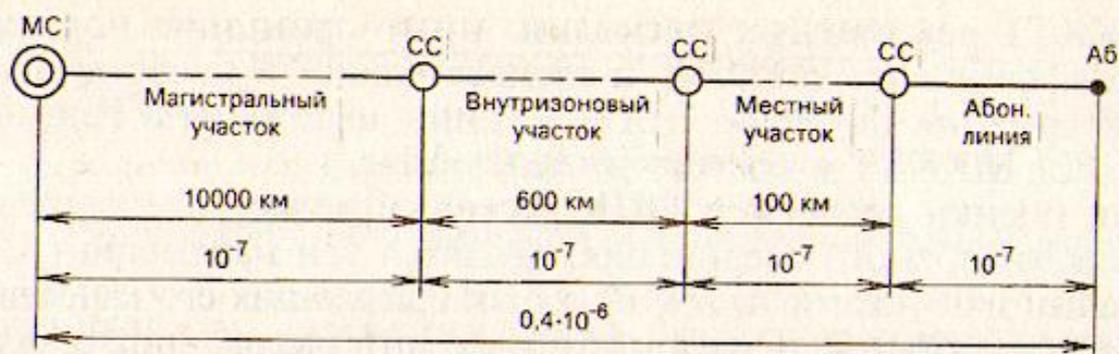


Рис. 13.2. Номинальная цепь ОЦК при организации международного соединения

ванной ИКМ с восьмиразрядным кодированием). При этом на национальном участке требуемый коэффициент ошибок составляет $0,4 \cdot 10^{-6}$. Если эту норму равномерно распределить между участками номинальной национальной сети, то допустимое значение коэффициента ошибок на каждом участке составит 10^{-7} (см. рис. 13.2). Учитывая, что в ЦСП ошибки суммируются (накапливаются), можно получить условное значение допустимой вероятности ошибки в расчете на 1 км линейного тракта:

для магистрального участка $p'_{\text{маг}} = 10^{-7} / 10000 = 10^{-11}$;

для внутризонового участка $p'_{\text{вн}} = 10^{-7} / 600 = 1,67 \cdot 10^{-10}$;

для местного участка $p'_{\text{мест}} = 10^{-7} / 100 = 10^{-9}$.

Зная эти величины, можно определить требования к коэффициенту ошибок одиночного регенератора (с учетом участка сети, на котором он используется): $p_1 = p' l_p$, где l_p — длина участка регенерации. При известном значении p_1 нетрудно установить допустимую защищенность на входе решающего устройства регенератора $A_{\text{доп}}$. Для этого можно воспользоваться результатами, приведенными в гл. 10.

Следует иметь в виду, что при использовании в линейном тракте многоуровневых кодов с числом уровней $m_y > 2$ необходимо повысить значение $A_{\text{доп}}$ на величину $20 \lg(m_y - 1)$ дБ по сравнению со значением, полученным для случая $m_y = 2$.

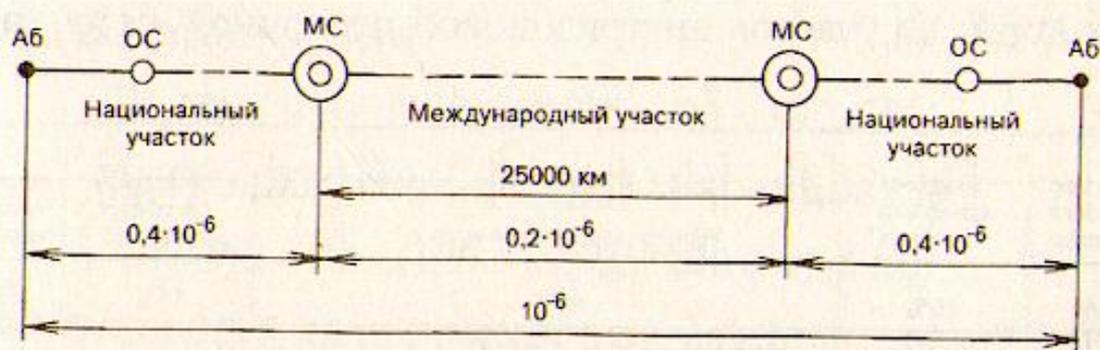


Рис. 13.3. Требования к вероятности ошибок при международном соединении

МККТТ рекомендует несколько иные принципы нормирования коэффициента ошибок, а следовательно, и качества передачи информации по ОЦК. Эти принципы изложены в Рекомендации G.821 МККТТ и состоят в следующем.

Для оценки ошибок в ОЦК, который может предоставляться для международного соединения, вводятся три параметра (условно обозначим их буквами *A*, *B* и *V*), характеризующих его качество:

A – при оценках в одноминутных интервалах число ошибок не менее чем в 90% измерений должно быть не более 4;

B – при оценках в одnoseкундных интервалах число ошибок не менее чем в 99,8% измерений должно быть не более 64;

V – при оценках в одnoseкундных интервалах ошибки должны отсутствовать не менее чем в 92% измерений.

Общее время оценки качества (предположительно один месяц) делится на время, в течение которого соединение считается доступным (при выполнении указанных требований) либо недоступным (аварийное состояние) абонентам. При этом ошибки анализируются в одnoseкундных интервалах, а затем из общего числа измерений исключаются измерения, содержащие более 64 ошибок. Результаты остальных измерений последовательно группируются в пакеты по 60 с и относятся к одноминутным интервалам измерений.

Международное соединение ОЦК, т. е. канала с пропускной способностью 64 кбит/с, максимальной протяженностью 27500 км предлагается рассматривать состоящим из участков низшего, среднего и высшего качества (рис. 13.4). При распределении норм между любыми участками соединения предлагается делить время измерений с заданным числом ошибок, выраженное в процентах (рис. 13.4).

Если принять указанное распределение норм за основу, то при переходе от международного соединения к номинальной цепи ОЦК ВСС получим следующее распределение параметров качества: на номинальную цепь магистральной первичной сети (протяженность 12500 км), входящую в состав участка высшего класса качества международного соединения, отводится 20% общих норм; на участок внутризоновой первичной сети (протя-

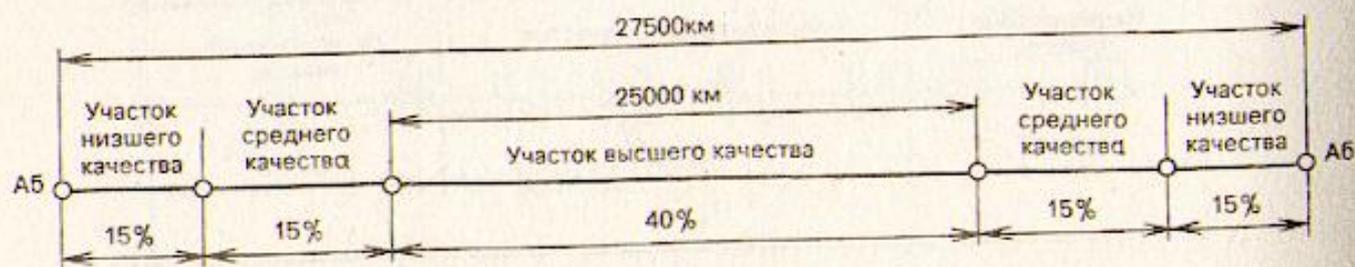


Рис. 13.4. Распределение норм параметров качества на международном соединении

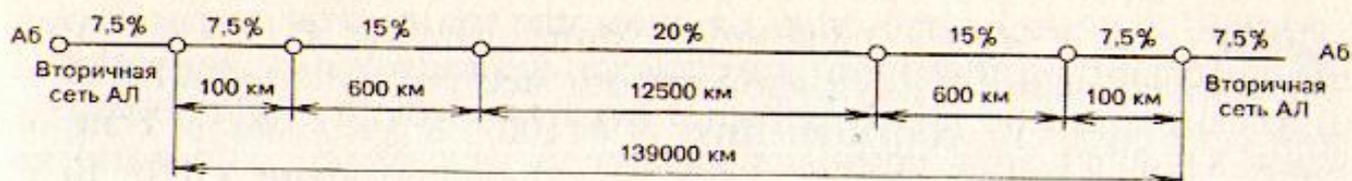


Рис. 13.5. Распределение норм параметров качества на номинальной цепи ОЦК ВСС

женность 600 км), соответствующий участку среднего класса качества, — 15%, а на участок низшего класса качества, состоящий из участка местной первичной сети и абонентского участка местной вторичной сети, — 15% (по 7,5% на каждый из указанных участков). Указанное распределение норм параметров качества на различных участках номинальной цепи ОЦК ВСС показано на рис. 13.5.

С учетом сказанного нетрудно получить требуемые значения каждого из параметров качества K'_k (A , B и B) на отдельных участках номинальной цепи ОЦК ВСС, воспользовавшись выражением $K'_k \geq 100 - (100 - K_k) \alpha_k / 100$, где K_k — допустимое значение соответствующего параметра качества, указанное в Рекомендации G.821 МККТТ, %; α_k — часть общих норм на параметры качества, отведенная на данный участок номинальной цепи ОЦК ВСС, %:

на участке магистральной сети

$$K'_k(A) \geq 100 - (100 - 90)20/100 = 98 \%,$$

$$K'_k(B) \geq 100 - (100 - 99,8)20/100 = 99,96 \%,$$

$$K'_k(B) \geq 100 - (100 - 92)20/100 = 98,4 \%;$$

на участке внутризоновой сети

$$K'_k(A) \geq 100 - (100 - 90)15/100 = 98,5 \%,$$

$$K'_k(B) \geq 100 - (100 - 99,8)15/100 = 99,97 \%,$$

$$K'_k(B) \geq 100 - (100 - 92)15/100 = 98,8 \%;$$

на участке местной сети

$$K'_k(A) \geq 100 - (100 - 90)7,5/100 = 99,25 \%,$$

$$K'_k(B) \geq 100 - (100 - 99,8)7,5/100 = 99,985 \%,$$

$$K'_k(B) \geq 100 - (100 - 92)7,5/100 = 99,4 \%.$$

Значения соответствующих параметров качества для всей номинальной цепи ОЦК ВСС могут быть определены по формуле

$$K'_k \geq 100 - (M_{\text{маг}} + 2M_{\text{вз}} + 2M_{\text{местн}}),$$

где $M_{\text{маг}}$, $M_{\text{вз}}$, $M_{\text{местн}}$ – параметры, определяемые соответственно для магистрального, внутрizonового и местного участков первичной сети согласно соотношению $M = (100 - K_k)\alpha_k / 100 \%$. Например, значение параметра A для номинальной цепи ОЦК ВСС равно $K'_k(A) = 100 - (2 + 2 \times 1,5 + 2 \times 0,75) = 93,5 \%$.

Результаты всех расчетов приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Номинальная цепь	Значение параметра, %		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
Международное соединение (27 500 км)	90	99,8	92
Номинальная цепь ОЦК ВСС (13 900 км)	93,5	99,87	94,8
Участок магистральной сети (12 500 км)	98	99,96	98,4
Участок внутрizonовой сети (600 км)	98,5	99,97	98,8
Участок местной сети (100 км)	99,25	99,985	99,4

Если известны значения параметров качества на различных номинальных участках сети K_k , можно определить значения соответствующих параметров качества для конкретной линии протяженностью l , отличной от номинальной протяженности L для данного участка сети, используя соотношение $K''_k \geq 100 - (100 - K_k) l/L$. Например, параметры A , B и B для магистральной линии протяженностью 5200 км соответственно будут иметь следующие значения:

$$K''_k(A) \geq 100 - (100 - 98)5\,200/12\,500 = 99,168 \%,$$

$$K''_k(B) \geq 100 - (100 - 99,96)5\,200/12\,500 = 99,9834 \%,$$

$$K''_k(B) \geq 100 - (100 - 98,4)5\,200/12\,500 = 99,3344 \%.$$

Таким образом, в соответствии с Рекомендацией G.821 МККТТ нормируется процент измерений, в которых число ошибок не должно превышать некоторое заданное пороговое значение. Для оценки состояния канала требуется проведение большого числа измерений (число односекундных интервалов в месяце составляет $2,6 \cdot 10^6$), что усложняет процесс обработки результатов измерений и затрудняет экспресс-оценку состояния канала.

Очевидно, параметры A и B можно отнести к одиночным ошибкам, возникающим в процессе регенерации, а параметр B – к пакетам ошибок. Процесс пакетирования описать статистически затруднительно (особенно, если ошибки вызваны внешними

электромагнитными воздействиями), в то время как для одиночных независимых ошибок характерен равномерный закон появления ошибок. Если при этом предположить, что нормы, соответствующие параметру B , внутри участков номинальной цепи распределены равномерно, то можно установить условные километрические нормы на относительное число односекундных интервалов, в которых может содержаться хотя бы одна ошибка: на магистральном участке сети $(1 - 0,984)/12\ 500 = 1,28 \cdot 10^{-6}$; на внутризональном участке $(1 - 0,988)/600 = 2 \cdot 10^{-5}$; на местном — $(1 - 0,994)/100 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ км}^{-1}$. Использование параметра B указанным способом позволяет относительно простыми техническими средствами установить отсутствие серьезных ухудшений качества передачи информации в течение относительно коротких экспресс-оценок.

При известных требованиях к коэффициенту ошибок, как отмечалось в предыдущих разделах, нетрудно определить допустимое значение защищенности на входе решающего устройства регенератора, исходя из которого устанавливается предельно достижимая длина участка регенерации.

Расчет длины участка регенерации при работе ЦСП по симметричным кабелям

В цифровых линейных трактах, организованных на симметричном кабеле, преобладающим видом помех являются переходные на ближнем (при однокабельной системе) и дальнем (при двухкабельной системе) концах. При этом расчет длины участка регенерации для ЦСП, работающих по низкочастотным и высокочастотным кабелям, имеет свои особенности.

Особенности расчета длины участка регенерации (l_p) для ЦСП, работающих по многопарным симметричным кабелям ГТС типов ТГ и ТПП с повивной и пучковой скрутками, связаны с невысокими параметрами передачи этих кабелей. Требуемая помехозащищенность на входе регенератора в данном случае обеспечивается в основном за счет правильного выбора пар кабеля для организации цифровых трактов.

Наибольшие трудности возникают при организации однокабельного варианта работы, который является наиболее экономичным. Для каждого типа кабеля определяется процент пар, пригодных для использования, и формулируются конкретные рекомендации по их выбору. Например, для кабеля с повивной скруткой емкостью 200×2 для использования пригодны 23 % пар и рекомендуется для одного направления передачи выбирать пары из 7-го повива, а для обратного направления — из центрального повива или из первых трех повивов (в этом случае

число экранирующих повивов оказывается не менее трех). В то же время для кабеля с пучковой скруткой той же емкости при системе скрутки $4 \times (50 \times 2)$ для использования пригодны 20% пар и рекомендуется выбирать пары для различных направлений передачи через один главный пучок.

После того как намечены пары кабеля, закрепляемые за каждой из проектируемых систем, в зависимости от взаимного расположения пар передачи и приема по соответствующим таблицам [12] (или путем соответствующих измерений) определяются среднее значение переходного затухания на ближнем конце $A_{0\text{ср}}$ и стандартное отклонение переходного затухания на ближнем конце $\sigma_{0\text{ср}}$. Эти параметры находятся на полутактовой частоте ЦСП (для ИКМ-30 1024 кГц). В кабелях с пучковой скруткой указанные параметры для пар, расположенных внутри главного пучка, составляют $A_{0\text{ср}} = 75$ дБ и $\sigma_{0\text{ср}} = 12$ дБ, а для пар, расположенных в смежных главных пучках, — $A_{0\text{ср}} = 93$ дБ и $\sigma_{0\text{ср}} = 6$ дБ. В кабелях с повивной скруткой для пар, расположенных через три повива, $A_{0\text{ср}} = 78$ дБ и $\sigma_{0\text{ср}} = 8$ дБ.

Расчетная длина регенерационного участка в данном случае определяется по формуле

$$l_p \leq A_{\text{уч}} / \alpha = (A_{0\text{ср}} - \sigma_{0\text{ср}} - 10 \lg N - A_{\text{зап}}) / \alpha, \quad (13.25)$$

где N — число одновременно работающих ЦСП; α — коэффициент затухания кабеля на полутактовой частоте; $A_{\text{зап}}$ — запас помехозащищенности, обычно принимаемый равным 24,7 дБ.

Если проектируемое число СП по кабелю ТГ больше максимального числа N , то расчетное значение затухания регенерационного участка $A_{\text{уч}}$ рекомендуется определять по номограмме, приведенной на рис. 13.6. Для этого по оси ординат откладывается проектируемое число N и отмечается точка A , из которой проводится прямая, параллельная оси абсцисс, до пересечения с падающей кривой, обозначенной числом пар в используемом кабеле (точка B). При этом восходящая кривая, проведенная через данную точку, дает значение затухания регенерационного участка, а перпендикуляр, опущенный из нее на ось абсцисс, укажет число повивов n , которое должно разделять пары встречных направлений передачи. Например, если $N = 60$, а емкость кабеля 300×2 , то расчетное значение затухания участка $A_{\text{уч}} = 23$ дБ, а число повивов между парами различных направлений передачи должно составлять не менее трех (см. рис. 13.6).

Если проектируемое число СП, работающих по кабелю ТПП, больше максимального числа для кабеля данной емкости, то по намеченному расположению пар встречных направлений опреде-

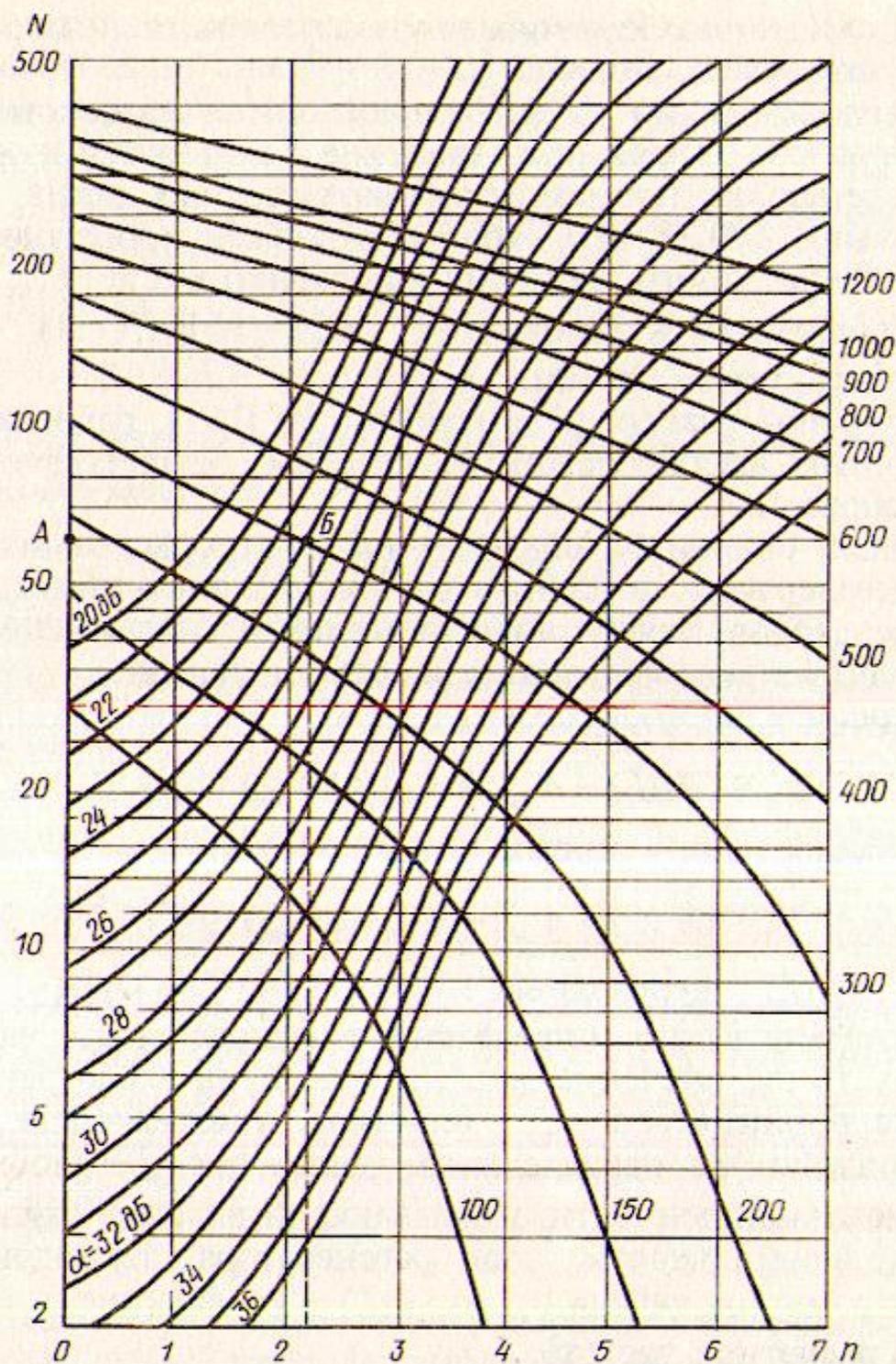


Рис. 13.6. Номограмма для определения затухания участка регенерации

ляются минимальные значения параметров $A_{0\text{ ср}}$ и $\sigma_{0\text{ ср}}$, которые и подставляются в формулу (13.25).

В ситуации, при которой затруднены выбор пар кабеля и оценка параметров $A_{0\text{ ср}}$ и $\sigma_{0\text{ ср}}$, пары выбираются произвольно, но длина участка регенерации сокращается по сравнению с номинальным значением в 1,5 раза при числе систем до 100 и в 2 раза при числе систем свыше 100. Сокращение длины участка регенерации в 2 раза рекомендуется также для участков, прилегающих

ОРП или ОП, что обеспечивает защиту стационарных регенераторов от импульсных помех.

При использовании двухкабельной СП отпадает необходимость отбора пар кабеля при установке до 100 систем, если эти пары удовлетворяют нормам для низкочастотных линий. При установке свыше 100 систем отбор пар должен производиться по значениям переходного затухания на дальнем конце $A_{кр}$, которое должно удовлетворять условию $A_{кр} \geq 55 + 10 \lg(N - 1)$, где N — число проектируемых систем.

Расчет длины участка регенерации для ЦСП, работающих по симметричным высокочастотным кабелям, осуществляется следующим образом.

Поскольку основным видом помех, от которых зависит длина участка регенерации, в данном случае являются помехи от линейных переходов, для определения длины участка регенерации можно пользоваться следующими соотношениями:

для однокабельной системы

$$l_p \leq (A_0(f_p) - A_{доп} - A_{вл} - \Delta A_{зап}) / \alpha(f_p); \quad (13.26)$$

для двухкабельной системы

$$l_p \leq (A(f_p) - A_{доп} - A_{вл} - \Delta A_{зап}) / \alpha(f_p), \quad (13.27)$$

где $A_0(f_p)$, $A(f_p)$ — переходные затухания на ближнем и дальнем концах соответственно, определенные на расчетной частоте f_p ; $A_{доп}$ — допустимое значение защищенности на входе решающего устройства регенератора; $A_{вл}$ — величина, учитывающая влияние СП, работающих по параллельным цепям; $\Delta A_{зап}$ — необходимый запас помехозащищенности, учитывающий влияние ухудшающих факторов, неидеальность узлов регенератора, технологический разброс параметров кабеля и т. п.; $\alpha(f_p)$ — коэффициент затухания кабеля на расчетной частоте.

При оценке параметров $A_0(f_p)$, $A(f_p)$ и $\alpha(f_p)$ следует иметь в виду следующее. Переходное затухание на ближнем конце $A_0(f_p)$ при длине кабеля свыше нескольких сотен метров практически остается постоянным, т. е. при расчетах можно использовать значение $A_0(f_p)_{стр}$ на строительную длину кабеля $l_{стр}$ (обычно $l_{стр} = 825$ или 1000 м). В то же время с ростом частоты величина A_0 уменьшается со скоростью примерно 4,5 дБ/окт., т. е.

$$A_0(f_p) = A_0(f_1) - 15 \lg(f_p/f_1),$$

где $A_0(f_1)$ — переходное затухание на ближнем конце, определенное на частоте f_1 (обычно f_1 выбирается равной 0,25 МГц, так как

на этой частоте измеряется и нормируется защищенность цепей строительных длин симметричных кабелей). Для приближенных расчетов можно принять $A_0(f_1) = 60$ дБ.

Переходное затухание на дальнем конце $A(f_p)$ существенно зависит от длины линии. Если, например, задано переходное затухание для строительной длины кабеля $A(f_p)_{стр}$, то $A(f_p)$ будет определяться как

$$A(f_p) = A(f_p)_{стр} - 10 \lg(l_p/l_{стр}) + \alpha(f_p)(l_p - l_{стр}).$$

С ростом частоты величина A_f уменьшается со скоростью примерно 6 дБ/октава, т. е.

$$A(f_p) = A(f_1) - 20 \lg(f_p/f_1).$$

Для приближенных расчетов можно принять $A(f_1)_{стр} = 70$ дБ.

Коэффициент затухания кабеля для приближенных расчетов можно определять по аналитическим выражениям, приведенным в табл. 13.3.

Таблица 13.3

Марка кабеля	$\alpha(f)$, дБ/км
МКСБ 4 × 4	$5,239 \sqrt{f} + 0,149f$
МКСА 4 × 4	$4,737 \sqrt{f} + 0,217f$
МКСБ 7 × 4	$5,074 \sqrt{f} + 0,159f$
ЭК, КСПП 1 × 4	$5,222 \sqrt{f} + 0,208f$
КСПП 1 × 4 × 0,9	$9 \sqrt{f}$

В приведенных соотношениях f выражается в мегагерцах, а в качестве расчетной частоты выбирается полутаковая частота, т. е. $f_p = 0,5f_T$.

При более точных расчетах следует воспользоваться справочными данными по параметрам кабелей и учесть среднеквадратические отклонения параметров от средних значений.

При малом числе влияющих СП ($N_c \approx 2...4$) переходные помехи могут складываться по напряжению и величину $A_{вл}$, входящую в (13.26), с некоторым запасом можно определять как $A_{вл} = 20 \lg N_c$, а при большом числе влияющих систем помехи будут складываться по мощности и $A_{вл} = 10 \lg N_c$.

Величина $\Delta A_{зап}$, входящая в (13.26), в зависимости от конкретных условий выбирается в пределах 5...15 дБ. Значение $A_{доп}$

пределяется исходя из требований к коэффициенту ошибок ночного регенератора.

Длину регенерационных участков, прилегающих к стационарным сооружениям и подверженных дополнительным влияниям, рекомендуется сокращать вдвое по сравнению с величиной, полученной в соответствии с (13.26) или (13.27).

Расчет длины участка регенерации при работе ЦСП по коаксиальным кабелям

Благодаря своей конструкции коаксиальные кабели достаточно хорошо защищены от внешних помех, особенно в высокочастотной части спектра. Уже на частотах порядка 100 кГц переходное затухание превышает 100 дБ и увеличивается пропорционально квадратному корню из частоты. Это позволяет применять однокабельную систему организации цифровых линейных трактов.

Основным фактором, ограничивающим длину участка регенерации, в данном случае являются собственные помехи (тепловые шумы линии и узлов аппаратуры и собственные шумы корректирующего усилителя). Значение защищенности от собственных помех $A_{з\text{сп}}$ может быть определено с помощью соотношений при условии, что $\Delta F_{\text{икм}} \approx f_T$

$$A_{з\text{сп}} = 10 \lg [\beta P_c / (2kT f_T F_{ш} \exp \beta)], \quad (13.28)$$

$$\beta = 0,23\alpha(f_p) l_p \sqrt{f_T / f_p},$$

где P_c — мощность сигнала, Вт; k — постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт·с/К; T — абсолютная температура по шкале Кельвина; $F_{ш}$ — коэффициент шума корректирующего усилителя; f_T — тактовая частота, Гц.

Принимая $A_{з\text{сп}} = A_{\text{доп}}$ и решая это уравнение относительно l_p , можно найти расчетное значение длины участка регенерации. При этом величина P_c может быть определена как $P_c = U_m^2 / Z_n$, где U_m — амплитуда единичного импульса в линейном тракте, В, а Z_n — волновое сопротивление линии (обычно $Z_n = 75$ Ом).

Для приближенных расчетов $\alpha(f)$ можно воспользоваться следующими соотношениями:

для коаксиальной пары 2,6/9,4 мм (кабели КМ-4, КМ-8/6)

$$\alpha(f) = 0,014 + 2,46 \sqrt{f} + 0,006f;$$

для коаксиальной пары 1,2/4,6 мм (кабель МКТ-4)

$$\alpha(f) = 0,07 + 5,26 \sqrt{f} + 0,015f.$$

В приведенных соотношениях частота выражается в мегагерцах.

Расчет длины участка регенерации при работе ЦСП по оптическим кабелям

Длина регенерационного участка ВОСП в основном определяется двумя параметрами: суммарным затуханием регенерационного участка и дисперсией оптического кабеля (ОК).

Если учитывать только затухание, т. е. потери в ОК, устройствах ввода-вывода оптического излучения, разъемных и неразъемных соединителях, то длина участка регенерации может быть определена по формуле

$$l_p \leq (\mathcal{E}_n - A_{pc}n_{pc} - A_{nc}n_{nc} - A_{зап})/\alpha, \quad (13.29)$$

где \mathcal{E}_n – энергетический потенциал ВОСП, определяемый как $\mathcal{E}_n = P_{пер} - P_{пр}$ и указываемый в технических характеристиках ВОСП; n_{nc} , n_{pc} – число неразъемных и разъемных соединителей соответственно; A_{nc} , A_{pc} – потери в неразъемных и разъемных соединителях соответственно; $A_{зап}$ – запас на возможное увеличение затухания участка за счет температурных изменений затухания оптического волокна (ОВ), ухудшения характеристик компонентов участка во времени и т. п.; α – коэффициент затухания кабеля.

С учетом дисперсионных свойств ОВ длина участка регенерации не должна превышать значения, определяемого из соотношения

$$l_p \leq 0,25/\sigma B, \quad (13.30)$$

где B – требуемая скорость передачи информации, бит/с; σ – среднеквадратическое значение дисперсии ОВ, с/км. Для многомодовых волокон $\sigma = 0,25/\Delta f$, где Δf – коэффициент широкополосности волокна, указываемый в паспортных данных кабеля, Гц·км. Для одномодовых волокон $\sigma = 10^{-12} \Delta\lambda \sigma_n$, где σ_n – нормированная среднеквадратическая дисперсия, указываемая в паспортных данных кабеля, нс/(нм·км); $\Delta\lambda$ – ширина полосы оптического излучения, указываемая в паспортных данных соответствующего источника излучения, нм.

В качестве окончательного значения длины участка регенерации выбирается наименьшее значение из полученных по соотношениям (13.29) и (13.30). Таким образом, длина участка регенерации ВОСП определяется энергетическим потенциалом системы \mathcal{E}_n , коэффициентом затухания α и дисперсией σ ОК, а также потерями в разъемных и неразъемных соединителях.

Правильность выбора ОК может быть также оценена путем расчета быстродействия системы и сравнения его с допустимым значением (быстродействие системы характеризует способность ее компонентов обеспечивать заданную скорость передачи информации). Допустимое быстродействие ВОСП зависит от типа используемого кода в линейном тракте и скорости передачи информации: $t_{\text{доп}} = \beta/B$, где β – коэффициент, учитывающий тип кода и равный 0,7 для кода без возвращения к нулю (NRZ) и 0,35 для всех других кодов. Ожидаемое быстродействие определяется по формуле $t_{\text{ож}} = 1,111\sqrt{t_{\text{пер}}^2 + t_{\text{пр}}^2 + t_{\text{ов}}^2}$, где $t_{\text{пер}}$ – быстродействие передающего оптического модуля, зависящее от скорости передачи информации и типа источника излучения, нс; $t_{\text{пр}}$ – быстродействие приемного оптического модуля, определяемое скоростью передачи и типом фотоприемника, нс; $t_{\text{ов}} = \sigma l_p$ – уширение импульса на длине регенерационного участка.

Если $t_{\text{ож}} \leq t_{\text{доп}}$, то выбор типа ОК и длины участка регенерации сделан верно. Если при этом запас по быстродействию, равный $t_{\text{доп}} - t_{\text{ож}}$, оказывается большим, то можно ослабить требования к компонентам ВОСП. Если $t_{\text{ож}} > t_{\text{доп}}$, то необходимо либо сократить длину участка регенерации, либо использовать более качественные компоненты ВОСП.

13.4. ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

На ВСС России, как и в большинстве развитых стран, принят и реализуется курс на цифровизацию сети связи. Однако предстоит достаточно длительный период сосуществования на сети аналоговой и цифровой техники связи. Значительное число соединений будет устанавливаться с использованием обоих видов техники. Для того чтобы в этих условиях обеспечить заданные характеристики каналов и трактов, принципы проектирования ЦСП и АСП передач должны быть совместимы. Это в первую очередь касается структуры номинальных эталонных цепей, норм на суммарную мощность помех, возможности совместной работы на сети и т. п.

Сопряжение цифровой первичной сети с существующей аналоговой первичной сетью должно обеспечиваться за счет:

образования аналоговых каналов передачи и групповых трактов в цифровой первичной сети;

образования цифровых каналов и групповых трактов в аналоговой первичной сети;

использования общей среды распространения для передачи сигналов АСП и ЦСП.

При анализе возможностей совместной работы АСП и ЦСП следует учитывать показатели, которые связаны с совместным использованием линейных трактов и станционных помещений и определяют электромагнитную совместимость соответствующих сигналов, а также особенности эксплуатационно-технического обслуживания. Важным, например, является требование равенства или кратности длины усилительных участков l_{yy} и участков регенерации l_p , а также длин секций ДП и обслуживания, так как при этом существенно облегчаются реконструкция и обслуживание магистралей. Данное требование в основном выполняется: для систем передачи К-3600 и ИКМ-1920 $h = l_{yy}/l_p = 1$, а для систем К-60П и ИКМ-120 $h = 4$.

Организация в ЦСП каналов и трактов, широко используемых в АСП, возможна за счет аналого-цифрового преобразования групповых телефонных сигналов (ИКМ-ЧРК). Большое внимание уделяется применению трансмультиплексоров различного типа, которые, обеспечивая взаимные преобразования групповых аналоговых и цифровых сигналов, способствуют решению проблемы сопряжения цифровых и аналоговых каналов и трактов. Например, с помощью трансмультиплексора два цифровых сигнала с тактовой частотой 2048 кбит/с можно преобразовать в сигнал вторичной группы частот, занимающей полосу 312...552 кГц, и ввести его в тракт СП с ЧРК. Трансмультиплексор может обеспечить преобразование сигнала, соответствующего стандартной вторичной группе частот, в два первичных цифровых потока с тактовой частотой 2048 кбит/с.

Проблема электромагнитной совместимости АСП и ЦСП может возникнуть при их работе по параллельным цепям одного симметричного кабеля (в коаксиальных кабелях взаимными влияниями между параллельными цепями можно пренебречь, учитывая, что скорость передачи цифровых сигналов составляет не менее 30 Мбит/с). В этом случае между АСП и ЦСП возникают взаимные электромагнитные влияния, которые могут привести, с одной стороны, к увеличению мощности несопадающих помех в каналах ТЧ АСП, а с другой стороны, к возрастанию вероятности ошибки в регенераторе ЦСП.

Эквивалентная схема взаимного влияния АСП и ЦСП представлена на рис. 13.7. На этом рисунке учтено, что, как правило, $l_{yy} > l_p$, и через $A_{0\Sigma}$ и A_{Σ} обозначены суммарные переходные затухания на ближнем и дальнем концах соответственно с учетом нескольких влияющих цепей.

Как видно из рис. 13.7, наибольшему влиянию будет подвержен первый участок регенерации, прилегающий к усилительному пункту АСП, так как вход соответствующего линейного регене-

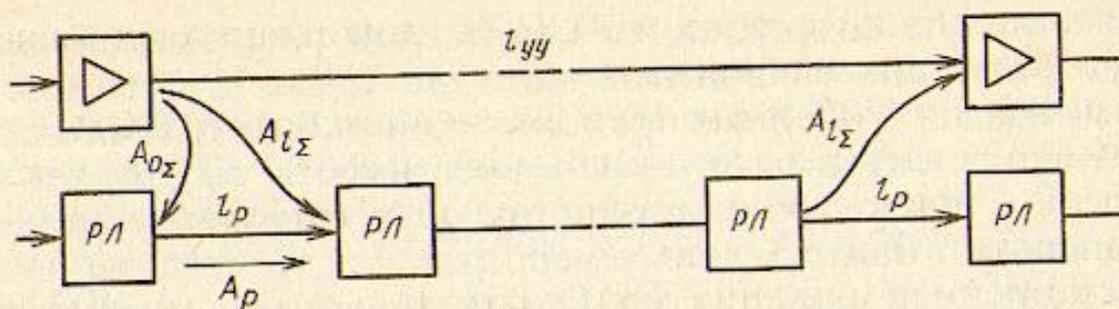


Рис. 13.7. К оценке взаимного влияния АСП и ЦСП

атора (РЛ) оказывается вблизи выходных зажимов усилителя, на которых уровень сигнала (в данном случае влияющего) оказывается максимальным. Влияние АСП на ЦСП осуществляется за счет перехода энергии как на дальнем, так и на ближнем конце и последующего ее отражения в точках подключения предыдущего РЛ к линии. Теоретические расчеты и экспериментальные испытания показали, что в наихудшем случае защищенность от переходных помех на входе РЛ составляет не менее 40 дБ, что практически не приводит к какому-либо заметному увеличению вероятности ошибки. Таким образом, влиянием АСП на ЦСП в большинстве случаев можно пренебречь.

Отрицательное влияние цифровых сигналов на качество передачи информации по каналам АСП проявляется в увеличении уровня помех в каналах ТЧ из-за попадания в них спектральных составляющих цифрового сигнала. Влияние ЦСП на АСП происходит за счет перехода энергии на дальнем конце (см. рис. 13.7), причем основная доля мощности переходной помехи обусловлена влиянием последнего (прилегающего к усилительному пункту АСП) участка регенерации. Мощность переходных помех будет наибольшей в верхних по спектру каналах АСП. Это хорошо видно из рис. 13.8, на котором показан примерный энергетический спектр $G(f)$ для квазитроичных кодов и отмечены верхняя f_v и нижняя f_n частоты линейного спектра АСП. Численные расчеты и экспериментальные испытания показали, что за счет влияния ЦСП на АСП в верхних по спектру каналах ТЧ возможно заметное увеличение мощности помех, для уменьшения которой можно:

использовать в линейном тракте коды, имеющие минимум спектральной плотности в области нижних частот, которая со-

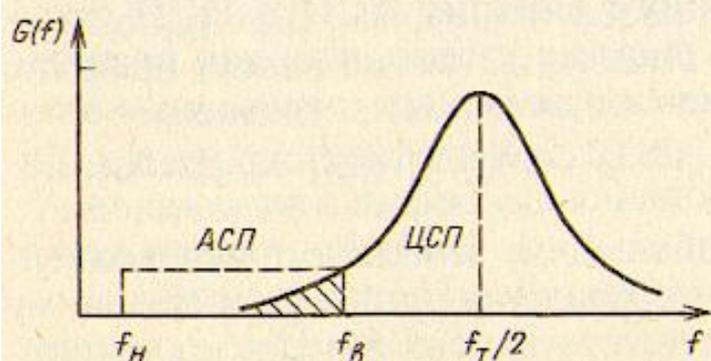


Рис. 13.8. К возникновению помех в каналах АСП за счет влияния ЦСП

впадает с линейным спектром АСП (в этом плане оптимальным является биимпульсный сигнал);

снизить амплитуду импульсов в линейном тракте ЦСП;

симметризовать кабель в диапазоне частот АСП на участках регенерации, прилегающих к усилительным пунктам;

уменьшить длину УУ и др.

Рассмотренная ситуация может возникнуть на сети при работе АСП типов КРР, КАМА, К-60П и ЦСП типов ИКМ-15, ИКМ-30 и ИКМ-120.

ГЛАВА 14. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

14.1. ЛИНЕЙНО-АППАРАТНЫЙ ЦЕХ

Линейно-аппаратные цехи (ЛАЦ) и службы предназначаются для организации и технической эксплуатации линейных и сетевых трактов, широкополосных каналов, каналов ТЧ и ОЦК, а также для их распределения по различным вторичным сетям и другим потребителям.

Классификация ЛАЦ весьма разнообразна, но в основном их различают по местоположению в ВСС, функциональному назначению и емкости. Например, по двум первым признакам различают ЛАЦ: территориальных сетевых узлов (ТСУ-1); сетевых узлов переключения и выделения (СУП-1, СУВ-1); сетевых узлов внутризоновых первичных сетей (СУП-2, СУВ-2) и внутризоновых сетевых станций; магистральных сетевых станций (МСС) и территориальных сетевых узлов (ТСУ-2), организуемых в республиканских, краевых и областных центрах, и др. При этом МСС и ТСУ-2 входят в состав оконечной междугородной станции (ОМС)*.

Крупные ЛАЦ ОМС подразделяются на службу трактов (СТ) с выделенной секцией технического обслуживания и информационно-исполнительным пунктом (СТО-ИП) и службу каналов (СК). Организация в ЛАЦ двух самостоятельных служб обеспечивает улучшение условий эксплуатации сетей и систем связи, более рациональное размещение и использование оборудования. В некоторых случаях организуется общий ЛАЦ без деления на службы СТ и СК, но с выделенной секцией СТО-ИП.

Служба трактов ЛАЦ предназначена для организации, обслуживания и распределения линейных и сетевых трактов СП и широкополосных каналов, а также для установки аппаратуры автоматизированной системы технической эксплуатации (АСТЭ).

Служба каналов ЛАЦ предназначена для образования, обслуживания и распределения каналов ТЧ и ОЦК. Кроме того, СК ЛАЦ обеспечивает организацию каналов ЗВ по объединенным каналам ТЧ, а также необходима для установки и обслуживания аппаратуры малоканальных систем, в которых аппаратура канального преобразования неотделима от аппаратуры сопряжения и линейного тракта. В СК ЛАЦ также может устанавливаться аппаратура резервирования каналов ТЧ.

Секция технического обслуживания и информационно-исполнительный пункт сетевого узла (станции) предназначены для оперативно-технического обслуживания контролируемых объектов сетевого узла (станции) и оперативно-технического управления участком сети в зоне технического обслуживания сетевого узла (станции). В СТО-ИП поступают сигналы о состоянии аппаратуры и других служб

* Для удобства ЛАЦ МСС и ТСУ-2 обозначают как ЛАЦ ОМС.