

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.

объекта (электропитающих установок, жизнеобеспечения и др.), а также от устройств пожарной и охранной сигнализации.

На крупных ЛАЦ СТО-ИП состоит из двух помещений — помещения аппаратной и помещения оператора. В ЛАЦ ТСУ-1, СУП-1 и ОМС предусматриваются также следующие службы, имеющие отдельные помещения: измерительная, учета и переключения, станционно-ремонтная.

Помимо аппаратуры, входящей непосредственно в тракт каналов связи, в ЛАЦ устанавливается токораспределительная, вспомогательная и измерительная аппаратура. Токораспределительная аппаратура предназначена для распределения и регулирования напряжений, подаваемых на аппаратуру, а также для стабилизации напряжений, переключения и защиты цепей дистанционного питания НУП. Вспомогательная аппаратура необходима для организации нормальной эксплуатации цепей и каналов связи. К ней, в частности, относится оборудование служебной связи, телеобслуживания, телесигнализации, автоматического переключения групповых трактов и т. п. Например, для переключения низкочастотных цепей и каналов, взаимного соединения отдельных узлов аппаратуры в низкочастотном спектре, а также для организации постоянного и планового транзита по каналам ТЧ предусматривается промежуточная стойка переключений (ПСП), представляющая металлический каркас, на котором смонтированы гребенки с контактными штифтами.

В СТ ЛАЦ устанавливаются следующие основные виды аппаратуры:

а) однотипная для АСП и ЦСП: вводно-кабельная; оконечная линейного тракта; дистанционного электропитания; телемеханики; линейной и сетевой служебной связи; переключения сетевых трактов; распределительных систем передачи, организованных по симметричным парам коаксиальных кабелей, и др.;

б) только для АСП: получения токов несущих, контрольных и управляющих частот; сопряжения; преобразования стандартных групп; образования сетевых трактов; транзита и выделения групповых трактов; формирования широкополосных каналов и др.;

в) только для ЦСП: аналого-цифрового преобразования широкополосных сигналов; временного группообразования и др.

В СК ЛАЦ размещается аппаратура канального преобразования; аналого-цифрового канального преобразования; контрольно-испытательная; звукового вещания по объединенным каналам ТЧ; транзита каналов ТЧ; получения токов несущих частот для канального преобразования; малоканальных систем передачи и др.

В СТО-ИП устанавливаются следующие технические средства: управляющий вычислительный комплекс (УВК); рабочее место оператора с устройствами УВК и пультами служебной связи; контрольно-измерительный комплекс; пульт управления аппаратурой автоматического резервирования каналов ТЧ и автоматического переключения сетевых трактов и др.

Площадь СТ ЛАЦ определяется с учетом перспективы развития на 15–20 лет умножением удельной площади, занимаемой одной стойкой, на число стоек оборудования СП, планируемых к установке в СТ ЛАЦ. Для определения площади СТ ЛАЦ при общем числе стоек свыше 100 принимают, что удельная площадь для стоек шириной 680 мм и глубиной 225 мм составляет  $0,92 \text{ м}^2$ , а для стоек шириной 120 мм и глубиной 225 мм ("узкие" стойки) —  $0,16 \text{ м}^2$ . При общем числе стоек менее 100 площадь СТ ЛАЦ определяется по графику, приведенному на рис. 14.1. Площадь СК ЛАЦ с учетом перспективы развития зависит от расчетного числа организуемых каналов ТЧ или ОЦК (табл. 14.1).

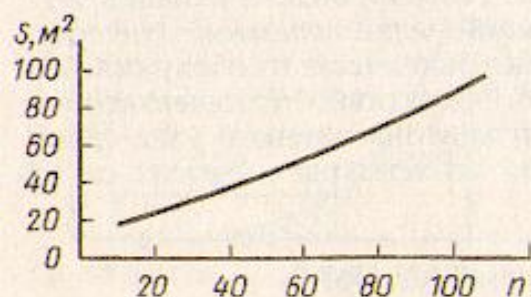


Рис. 14.1. График для определения площади СТ ЛАЦ при числе стоек менее 100

Таблица 14.1

Число каналов	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	8500
Площадь, м <sup>2</sup>	28,4	38	57,4	65,2	89,6	101	110,9	141

Расположение служб ЛАЦ и размещение аппаратуры должно обеспечивать: минимальные протяженности кабелей от их ввода в здание ЛАЦ до вводно-кабельного оборудования ЛАЦ и стационарного, а также удобство эксплуатационно-технического обслуживания оборудования ЛАЦ.

В зависимости от типа помещения ЛАЦ может применяться одно- (при ширине помещения до 12 м) или двустороннее (при ширине помещения более 12 м) размещение оборудования. Аппаратура располагается в помещениях ЛАЦ рядами перпендикулярно главному проходу. Наименования эксплуатационных проходов между рядами и их размеры устанавливаются соответствующими нормами (например, главный проход при двухстороннем расположении рядов аппаратуры должен быть не менее 1600 мм). Аппаратура, эксплуатационное обслуживание которой осуществляется только с лицевой стороны, должна, как правило, устанавливаться двоясными рядами, тыльными сторонами друг к другу.

В СТ ЛАЦ оборудование размещается по секционно-функциональному признаку с организацией секций линейных трактов, групповых сетевых трактов, секций сопряжения и технического обслуживания. Оборудование СК ЛАЦ располагается по секционному принципу. Секцию составляет аппаратура канального преобразования и аппаратура испытания и контроля образованных каналов. Примерный план размещения оборудования в ЛАЦ сетевой станции приведен на рис. 14.2.

В ЛАЦ различного типа и назначения должны проектироваться следующие виды электрической проводки:

линейная, обеспечивающая соединение между собой аппаратуры СП для получения типовых сетевых трактов, каналов ТЧ и ОЦК, широкополосных каналов, их переключения, испытания, контроля и распределения по потребителям;

сигнальная – для оптической и акустической сигнализации о неисправностях в оборудовании СП, приема вызова по служебным линиям связи;

питающая, обеспечивающая подачу от электропитающих установок напряжений всех номиналов, требующихся для электропитания аппаратуры.

Прокладка различного вида проводок осуществляется специальными кабелями с соблюдением соответствующих норм. Например, при монтаже цепей НЧ (до 10 кГц) для линейной проводки используется однопарный экранированный кабель типа РВЧС-60, а для монтажа ВЧ цепей (до 252 кГц) – однопарные экранированные кабели типа РВЧС-160 или ПВЧС-250.

Схема линейной проводки отражает прохождение цепей различного назначения, позволяющих проследить соединение установленной в ЛАЦ аппаратуры между собой и службами ЛАЦ. На рис. 14.3 в качестве примера приведена схема прохождения цепей в СТ ЛАЦ системы передачи К-60П, а на рис. 14.4 – схема прохождения цепей в СК ЛАЦ каналов ТЧ при использовании оборудования СИП-60. Схемы прохождения цепей в СК ЛАЦ практически идентичны для всех систем передачи, кроме работающих по ВЛС, и отличаются только емкостью индивидуального оборудования и числом выходов каналов к потребителю, а схемы прохождения цепей в СТ ЛАЦ отражают структуру построения каждой системы в отдельности.

На основе структурных схем прохождения каналов и трактов в службах ЛАЦ, сигнальной и питающей проводок составляются таблицы межстоечного монтажа линейной и стационарной проводок, кроссировочные таблицы и кабель-план токораспределительной сети ЛАЦ и его служб.

Для эксплуатационно-технического обслуживания линий связи организуются оперативные телефонные связи, объединяемые в единую систему служебной связи технического персонала стационарной и линейной служб, а также службы

управления. Всего на магистралях организуются четыре вида служебной связи: магистральная (МСС), постанционная (ПСС), участковая (УСС) и сетевая (ССС). При этом МСС организуется для связи между оконечными переприемными станциями и станциями выделения групп каналов с использованием каналов ТЧ систем передачи, ПСС – для обслуживания линейных трактов систем передачи и связи между оконечными и обслуживаемыми станциями, УСС – для связи необслуживаемых промежуточных станций с прилегающими обслуживаемыми или оконечными станциями, а СССР – для связи служб управления между собой, а также для связи техперсонала ЛАЦ сетевых узлов и ЛАЦ оконечных магистральных станций.

Важное место при проектировании ЛАЦ занимают вопросы охраны труда, техники безопасности и экологии. В ЛАЦ должны быть выполнены санитарно-гигиенические нормы условий труда, исключена возможность поражения электрическим током и обеспечена пожарная безопасность. Температура воздуха в помещении ЛАЦ поддерживается с учетом годовых колебаний внешней температу-

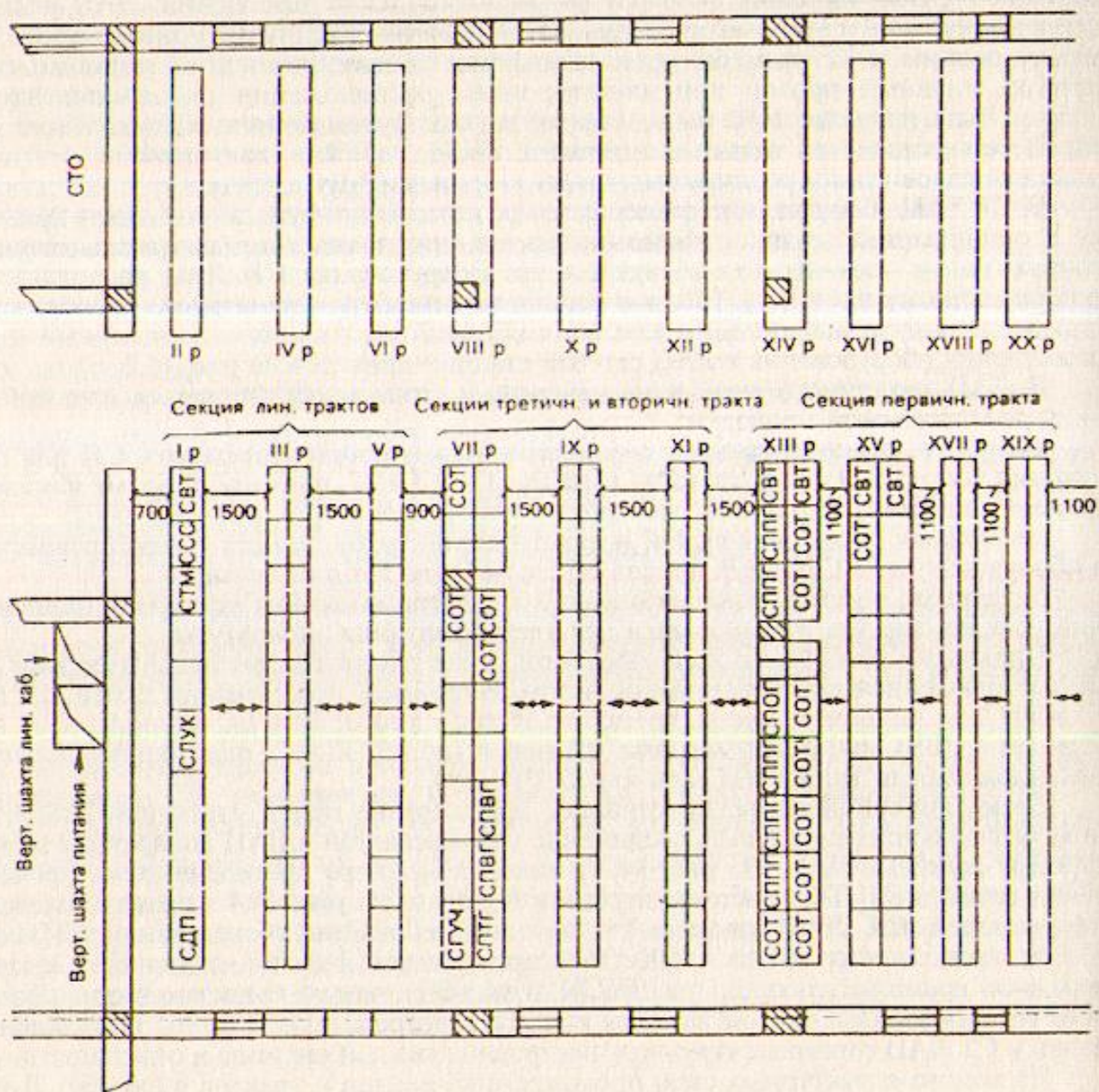
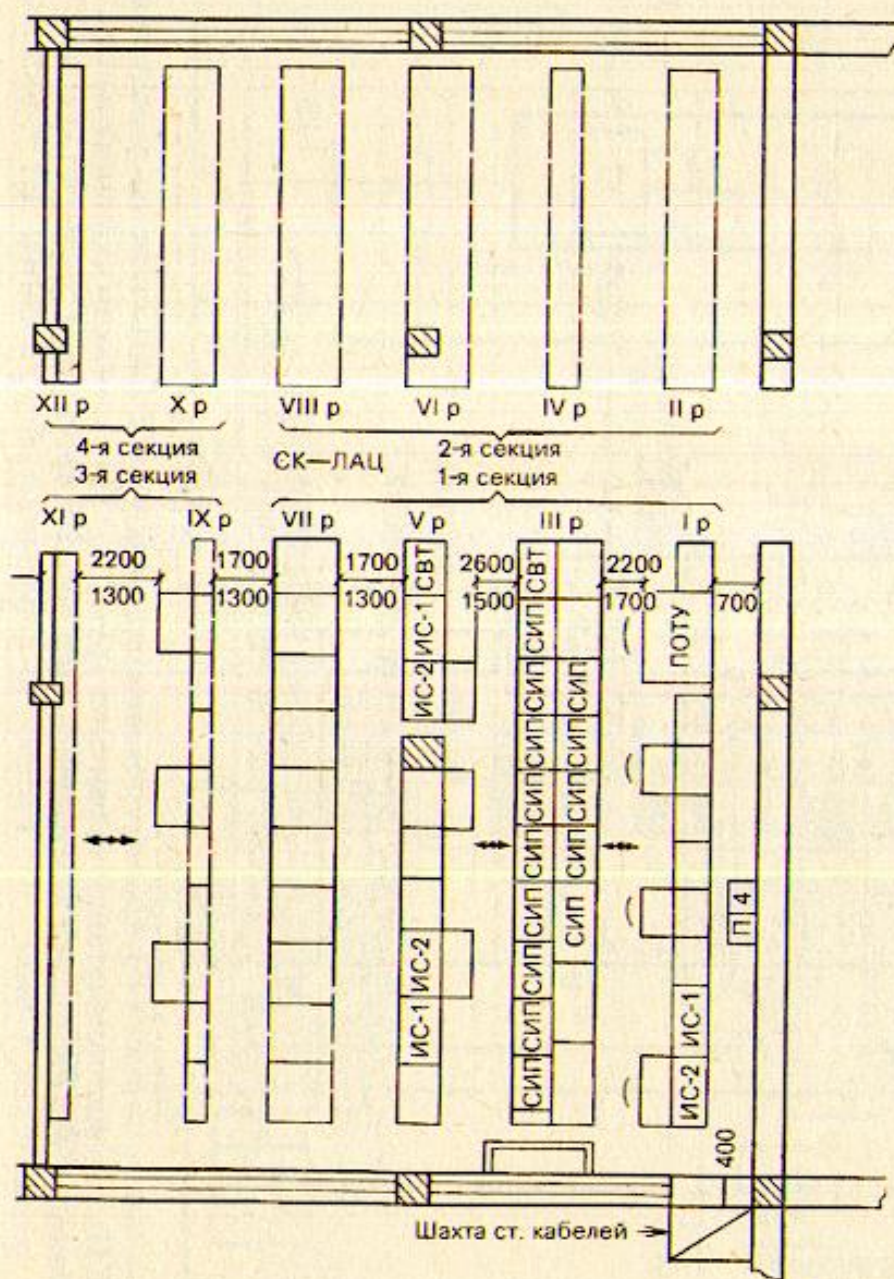


Рис. 14.2. Примерный план размещения  
 ИС – испытательные стойки; ПОТУ – пульт оперативно-технического управле  
 тельная торцевая; СОТ – стойка образования трактов; СППГ, СПВГ, СПТГ –  
 вых трактов; СГУЧ – стойка генераторов управляющих частот; СЛУК – стойка  
 СССР – стойка служебной связи; СТМ – стойка телемеханики; СТО – секция тех

ры в пределах 16...30° С при относительной влажности воздуха 45...75%. Для этого ЛАЦ оборудуется приточно-вытяжной вентиляцией с обменом воздуха не менее 20 м<sup>3</sup>/ч на каждого работающего. Естественное и искусственное освещение устанавливается исходя из принятых норм освещенности.

## 14.2. НАДЕЖНОСТЬ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Многоканальные СП с позиций теории надежности представляют сложные динамические системы, т. е. совокупность большого числа технических устройств, взаимодействующих в процессе выполнения производственных задач на основе сложных функциональных взаимосвязей.



оборудования в ЛАЦ сетевой станции:

ния; СИП – стойка индивидуального преобразования; СВТ – стойка вспомога-  
стойки образования и переключения первичных, вторичных и третичных группо-  
линейных усилителей и корректоров; СДП – стойка дистанционного питания;  
нического обслуживания

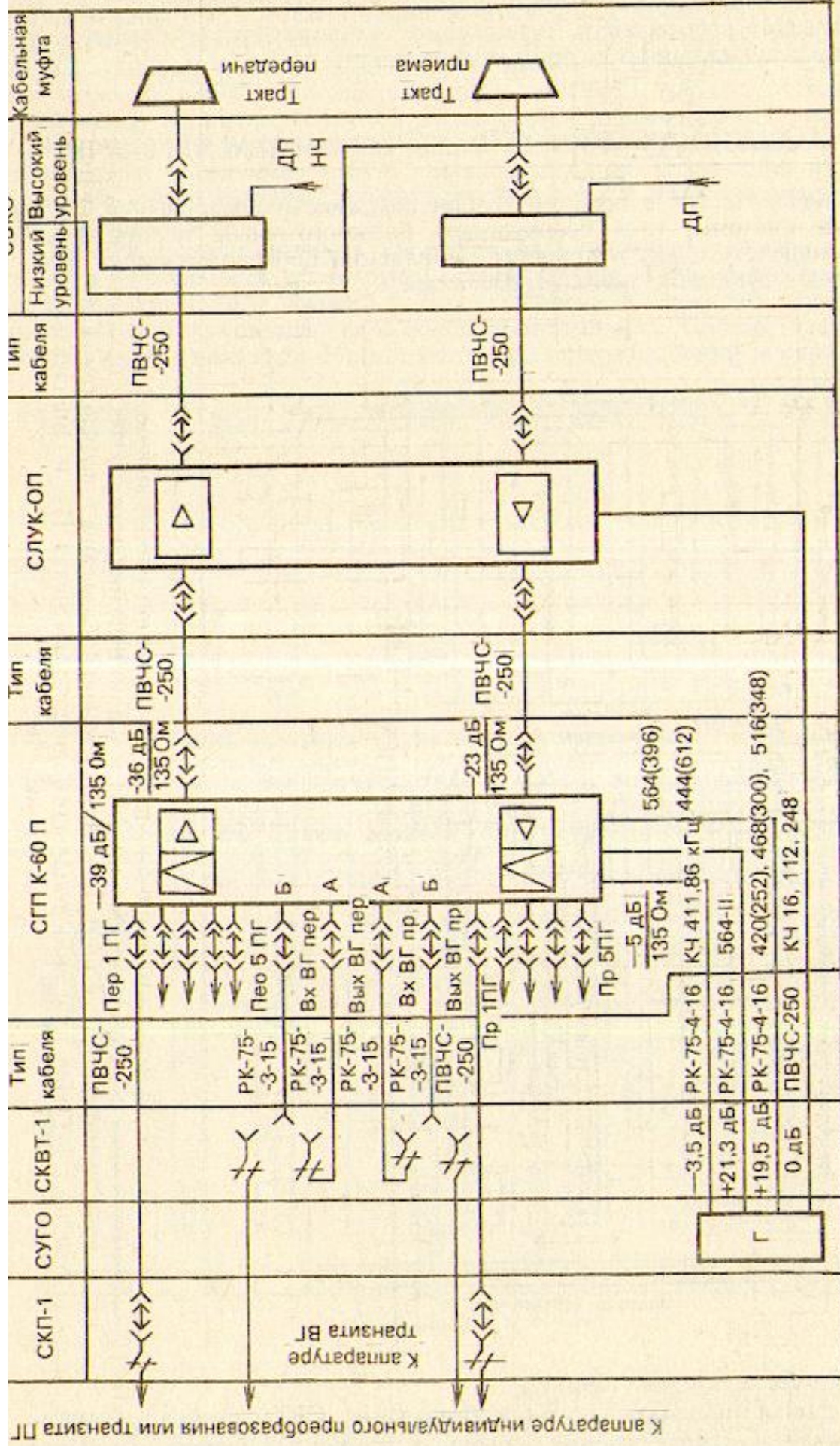


Рис. 14.3. Схема прохождения цепей в СТ ЛАЦ системы передачи К-60П:  
 СКП – стойка коммутации первичных групп; СУГО – стойка унифицированного группового оборудования; СКВТ – стойка коммутации вторичных и третичных групп; СГП – стойка групповых преобразователей; СВКО – стойка вводно-кабельного оборудования; ДП – дистанционное питание

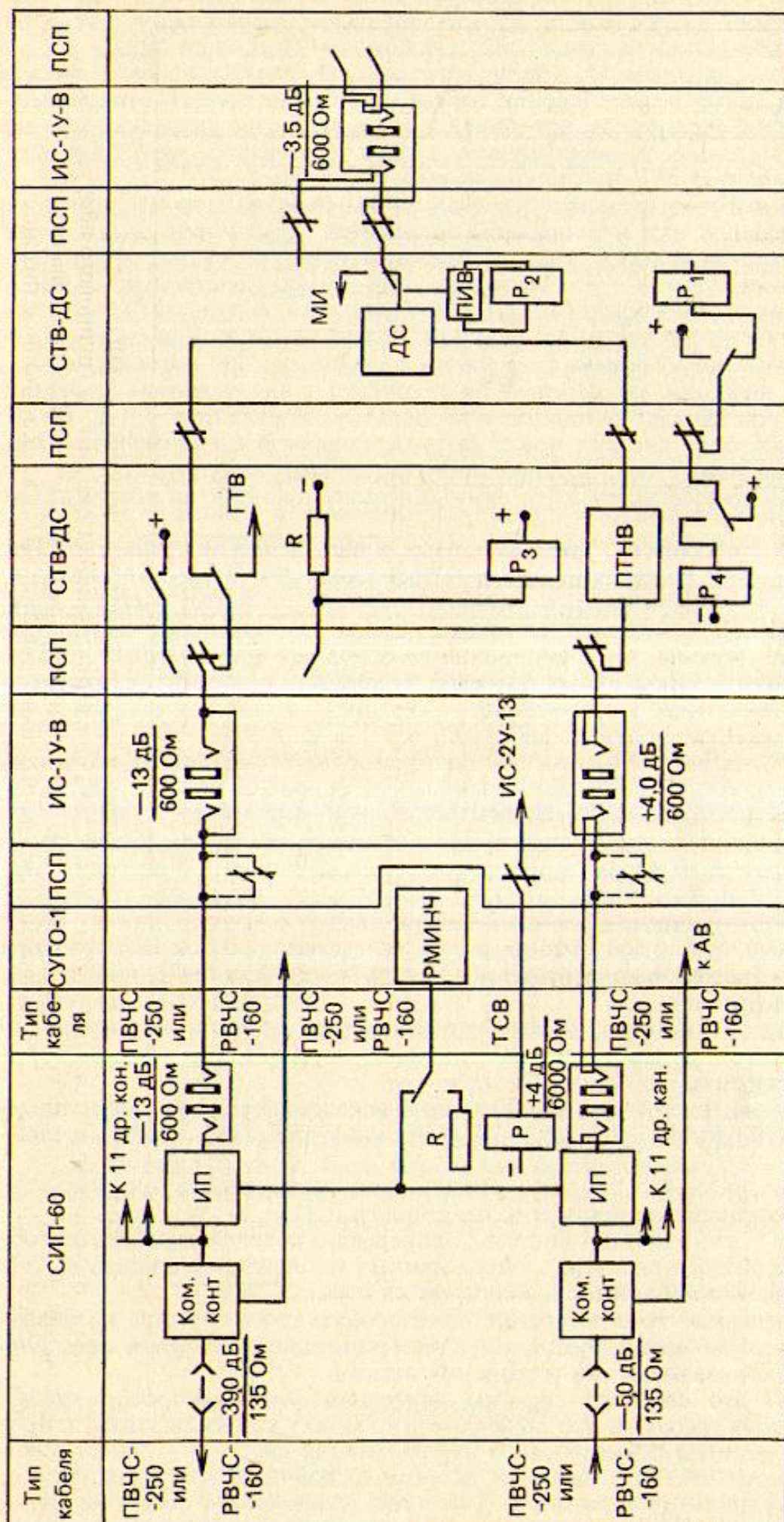


Рис. 14.4. Схема прохождения цепей в СК ЛАЦ при использовании СИП-60:

ПСП – промежуточная стойка переключений; МИ – машинный индуктор; ПИВ – приемник индукторного вызова; ДС – дифсистема; СТВ – ДС – стойка тонального вызова и дифсистем; ГТВ – генератор тонального вызова; ПТНВ – приемник тонального набора и вызова; ИП – индивидуальный преобразователь

ватель

Под *надежностью* СП понимается свойство обеспечивать передачу информации между абонентами с сохранением во времени параметров каналов и трактов пределах, установленных нормативно-технической документацией (НТД).

Все системы, рассматриваемые в теории надежности, делятся на *восстанавливаемые*, в которых после возникновения отказа происходит замена отказавшего элемента, и *невосстанавливаемые*, которые в случае отказа не подлежат или не поддаются восстановлению по экономическим либо техническим соображениям. Системы передачи относятся к восстанавливаемым системам.

Системы передачи и их элементы (стойки, блоки, панели, узлы и т. п.) могут находиться в исправном или неисправном состояниях. *Исправность* — это такое состояние системы, при котором она соответствует всем требованиям, установленным НТД, а *неисправность* — это состояние, при котором система не соответствует хотя бы одному из требований НТД. Неисправность не означает невозможность выполнения системой заданных функций. С этой точки зрения системы характеризуются *работоспособностью*, т. е. таким состоянием, при котором выполняются заданные функции по передаче информации с сохранением значений основных параметров каналов и трактов в пределах, установленных НТД. Таким образом, работоспособная система может быть неисправной (например, при механических повреждениях стоек, неисправности сигнальных цепей и т. п.).

С точки зрения теории надежности важными являются понятия повреждения отказа.

*Повреждение* — это событие, заключающееся в нарушении исправности оборудования системы при сохранении его работоспособности, а *отказ* — событие, заключающееся в нарушении работоспособности системы. Следует иметь в виду, что под отказом следует понимать не только полное или частичное нарушение работоспособности системы, но и ухудшение ее основных качественных показателей до уровня ниже установленных пределов. Например, снижение остаточного затухания канала связи ниже установленного НТД предела является отказом, хотя анализ формально может продолжать работать.

Отказы могут быть внезапными и постепенными. *Внезапные отказы* возникают в результате резкого скачкообразного изменения основных параметров системы под воздействием различных случайных факторов (внутренние дефекты элементов, нарушение рабочих режимов и т. п.), а *постепенные отказы* характеризуются плавным ухудшением параметров в результате изнашивания и старения элементов.

В зависимости от причины возникновения различают отказы:

*конструкционный*, т. е. отказ, возникающий вследствие ошибок конструктора или несовершенства методов конструирования, нарушений установленных правил норм проектирования и т. п.;

*производственный*, т. е. отказ, обусловленный нарушением или несовершенством технологического процесса изготовления аппаратуры систем передачи или комплектующих изделий;

*эксплуатационный*, т. е. отказ, возникающий вследствие нарушения установленных правил эксплуатации или влияния непредусмотренных внешних воздействий.

В целом надежность можно рассматривать как совокупность трех свойств: безотказности, восстанавливаемости и долговечности.

*Безотказность* — это свойство системы непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных условиях эксплуатации. Она характеризуется закономерностями возникновения отказов.

Под *восстанавливаемостью* понимают приспособленность системы к обнаружению и устранению отказов с учетом качества технического обслуживания. Она характеризуется закономерностями устранения отказов.

*Долговечность* — это свойство системы длительно сохранять работоспособность в определенных условиях, что количественно может характеризоваться продолжительностью периода практического использования системы от начала эксплуатации до момента технической или экономической нецелесообразности ее дальнейшей эксплуатации (с учетом перерывов для технического обслуживания и ремонта, установленных НТД).



Совокупность технических характеристик, количественным образом определяющих свойства системы, характеризующих ее надежность, называется *показателями надежности*. Для показателей надежности применяются две формы представления: вероятностная и статистическая. Первая более удобна при априорных аналитических расчетах показателей надежности на этапе ее проектирования, а вторая – при экспериментальных исследованиях или в процессе технической эксплуатации.

В сложных системах, к которым относятся и системы передачи, результирующий поток отказов равен сумме потоков отдельных их составляющих. При этом потоки отказов радиотехнических комплексов обычно считают простейшими, т. е. удовлетворяющими условиям:

ординарности – вероятность появления двух и более отказов в один и тот же момент времени пренебрежимо мала;

стационарности – вероятность появления ровно  $n$  отказов не зависит от времени, а является функцией длительности интервала  $\Delta t$  и  $n$ ;

отсутствия последействия – для двух непересекающихся интервалов времени  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  число отказов в одном из них не зависит от числа отказов, появившихся в другом.

К показателям надежности, характеризующим безотказность, относятся: вероятность безотказной работы; частота и интенсивность отказов; среднее время безотказной работы и наработка на отказ. К показателям надежности, характеризующим восстанавливаемость, относятся: вероятность восстановления; среднее время восстановления; интенсивность восстановления. К показателям надежности, характеризующим процесс эксплуатационно-технического обслуживания, относятся: среднее время восстановления; коэффициенты использования, готовности, простоя и др.

Надежность СП обычно оценивается вероятностью безотказной работы  $p(t)$  для заданного интервала времени непрерывной работы, средним временем наработки на отказ  $T_n$  и коэффициентом готовности  $K_r$ .

Под *вероятностью безотказной работы*  $p(t)$  понимается вероятность того, что за заданный интервал времени  $0 \dots t$  не произойдет ни одного отказа, т. е.  $p(t) = p(T_1 > t) = 1 - F(t)$ , где  $T_1$  – случайное время работы системы до наступления отказа;  $F(t)$  – функция распределения случайной величины  $T_1$ . Естественно, что чем больше заданный промежуток времени, для которого определяется параметр надежности, тем меньше значение  $p(t)$  и наоборот. Функция  $p(t)$ , которую иногда называют *функцией надежности*, обладает следующими свойствами (рис. 14.5):

$p(0) = 1$ , т. е. полагают, что в начальный момент времени система находится в исправном состоянии;

$p(t)$  является невозрастающей функцией времени, т. е. она либо монотонно убывает, либо на отдельных участках может оставаться постоянной;

$p(t) \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$ , т. е. при возрастании времени работы системы вероятность ее безотказной работы уменьшается и в пределе стремится к нулю.

Очевидно, что вероятность отказа системы  $Q(t) = 1 - p(t) = F(t)$ .

Величина  $p(t)$  может быть определена статистическим путем на основе экспериментальных данных. Если разделить интервал времени исследования на  $m$  равных отрезков  $\Delta t_j$ , то вероятность безотказной работы системы будет определяться

как  $p(t) = 1 - \left( \sum_{i=1}^m n_i \right) / N$ , где  $N$  – число исправных элементов, входящих в состав системы в начальный момент  $t = 0$ ;  $n_i$  – число элементов, отказавших в течение

интервала  $\Delta t_j$ . В этом случае вероятность отказа  $Q(t) = 1 - p(t) = \left( \sum_{i=1}^m n_i \right) / N$ .

*Интенсивность отказов*  $\lambda(t)$  является одним из наиболее удобных показателей надежности и представляет собой условную плотность вероятности отказа элемента в момент времени  $t$  при условии, что до этого момента отказ системы не

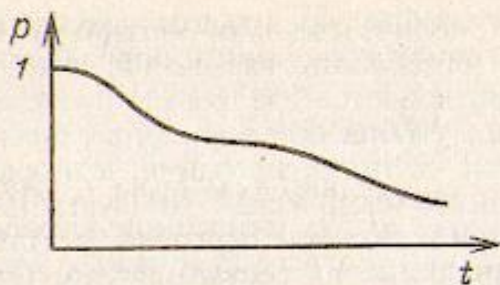


Рис. 14.5. Зависимость вероятности безотказной работы от времени

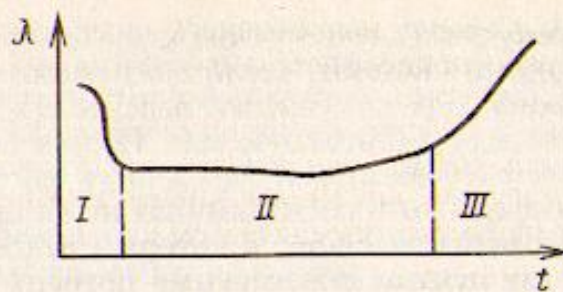


Рис. 14.6. Зависимость интенсивности отказов от времени работы СП

оизошел, т. е. этот показатель характеризует степень надежности системы в каждый данный момент времени. В соответствии с этим

$$\lambda(t) = \frac{1}{1 - F(t)} \frac{dF(t)}{dt} = \frac{f(t)}{p(t)}$$

где  $f(t) = -dp(t)/dt$  — плотность распределения времени безотказной работы.

Следовательно,  $\lambda(t) = -\frac{1}{p(t)} \frac{dp(t)}{dt}$ , а  $p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$ .

Интенсивность отказов элементов некоторого типа может быть определена статистически на основе экспериментальных исследований следующим образом:

$$\lambda(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t) \Delta t} = \frac{\Delta n(t, \Delta t)}{N(t) \Delta t},$$

где  $N(t)$  — число исправных элементов к моменту  $t$ ;  $n(t)$  — число отказавших элементов к моменту  $t$ ;  $\Delta n$  — число отказавших элементов в интервал времени  $(t + \Delta t)$ .

Типичная зависимость интенсивности отказов от времени работы системы представлена на рис. 14.6. Участок I соответствует начальному периоду приработки аппаратуры, когда наблюдается повышенное число отказов за счет различных производственных недостатков и выхода из строя элементов со скрытыми дефектами. Продолжительность этого периода зависит от типа аппаратуры и может составлять от нескольких десятков до нескольких сотен часов. Период нормальной эксплуатации (участок II) характеризуется пониженным уровнем и примерным постоянством интенсивности отказов. Продолжительность данного периода может составлять от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч часов. Участок III обусловлен износом и старением элементов системы и характеризуется значительным ростом числа отказов. С наступлением этого периода дальнейшая эксплуатация системы нецелесообразна.

Весьма важным параметром надежности для восстанавливаемых систем является среднее время наработки на отказ  $T_H$ . Статистически эта величина при испытании  $n$  однотипных элементов определяется как

$$T_H = \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) / n,$$

где  $t_i$  — время исправной работы  $i$ -го элемента между двумя последовательными отказами. Таким образом, величина  $T_H$  характеризует среднее число часов работы между двумя соседними отказами.

Коэффициент готовности  $K_T$  представляет собой вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии в любой момент времени и определяется как

$$K_T = T_H / (T_H + T_B),$$

где  $T_B$  — среднее время восстановления работоспособности системы. Статистически этот параметр определяется как  $K_T = N_\infty / N_0$ , где  $N_0$  — общее число работоспособных элементов в начальный момент времени;  $N_\infty$  — число работоспособных элементов в произвольный достаточно удаленный момент времени.

Для простейшего потока отказов, свойства которого отмечены выше, поток отказов подчиняется экспоненциальному закону и в период нормальной эксплуатации системы можно пользоваться более простыми соотношениями:  $\lambda(t) = \lambda$ ,  $p(t) = \exp(-\lambda t)$ ,  $T_H = 1/\lambda$ .

Расчет параметров надежности СП осуществляется на всех этапах, начиная от проектирования и кончая эксплуатацией. При этом может быть принят следующий порядок расчета:

на первом этапе оцениваются показатели надежности для отдельных блоков, панелей и других конструктивных элементов, входящих в состав стоек аппаратуры (исходными данными в этом случае являются принципиальные и монтажные схемы соответствующих устройств и интенсивности отказов элементов, на которых они реализованы), причем в первую очередь рассчитывается суммарная интенсивность отказа для блока, а затем по вышеприведенным формулам определяются другие интересующие параметры надежности;

на втором этапе на основе результатов первого этапа производится оценка параметров надежности для отдельных стоек;

на третьем этапе на основе предыдущих расчетов оцениваются параметры надежности для оконечных и промежуточных станций СП и всей магистрали в целом с учетом параметров надежности направляющей системы.

Следует иметь в виду, что при проведении указанных расчетов необходимо учитывать интенсивности отказов паяк, межблочных и межстоечных соединений, а также конкретные условия работы и эксплуатации устройств (если они отличаются от номинальных условий).

При оценке  $K_T$  среднее время восстановления  $T_B$  может быть принято равным 0,5 ч при устранении отказа, возникшего в станционном оборудовании оконечных и обслуживаемых промежуточных станций, 4 ч при устранении отказов в оборудовании необслуживаемых промежуточных станций и 10 ч при повреждении линейно-кабельных сооружений.

Требуемые показатели надежности оборудования систем обеспечиваются различными путями, среди которых можно выделить следующие:

непрерывное повышение надежности элементов и узлов систем передачи на этапах ее разработки, изготовления и эксплуатации;

совершенствование методов технической эксплуатации систем передачи;

резервирование трактов и каналов.

На этапе разработки аппаратуры основными методами обеспечения надежности ее узлов являются: выбор высоконадежных комплектующих элементов; облегченные режимы работы элементов в электрических схемах; доступность к элементам на платах, блоках и панелях, позволяющая быстро и высококачественно проводить их ремонт; стандартизация и унификация узлов и блоков и др.

На этапе изготовления систем передачи важное значение имеют строгое соблюдение технологии, постоянный контроль качества комплектующих изделий ("входящий" контроль) и производимого оборудования, включая контроль монтажа и межблочных соединений ("исходящий" контроль).

На этапе технической эксплуатации оборудования СП повышение надежности может быть достигнуто за счет: совершенствования комплекса профилактических мероприятий; выбора оптимального комплекта запасных частей и их рационального распределения по магистрали; внедрения автоматизированных систем технической эксплуатации; систематического повышения квалификации обслуживающего персонала и др.

Одним из наиболее эффективных методов повышения надежности оборудования СП, каналов и трактов является их резервирование, т. е. введение дополнительных элементов и функциональных возможностей сверх минимально необходимых для их нормального функционирования. Из всего многообразия методов резервирования в технике многоканальной связи наибольшее применение нашли: *общее резервирование*, при котором резервируется объект в целом (резервный тракт; генераторное оборудование и т. п.), и *раздельное резервирование*, при котором резервируются отдельные элементы системы (например, резервный усилитель).

В зависимости от режима работы резервных элементов различают нагруженный, облегченный и ненагруженный резервы. При *нагруженном резерве* резервный элемент находится в том же режиме, что и основной, при *облегченном резерве* — в менее нагруженном режиме, при *ненагруженном резерве* — без нагрузки.

Резервирование, кратность которого равна единице, называется *дублированием* и является основным методом резервирования в технике многоканальных систем передачи.

Рассмотрим более подробно методы раздельного и общего резервирования. Для простоты будем считать, что система состоит из последовательно включенных однотипных устройств. В случае применения раздельного резервирования (рис. 14.7, а) к каждому устройству параллельно подключается  $(m - 1)$  резервных элементов. В случае применения общего резервирования дополнительно организуется еще  $(m - 1)$  резервных систем (рис. 14.7, б).

Полагая, что все устройства системы равнонадежны, т. е. вероятности отказа любого из элементов схемы, приведенной на рис. 14.7, а, равны  $q'$ , вероятность отказа любого устройства

$$Q_1(t) = q'^m,$$

вероятность безотказной работы всей системы с учетом резервирования

$$p'(t) = (1 - q'^m)^n \quad (14.1)$$

если  $nq'^m \ll 1$  вероятность безотказной работы системы  $p'(t) \approx 1 - nq'^m$ , а вероятность отказа системы

$$Q(t) \approx nq'^m \quad (14.2)$$

В то же время, если система не имеет резерва, нетрудно получить

$$p(t) \approx 1 - nq; \quad (14.3)$$

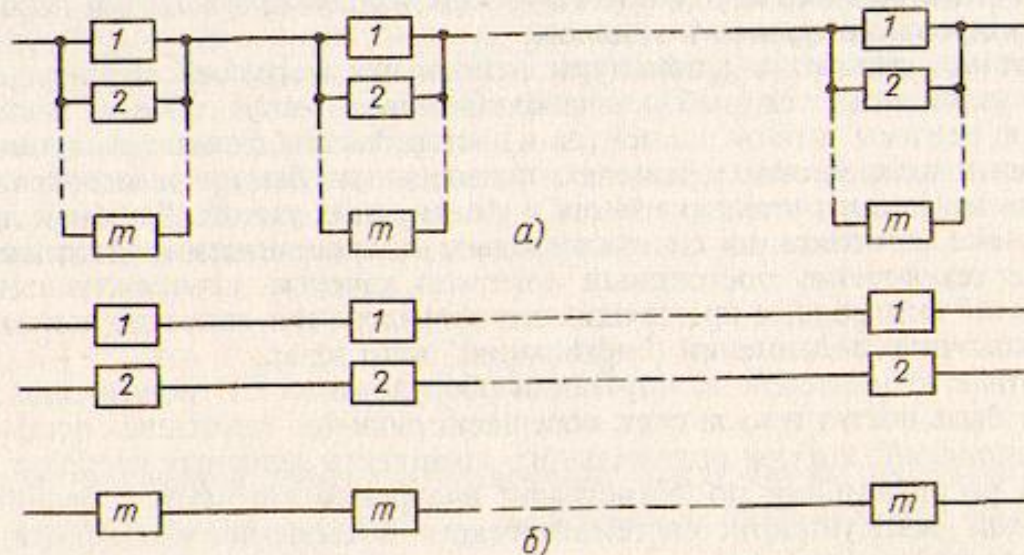


Рис. 14.7. Схема раздельного (а) и общего (б) резервирования

$$Q(t) \approx nq. \quad (14.4)$$

Сравнивая выражения (14.2) и (14.4) и считая надежность элементов в обоих случаях одинаковой ( $q' = q$ ), получаем

$$Q'(t) = Q(t) q^{m-1}, \quad (14.5)$$

т. е. вероятность отказа системы с отдельным резервированием уменьшается в  $1/q^{m-1}$  раз. В то же время при заданной вероятности отказа системы, т. е. при выполнении условия  $Q'(t) = Q(t)$ , имеем

$$nq = nq'^m, \quad q' = \sqrt[m]{q}. \quad (14.6)$$

Из (14.6) следует, что при резервировании допустимая вероятность отказа элементов повышается ( $q' > q$ ).

Таким образом, отдельное резервирование позволяет резко повысить надежность системы при заданной вероятности отказа элементов или использовать менее надежные, а следовательно, более дешевые элементы при обеспечении заданной надежности системы.

Рассмотрим случай применения общего резервирования (рис. 14.7, б).

Обозначим вероятность отказа каждого из элементов через  $q''$ , вероятность отказа любой из  $m$  цепей через  $Q''_1(t)$ , а вероятность отказа всей системы с учетом резерва через  $Q''(t)$ . Очевидно, что

$$Q''_1(t) = 1 - (1 - q'')^n, \quad (14.7)$$

$$Q''(t) = [1 - (1 - q'')^n]^m. \quad (14.8)$$

Если, как и ранее, полагать  $nq'' \ll 1$ , то выражения (14.7) и (14.8) приобретают вид

$$Q''_1(t) \approx nq'', \quad (14.9)$$

$$Q''(t) \approx (nq'')^m. \quad (14.10)$$

Сравним между собой выражения (14.2) и (14.10). При необходимости обеспечения заданной надежности системы независимо от способа резервирования, т. е. при  $Q'(t) = Q''(t)$ , можно записать

$$nq'^m = (nq'')^m; \quad q'' = q' / \sqrt[m]{n^{m-1}}. \quad (14.11)$$

Из (14.11) следует, что качество элементов при общем резервировании должно быть существенно выше, чем при отдельном резервировании. В то же время если в обоих случаях применять элементы с равной надежностью ( $q' = q''$ ), то

$$Q'(t) = Q''(t) / n^{m-1}. \quad (14.12)$$

Из (14.12) следует, что при использовании равнонадежных элементов отдельное резервирование обеспечивает меньшую вероятность отказа всей системы.

Из соотношений (14.2) и (14.10) при заданных вероятностях отказа системы и элементов можно определить необходимое число резервных цепей (включая рабочую):

при отдельном резервировании

$$m = [\lg Q'(t) - \lg n] / \lg q';$$

при общем резервировании

$$m = \lg Q''(n) / [\lg n + \lg q''].$$

этом нужно иметь в виду, что при оценке надежности параметров каналов и тов на реальной сети в качестве элементов общего резервирования можно матривать различного рода обходные пути.

### 4.3. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Этапы эксплуатации, включающие в себя хранение, транспортирование, мон- и настройку оборудования, техническое обслуживание и ремонт СП, называ- *технической эксплуатацией*. При этом *техническое обслуживание* представляет ой комплекс операций по поддержанию исправности системы или ее элемен- при использовании их по назначению, а *ремонт* — комплекс операций по вос- овлению исправности системы или ее элементов.

Для осуществления технической эксплуатации требуются соответствующие иства, называемые *средствами эксплуатации*. К ним относятся сооружения, ические устройства, контрольно-измерительная аппаратура, запасные блоки ы аппаратуры, эксплуатационные материалы и инструменты, необходимые эксплуатации СП. Лица, осуществляющие эксплуатационные операции, на- аются *техническим персоналом*.

Единство объекта эксплуатации, средств эксплуатации и технического персо- а с учетом документации, устанавливающей правила их взаимодействия, обра- *систему технической эксплуатации*. Главной особенностью СП как объекта плуатации является рассредоточенность элементов на расстояния, исчисляе- : десятками, сотнями и тысячами километров.

Важнейшими для системы технической эксплуатации являются понятия кон- ля и измерения. Под *контролем* понимается процесс установления соответ- между состоянием объекта контроля и заранее заданной нормой, а под *изме-* ием — нахождение значения некоторой физической величины (параметра) птным путем с помощью специальных технических средств (измерительных боров или комплексов).

Пригодность и эффективность использования СП определяются ее эксплуа- ионными характеристиками, основными из которых являются надежность (см. 4.2), эксплуатационная технологичность, экономичность эксплуатации и т. п.

В СП, относящихся к категории систем непрерывного использования, про- и в условиях эксплуатации могут возникать в результате отказа, проведения раций технического обслуживания с закрытием связи и по организационным гчинам. Для количественной оценки приспособленности системы к эксплуата- и может быть использован комплексный показатель, называемый *коэффициен-* *и технического использования*:

$$K_{\text{ти}} = \bar{T}_n / (\bar{T}_n + \bar{T}_{\text{то}} + \bar{T}_p),$$

$\bar{T}_n$  — средняя наработка на отказ;  $\bar{T}_{\text{то}}$  — среднее время технического обслужи- ния;  $\bar{T}_p$  — среднее время ремонта (восстановления).

При определении  $K_{\text{ти}}$  время простоя по организационным причинам не учи- вается. Очевидно, что следует стремиться к повышению значения  $K_{\text{ти}}$  ( $K_{\text{ти}} \leq 1$ ).

Для оценки долговечности и сохраняемости СП и их элементов применяют едующие показатели: средний, назначенный и гамма-процентный ресурсы, ски службы и сроки сохраняемости. При этом ресурсом называется наработка стемы (или элемента) от начала ее эксплуатации до достижения предельного остояния или капитального (среднего) ремонта либо от начала эксплуатации сле ремонта до следующего ремонта или достижения предельного состояния, е. состояния, при котором имеет место неустранимый выход ее параметров за пустимые пределы (признаки предельного состояния обычно устанавливаются зработчиками системы). *Сроком службы* называется календарная продолжитель-

ность эксплуатации объекта от ее начала или возобновления после капитального или среднего ремонта до наступления предельного состояния.

*Средний ресурс*  $\bar{R}$  определяется как математическое ожидание ресурса и при статистической оценке рассчитывается по формуле

$$\bar{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i,$$

где  $r_i$  — ресурс  $i$ -го объекта.

*Назначенный ресурс* — это суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния. Этот показатель может использоваться при планировании сроков замены системы или ее элементов, что особенно важно для объектов, отказ которых может привести к длительной потере связи. Очевидно, что вероятность безотказной работы объекта в течение времени, равного назначенному ресурсу, должна быть близка к единице.

*Гамма-процентный ресурс*  $R_\gamma$  — наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ , выражаемой в процентах. Величина  $\gamma$  находится из уравнения

$$\gamma/100 = \int_{R_\gamma}^{\infty} W(R) dR,$$

где  $W(R)$  — плотность распределения величины ресурса. Этот показатель используют для оценки вероятности наступления предельного состояния в течение заданной наработки на отказ в процессе эксплуатации.

Показатели сохраняемости, как правило, применяются для оценки состояния запасных элементов и узлов, которые могут храниться долгое время.

Комплексная характеристика, показывающая степень приспособленности оборудования системы к проведению мероприятий по контролю технического состояния и проведению технического обслуживания и ремонта, называется *эксплуатационной технологичностью* и характеризуется такими показателями, как ремонтпригодность, контролируемость, доступность и т. п.

Среди показателей экономичности эксплуатации можно отметить среднюю и максимальную стоимость эксплуатации, стоимости отдельных мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту и др.

Знание эксплуатационных показателей СП позволяет контролировать качество и эффективность технической эксплуатации, осуществлять сравнительную оценку работы различной аппаратуры, оптимальное планирование эксплуатационных мероприятий и устанавливать обоснованные нормы на проведение различных операций технического обслуживания и ремонта. В процессе технического обслуживания СП основными видами проводимых операций и работ являются: технические осмотры; контрольно-проверочные работы; регулировочные и настрочные работы; профилактические работы; ремонтные работы и др.

На разных этапах развития техники связи использовались различные методы технического обслуживания: восстановительный, профилактический и контрольно-корректировочный.

*Восстановительный метод обслуживания* основан на принципе немедленного приступления к устранению возникшего отказа и в настоящее время в чистом виде практически не используется, так как обладает рядом существенных недостатков (большие трудозатраты технического персонала при организации круглосуточного дежурства на станциях, большая продолжительность времени устранения отказов в линейном тракте и др.).

*Профилактический метод обслуживания* является более прогрессивным и основан на проведении комплекса мероприятий, направленных на предупреждение отказов и продление времени безотказной работы СП. Одной из главных задач профилактического обслуживания является анализ причин, приводящих к появлению отказов. На основе использования элементов прогнозирования возможно

дотворачивание постепенных отказов. Хотя число таких отказов примерно в 2 а меньше числа внезапных отказов, суммарная длительность простоев каналов и постепенных отказах составляет около 40% общего времени простоя. Опыт применения профилактического метода обслуживания показал, что на проведение работ по техническому обслуживанию затрачивается до 3% времени работы, требуются относительно большие затраты ручного труда и не обеспечивают необходимые темпы роста производительности труда технического персонала.

Более прогрессивным с экономических позиций и с точки зрения повышения производительности труда является *контрольно-корректировочный метод обслуживания*. Внедрение этого метода требует применения автоматических и автоматизированных контрольно-измерительных средств, которые способны дать техническому персоналу оперативную информацию о состоянии СП и ее основных узлов локализацией места и причин возникновения отказов и повреждений. При этом предполагаются организация систематического контроля качественного состояния системы и ее элементов с помощью автоматизированных средств и вмешательство технического персонала в работу системы только в крайних случаях. Для работки и анализа сигналов контроля широко используются средства вычислительной техники, в первую очередь микропроцессоры, мини-микроЭВМ.

При составлении планов и расчете объема работ при организации технического обслуживания целесообразно пользоваться методами сетевого планирования, которые позволяют наглядно представить взаимосвязь между выполняемыми операциями; четко установить объем и последовательность выполнения каждой операции; определить наиболее напряженные периоды работ и принять решения о перераспределении сил и средств; осуществить оперативный контроль за ходом выполнения плана.

Высоких показателей технической эксплуатации на современном этапе можно добиться за счет автоматизации технического обслуживания СП. На протяжении ряда лет проводятся работы по созданию автоматизированной системы технической эксплуатации (АСТЭ), в состав которой входят автоматизированная тема оперативно-технического обслуживания (АСОТО) и автоматизированная тема оперативно-технического управления (АСОТУ).

*Автоматизированная система технической эксплуатации* представляет собой совокупность методов, алгоритмов, комплекса технических средств, эксплуатационного персонала, необходимых для обслуживания и управления трактами, каналами передачи и обслуживания сооружений и аппаратуры первичной сети. Основные тенденции развития АСТЭ базируются на разумной централизации и автоматизации процессов технической эксплуатации с помощью системных методов и вычислительной техники. Главными задачами АСТЭ являются:

обеспечение эффективного функционирования первичной сети при заданном уровне и эксплуатационной надежности трактов и каналов передачи путем автоматизации технологических процессов обслуживания и управления перестройкой и;

повышение надежности и живучести первичной сети за счет автоматизации процессов оперативно-технического управления;

обеспечение развития первичной сети и реконструкции узлов, станций и линий передачи для удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения при снижении трудозатрат на техническое обслуживание и управление;

совершенствование технической эксплуатации, улучшение характеристик аппаратуры, оборудования, трактов и каналов передачи, повышение экономических показателей за счет перевода сетевых узлов в необслуживаемый или ограниченно обслуживаемый режим работы и т. п.

При построении АСТЭ особое внимание уделяется автоматизации процессов технического обслуживания, особенно процессов контроля и измерения параметров каналов и трактов передачи. Автоматизация процессов контроля и настройки элементов СП при необходимом быстром действии устройств и высокой точности измерений позволит исключить субъективные ошибки и повысить достоверность контроля. При этом появляется возможность полностью решить задачи съема, образования и обработки данных о состоянии контролируемых объектов, а также сформировать решение — оценить состояние объектов и выработать реко-



мендации по регулировке (настройке) параметров объекта или по организации обходных путей, переключению на резервное оборудование и т. п.

Автоматизация процессов технического обслуживания в целом позволяет решить следующие задачи:

повысить скорость выполнения операций по техническому обслуживанию и тем самым сократить время простоя каналов и трактов, что способствует повышению коэффициента готовности системы;

сократить численность технического персонала за счет повышения производительности труда;

исключить влияние субъективных факторов технического персонала на результаты работы и повысить его ответственность вследствие автоматизации документирования состояния каналов и трактов передачи;

создать оперативное централизованное управление процессами технического обслуживания при широком использовании ЭВМ и др.

Из этих задач одной из наиболее сложных является определение оптимальной степени автоматизации. С одной стороны, высокая степень автоматизации процессов технического обслуживания позволяет решить отмеченные выше задачи, а с другой стороны, стремление к более полной степени автоматизации потребует применения более сложных, громоздких и дорогостоящих средств, что может усложнить проблемы обеспечения требуемой надежности и высокой достоверности функционирования этих средств. Решение данных вопросов должно выполняться с использованием критериев технико-экономической эффективности.

Система технической эксплуатации строится по территориально-иерархическому принципу и соответствует административному делению и подчинению, принятому на ВСС России. Техническая эксплуатация оборудования систем и линий передачи первичной сети осуществляется через систему взаимосвязанных центров управления, территориальных узлов управления и коммутации, сетевых узлов и сетевых станций различного типа и назначения. Например, на магистральной первичной сети техническая эксплуатация осуществляется через главный центр управления междугородными связями и телевидением (ГЦУМС) Министерства связи РФ и подчиненный ему Государственный концерн "Ростелеком" с его филиалами в виде территориальных центров управления междугородными связями и телевидением (ТЦУМС). На следующем, более низком уровне иерархии создаются ТУСМ, ТСУ, СУС и т. д. Более подробную информацию об организации технической эксплуатации можно получить в [6].

#### 14.4. КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Контроль технического состояния рассматривается как процесс получения и анализа соответствующей информации и принятия на ее основе решения о пригодности СП (или ее элементов) к дальнейшей эксплуатации, о необходимости ее технического обслуживания или ремонта. Таким образом, главной задачей контроля является установление объективной оценки технического состояния каналов и трактов СП.

Для оценки технического состояния объектов контроля определяются их качественные и количественные характеристики, которые называются *контролируемыми параметрами*.

Классификация видов контроля весьма разнообразна. Например, в зависимости от решаемой задачи различают контроль:

*функционирования*, при котором осуществляется качественная оценка выполнения объектом контроля своих основных функций;

*работоспособности*, при котором дается количественная оценка параметров объекта, определяющих качество его работы;

*диагностический*, в процессе которого устанавливается причина и место возникающей неисправности;

*прогнозирующий*, в процессе которого осуществляется предсказание технического состояния объекта в будущем;

*профилактический*, в процессе которого определяются и заменяются элементы, параметры которых достигли предельно допустимых значений;  
*самоконтроль*, при котором обеспечивается оценка качества работы средств контроля, и др.

По характеру времени проведения контроля различают контроль:  
непрерывный, обеспечивающий непрерывное получение информации о контролируемых параметрах объекта;

периодический, позволяющий получить информацию о контролируемых параметрах по определенному плану;

эпизодический, осуществляемый при необходимости (например, при возникновении неисправностей или отказов), и др.

По порядку анализа контролируемых параметров различают контроль:  
выборочный (контроль параметров по желанию технического персонала);  
последовательный (последовательная оценка контролируемых параметров);  
параллельный (одновременная оценка нескольких параметров);  
комбинированный и др.

По виду реализации различают контроль:

ручной, осуществляемый техническим персоналом;

автоматизированный, частично выполняемый техническим персоналом;

автоматический, производимый без непосредственного участия технического персонала.

В зависимости от организации различают контроль:

программный, т. е. реализуемый по специальной программе;

схемный, т. е. осуществляемый с помощью встроенных в объект устройств контроля;

дистанционный, т. е. производимый на расстоянии;

с полным или частичным выводом объекта из эксплуатации, при проведении которого полностью или частично прекращается его эксплуатация;

без вывода объекта из эксплуатации и др.

Каждый вид контроля имеет свои специфические особенности и область применения.

Для количественной оценки качества процесса контроля используются следующие показатели:

коэффициент полноты контроля ( $K_{\text{п}}$ ), показывающий, какая часть аппаратуры охвачена контролем, и определяемый отношением числа элементов  $N_{\text{к}}$ , охваченных контролем, к общему числу элементов  $N$  аппаратуры (под элементом можно понимать отдельные функциональные узлы, блоки, панели и т. п.), т. е.  
$$K_{\text{п}} = N_{\text{к}}/N;$$

коэффициент глубины контроля ( $K_{\text{г}}$ ), определяемый по формуле  $K_{\text{г}} = M_{\text{к}}/M$ , где  $M_{\text{к}}$  — контролируемое число параметров;  $M$  — максимальное число параметров, характеризующих состояние системы;

время контроля, представляющее собой сумму следующих слагаемых:  $t_{\text{к}} = t_{\text{п}} + t_{\text{и}} + t_{\text{а}} + t_{\text{р}}$ , где  $t_{\text{п}}$  — время, необходимое для подготовки средств контроля;  $t_{\text{и}}$  — время измерений (оценки) параметров;  $t_{\text{а}}$  — время считывания и анализа результатов контроля;  $t_{\text{р}}$  — время принятия решений по результатам контроля.

Таким образом, значение  $t_{\text{к}}$  зависит от контролепригодности объекта, методов контроля, степени автоматизации процессов контроля и квалификации технического персонала. Время контроля является случайной величиной и может быть охарактеризовано законом распределения и его числовыми характеристиками.

Среди других показателей следует отметить достоверность контроля, эффективность контроля и информационную емкость системы контроля. *Достоверность контроля* — показатель, определяющий степень доверия к результатам контроля, которые зависят от точности измерений параметров, полноты и глубины контроля, влияния помех на работу устройств контроля, способов накопления и отображения результатов контроля, уровня квалификации обслуживающего персонала, технического состояния самих устройств контроля и других факторов, т. е. этот показатель может рассматриваться как обобщенный интегральный критерий оценки качества процесса контроля в целом. *Эффективность контроля* — обобщенный показатель полезности применения контроля, количественно определяе-

мый отношением эффективности работы системы при наличии и отсутствии контроля (в качестве критерия эффективности могут использоваться показатели надежности или экономические показатели). *Информационная емкость* системы контроля характеризуется количеством информации, получаемой в результате контроля параметров системы.

При организации контроля технического состояния СП большое значение придается выбору контролируемых параметров, которые можно классифицировать по различным признакам. По способу определения различают параметры:

- 1) выраженные электрическими величинами и контролируемые прямыми измерениями (например, уровень сигнала, мощность помех и др.);
- 2) измеряемые косвенным путем (например, остаточное затухание);
- 3) неэлектрических величин, измерения которых и передача на расстояние требуют соответствующих предварительных преобразований (например, избыточное давление газа в кабеле).

Большинство контролируемых параметров СП относится к первой группе.

По своей значимости контролируемые параметры делятся на определяющие, прогнозирующие и аварийные. Общее число контролируемых параметров должно быть минимально необходимым для обеспечения основных функций системы контроля. Для этого необходимо иметь в виду, что:

контролируемые параметры должны в достаточно полной степени отражать техническое состояние системы;

целесообразно контролировать параметры, изменения которых могут привести к частичным или полным отказам системы либо к изменениям других определяющих параметров системы;

целесообразно контролировать параметры, изменения которых наиболее часты (эти сведения могут быть извлечены из опыта эксплуатации известных аналогичных систем), и т. п.

Таким образом, выбор контролируемых параметров осуществляется в результате проведения соответствующих теоретических и экспериментальных исследований.

Рассмотрим особенности применения некоторых видов и методов контроля.

Основная цель *диагностического контроля* заключается в отыскании неисправностей и установлении причин их возникновения. При этом необходимо обеспечить максимальную вероятность правильного диагностирования; минимальное время диагностирования; минимальную стоимость и трудоемкость диагностирования.

Диагностический контроль осуществляется с использованием аппаратных и программных способов и средств реализации и алгоритмов диагностирования, т. е. создаются программно-аппаратурные средства диагностического контроля. К наиболее простым методам поиска неисправностей (с точки зрения технической реализации) относятся методы последовательных поэлементных и групповых проверок.

В первом случае если все элементы системы являются равнонадежными, а средняя длительность их проверки различна, то с целью минимизации среднего времени поиска неисправности целесообразно начинать проверку с элементов, требующих меньшего времени проверки их работоспособности. Если же длительности проверки каждого из элементов системы одинаковы, а вероятности их отказов различны, то с целью минимизации среднего времени поиска неисправности проверку следует начинать с элементов, имеющих наибольшую вероятность отказов. Метод поэлементных проверок применим для систем любой структуры, но требует большого числа проверок, что определяет достаточно большую длительность поиска неисправностей.

Во втором случае, т. е. при использовании метода последовательных групповых проверок, аппаратура разбивается на отдельные группы элементов, затем путем измерений выявляется группа, в которой имеется неисправный элемент. После этого данная группа элементов разбивается на подгруппы и выявляется подгруппа, в которой находится неисправный элемент, и так далее до тех пор, пока не будет определен неисправный элемент. При этом в зависимости от конкретной ситуации возможны три варианта разбиения контролируемой системы на

группы элементов: по критерию половинного разбиения по числу элементов в группе, половинного разбиения по равной вероятности отказа каждой из групп, половинного разбиения по принципу равенства среднего времени проверок каждой группы.

В случае диагностирования сложной аппаратуры с разветвленной структурой построения чаще используется комбинационный метод поиска неисправностей, при котором анализ состояния системы и принятие решения производится после контроля полной группы параметров, обеспечивающих однозначное выявление неисправного участка системы. Наибольшая эффективность диагностирования может быть получена при комбинированном использовании нескольких методов: например, комбинационный метод используется для определения отказавшего участка системы передачи, метод групповых проверок — для выявления неисправного узла, а метод поэлементных проверок — для отыскания отказавшего элемента в данном узле.

Современные СП, как правило, оборудуются мощными программно-аппаратными средствами диагностического контроля, часто встроенными в оборудование системы, что позволяет оперативно и в автоматическом режиме определить отказавший элемент.

*Прогнозирующий контроль* используется для уменьшения числа возникающих отказов. Знание закономерностей изменения контролируемых параметров системы дает возможность определить вероятный момент появления отказа и принять меры по его предупреждению (замена элементов, проведение регулировочных и подстроечных работ и т. д.). К настоящему времени разработаны различные методы прогноза и способы их осуществления. Для прогнозирования, технического состояния СП в основном применяются статистические методы, относящиеся к методам многофакторного анализа и моделирования. Эти методы могут быть разделены на две большие группы: *аналитические методы*, использующие детерминированный подход к решению задач прогнозирования, и *стохастические методы*, учитывающие случайный характер изменения контролируемых параметров под воздействием различных факторов. Для количественной оценки качества прогнозирования используются такие показатели, как точность, достоверность, эффективность и стоимость прогноза.

*Дистанционный контроль* оборудования линейного тракта СП осуществляется с помощью системы телеуправления (ТУ) и телеконтроля (ТК), которая обеспечивает:

дистанционный контроль в каждом НУП или НРП за состоянием усилительных или регенерационных устройств, устройств ДП, а также контейнеров и цистерн, в которых устанавливается оборудование необслуживаемых станций;

дистанционное управление переключением рабочих трактов на резерв, коммутацию каналов контроля, подключение контрольных генераторов и др.;

передачу сигналов ТУ (команд) на НУП или НРП и ТК (извещений) на ОУП или ОРП с последующей их обработкой.

К системе ТУ-ТК предъявляются следующие основные требования:

высокая надежность работы при изменении условий эксплуатации в заданных пределах (повышение уровня помех или коэффициента ошибок, изменение температуры, колебания питающих напряжений);

достаточное быстродействие;

отсутствие влияния на информационные сигналы, передаваемые по каналам и трактам СП;

наличие ответной сигнализации (квитирующего сигнала) при выполнении команд (сигналов ТУ);

малая вероятность пропадания сигналов извещения (сигналов ТК) о состоянии НУП или НРП;

малое потребление электроэнергии от устройств ДП и др.

По принципу построения и модуляции сигналов различают системы ТУ-ТК:

частотные, в которых используется принцип ЧРК;

частотно-кодовые, в которых сигналы управления и контроля передаются с помощью комбинаций токов различных частот;

импульсно-временные, реализующие распределительный метод выбора объектов контроля;

импульсно-кодовые, в которых применяется принцип ВРК-ИКМ; системы, работающие по комбинациям сигнальных жил, и др.

В состав систем ТУ-ТК входят разнообразные датчики, генераторы, фильтры, распределители, исполнительные устройства, индикаторы и другие устройства, а для передачи сигналов ТУ-ТК могут использоваться специально выделенные цепи, фантомные цепи или рабочие пары кабеля (передача информационных сигналов и сигналов системы ТУ-ТК осуществляется по одним и тем же цепям с использованием принципов ЧРК или ВРК).

Автоматизация процессов контроля, в том числе и дистанционного, обеспечивает снижение интенсивности отказов системы, уменьшение среднего времени восстановления работоспособности системы и улучшение качества передачи сигналов по каналам и трактам, а в результате – повышение технико-экономических показателей СП в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зингеренко А. М., Баева Н. Н., Тверецкий М. С. Системы многоканальной связи. – М.: Связь, 1980. – 439 с.
2. Баева Н. Н. Многоканальная связь и РРЛ. – М.: Радио и связь, 1988. – 312 с.
3. Цифровые и аналоговые системы передачи/В. И. Иванов, В. Н. Гордиенко, Г. Н. Попов и др.; Под ред. В. И. Иванова. – М.: Радио и связь, 1995. – 232 с.
4. Фарбер Ю. Д., Шадрин С. Ю. Системы передачи с частотным разделением каналов. – М.: Связь, 1979. – 280 с.
5. Усилительные устройства/В. А. Андреев, Г. В. Войшвилло, О. В. Головин и др.; Под ред. О. В. Головина. – М.: Радио и связь, 1993. – 352 с.
6. Берганов И. Р., Гордиенко В. Н., Крухмалев В. В. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
7. Многоканальная электросвязь и РРЛ/Н. Н. Баева, И. К. Бобровская, В. А. Брескин, Е. Л. Федорова. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.
8. Аппаратура сетей связи/М. И. Шляхтер, Э. Н. Дурбанова, М. И. Полякова, Ш. Г. Галиуллин; Под ред. М. И. Шляхтера. – М.: Связь, 1980. – 440 с.
9. Левин Л. С., Плоткин М. А. Цифровые системы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1987. – 216 с.
10. Гитлиц М. В., Лев А. Ю. Теоретические основы многоканальной связи. – М.: Радио и связь, 1985. – 245 с.
11. Беллами Дж. Цифровая телефония: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 544 с.
12. Аппаратура ИКМ-30/А. Н. Голубев, Ю. П. Иванов, Л. С. Левин и др.; Под ред. Ю. П. Иванова и Л. С. Левина. – М.: Радио и связь, 1983. – 184 с.
13. Аппаратура ИКМ-120/А. Н. Голубев, Ю. П. Иванов, Л. С. Левин и др.; Под ред. Л. С. Левина. – М.: Радио и связь, 1989. – 256 с.
14. Скалин Ю. В., Бернштейн А. Г., Финкевич А. Д. Цифровые системы передачи. – М.: Радио и связь, 1988. – 272 с.