

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

---

Под редакцией профессора  
Б. П. Хромого

*Допущено Министерством связи  
СССР в качестве учебного пособия  
для студентов институтов связи для  
специальности 23.06*



Москва  
«Радио и связь»  
1991

ББК 32.883

М54

УДК 519.724:389(075)

**АВТОРЫ:** Б. П. ХРОМОЙ, В. Л. СЕРЕБРИН, А. Л. СЕНЯВСКИЙ, В. Л. СОКОЛОВ,  
А. Б. СЕЛИБЕР, М. С. ТВЕРЕЦКИЙ

**Рецензенты:** канд. техн. наук О. И. Гурин, канд. тех. наук В. С. Гуров

**М54** Метрологическое обеспечение систем передачи: Учеб. пособие для вузов/Б. П. Хромой, В. Л. Серебрин, А. Л. Сенявский и др.; Под ред. проф. Б. П. Хромого. — М.: «Радио и связь», 1991. — 392 с.: ил.

ISBN 5-256-00893-5.

Приводятся сведения о параметрах каналов и трактов, подлежащих измерениям и контролю. Основное внимание уделяется допустимым пределам отклонения различных параметров от номинальных значений, что позволяет обосновывать требования к точности измерений. Рассматриваются общие принципы метрологического обеспечения систем передачи, виды измерений систем передачи, их организация, вопросы техники безопасности, стандартные и исследовательские методы измерений.

Для студентов вузов связи, обучающихся по специальности «Многоканальная электросвязь».

М 2303040000-01

046(01)-91

92 Р  
Научно-техническая  
библиотека ТОНС

ББК 32.883

Учебное пособие

**ХРОМОЙ БОРИС ПЕТРОВИЧ, СЕРЕБРИН ВИКТОР ЛЕОНОВИЧ,  
СЕНЯВСКИЙ АЛЕКСАНДР ЛЕОНИДОВИЧ, СОКОЛОВ ВЛАДИМИР  
ИГОРЕВИЧ, СЕЛИБЕР АНАТОЛИЙ БОРИСОВИЧ, ТВЕРЕЦКИЙ  
МИХАИЛ СЕРАФИМОВИЧ**

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ**

Учебное пособие

Руководитель группы МРБ И. Н. Сулова  
Редактор О. В. Воробьева  
Обложка художника С. С. Водич  
Художественный редактор Н. С. Шенн  
Технический редактор Г. Э. Кузнецова  
Корректор Н. Л. Жукова

ИБ 1806

Сдано в набор 17.07.90

Формат 60×90<sup>1/16</sup>

Печать высокая

Уч. изд. л. 26,14

Зак. № 63

Бумага типогр. № 2

Усл. печ. л. 24,5

Тираж 7 700 экз.

Подписано в печать 1.10.90

Гарнитура литературная

Усл. кр.-отт. 24,5

Изд. № 22379

Цена 1 р. 80 к.  
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь». 101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

ISBN 5-256-00893-5

© Хромой Б. П., Сенявский А. Л., Соколов В. И. и др., 1991

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из факторов управления качеством является метрологическое обеспечение. Применительно к специальности «Многоканальная электросвязь» повышение качества заключается в обеспечении бесперебойного функционирования сетей связи при высокой достоверности передачи информации. Роль стандартизации и метрологии при этом чрезвычайно высока. Существующие и разрабатываемые стандарты предъявляют жесткие требования к техническим средствам, входящим в состав различных систем связи, и устанавливают допуски на отклонения от характеристик и параметров аппаратуры. Выполнение стандартов контролируется с помощью средств измерений.

Парк измерительных приборов, обеспечивающих разработку, строительство и эксплуатацию многоканальных систем передачи (МСП), имеет ряд особенностей. Прежде всего следует отметить высокую точность средств измерений. Для современных МСП допустимы чрезвычайно малые отклонения параметров от норм в процессе эксплуатации. Настрочные и сдаточные нормы еще более жестки.

Многообразны условия применения средств измерений. Наряду с проведением измерений как в стационарных, так и полевых условиях иногда при этом не должна прерываться связь. Измерительные задачи существенно усложняются из-за большой протяженности каналов, когда вход и выход объекта измерений разнесены на тысячи километров.

Телефонные сообщения передаются в МСП по нескольким тысячам широкополосных каналов. В связи с этим средства измерений для контроля параметров сетевых трактов должны работать на частотах до 25 МГц и более, обеспечивая при этом высокую точность измерений.

Кроме того, по МСП осуществляются телеграфная, факсимильная, телевизионная связь, передача данных, сигналов радиовещания. Поэтому необходима измерительная аппаратура узкоцелевого назначения.

Внедрение цифровых методов передачи информации привело к необходимости пополнения парка измерительных приборов приборами для оценки параметров цифровых трактов, а внедрение волоконно-оптических линий связи — приборами, работающими в оптическом диапазоне.

Таким образом, инженер, работающий по специальности «Многоканальная электросвязь», должен обладать обширными знаниями

ми в области измерений. В области метрологии курс углубленной подготовки «Метрологическое обеспечение систем передачи» является завершающим.

Специалист, прошедший этот курс и знающий особенности метрологического обеспечения систем многоканальной электросвязи, может работать в отделах главного метролога, в головных и базовых организациях метрологической службы подотрасли электросвязи Министерства связи СССР и метрологических служб НИИ, проектных организаций, эксплуатационных и промышленных предприятий в должности инженера-метролога. Специалист может быть занят в производственных лабораториях предприятий, ремонтно-профилактических и настроечных бригадах и других подразделениях предприятий и организаций электросвязи на инженерных должностях.

Специалист такого профиля должен знать стандарты, положения о метрологической службе Министерства связи СССР и другие нормативно-технические документы отрасли, основы метрологического обеспечения при разработке, проектировании, производстве, строительстве, испытаниях и эксплуатации многоканальных систем передачи, электрические нормы и параметры каналов и трактов МСП, методики анализа состояний измерений, формы и содержание метрологического надзора за средствами измерений, порядок внедрения новых методов и средств измерений.

Хорошие знания в этой области необходимы любому инженеру, работающему в области связи. Книга написана коллективом авторов. Введение, разделы 4.1—4.3 написаны Б. П. Хромым, глава 2 — М. С. Тверецким, гл. 1, 3, 6, § 5.6—5.9 — В. Л. Серебряным, § 4.4—4.7 — А. Б. Селибером, § 4.8—4.13 — А. Л. Сенявским, § 5.1—5.5 — В. И. Соколовым, гл. 7 — В. Л. Серебряным совместно с Б. П. Хромым.

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Метрологическое обеспечение (МО) — неотъемлемая часть всех видов народнохозяйственной деятельности, где выполняются измерения. По определению ГОСТ 1.25—76 «ГСС. Метрологическое обеспечение. Основные положения» МО — это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

*Единство измерений* — такое состояние измерений, при котором их результаты выражаются в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. При отсутствии единства измерений в стране невозможны ни общественное производство, ни, в частности, совместная работа территориально разобщенных предприятий связи по передаче информации с необходимым качеством. Однако недостаточно выполнения только единства измерений. Необходимо еще чтобы эта погрешность не превышала установленных научно обоснованных *норм точности*. Только при достижении единства и требуемой точности измерений может быть обеспечено эффективное функционирование Единой автоматизированной сети связи (ЕАСС) при заданном качестве и эксплуатационной надежности.

В постановлении № 273 СМ СССР от 4 апреля 1983 г. «Об обеспечении единства измерений в стране» впервые в законодательном порядке установлено, что использование результатов измерений допускается лишь при условии оценки их погрешности с необходимой точностью. Единство измерений в стране организационно обеспечивается метрологической службой СССР, возглавляемой Государственным комитетом СССР по стандартам и состоящей из Государственной и ведомственной метрологических служб.

Метрологическое обеспечение отрасли связи осуществляется метрологической службой Министерства связи СССР, которая является подсистемой общей системы МО народного хозяйства и строится на основе общих положений МО.

Приняты единые положения МО разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции, научных исследований и

других направлений работы во всех отраслях народного хозяйства [1, 3]. Выработаны принципы обеспечения единства измерений, к основным из которых относятся:

применение в стране только узаконенных единиц физических величин (ФВ);

воспроизведение ФВ только с помощью государственных эталонов единиц ФВ;

применение в стране только узаконенных средств измерений, которые прошли государственные испытания и которым переданы размеры единиц ФВ от государственных эталонов;

обязательный периодический контроль через установленные промежутки времени характеристик применяемых средств измерений (их поверка или метрологическая аттестация));

гарантия обеспечения необходимой точности измерений при применении поверенных средств измерений и аттестованных методик выполнения измерений;

использование результатов измерений только при условии оценки их погрешности с заданной вероятностью;

систематический контроль за соблюдением метрологических правил и норм, государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений.

Для реализации этих принципов созданы необходимые научная, техническая, правовая и организационная основы.

В системе Государственного комитета СССР по стандартам и под его надзором в отраслях народного хозяйства готовятся инженеры-метрологи и поверители средств измерений. Им вменено в обязанность и дано право выполнять все виды метрологических работ, включая поверку средств измерений и метрологическую аттестацию методик выполнения измерений.

## 1.2. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ МО

Из необходимости обеспечения единства и требуемой точности измерений формулируются цели МО и ставятся задачи всех видов метрологической деятельности на общегосударственном и ведомственном уровнях.

*Основные цели МО* — повышение качества продукции (качества и надежности связи), эффективности управления производством и уровня автоматизации производственных процессов. Рост эффективности НИР и ОКР в отрасли связи, как наиболее насыщенной средствами измерений, во многом определяется совершенствованием МО. Эффективность использования и экономия материальных ценностей и энергетических ресурсов, внедрение энергосберегающих технологий и экономичных средств связи также достигается на основе обоснованных норм точности и достоверных результатов измерений. На предприятиях связи внедряется трехступенчатая система стандартов безопасности труда и вопросы МО этих стандартов входят в компетенцию метрологических служб предприятий. Повышение эффективности мероприятий

по охране окружающей среды и здоровья людей также тесно связано с измерением и контролем многих физических величин и вопросами МО этих измерений. Чтобы представить всю масштабность задач МО народного хозяйства страны, решаемых Государственным комитетом СССР по стандартам, перечислим его основные функции:

определение основных направлений развития МО, путей наиболее эффективного использования научных и технических достижений и на этой основе разработка научно-методических, технико-экономических, правовых и организационных основ МО;

организация и проведение фундаментальных научных исследований по изысканию и использованию новых физических эффектов с целью создания и совершенствования методов и средств измерений (СИ) высшей точности;

обеспечение единства измерений в стране, стандартизация основных положений, правил, требований и норм МО, развитие и совершенствование Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ);

установление допускаемых к применению единиц ФВ;

установление системы государственных эталонов единиц ФВ, их создание, утверждение, совершенствование и хранение;

установление единого порядка передачи размеров единиц ФВ от государственных эталонов всем СИ;

разработка межотраслевых программ МО по видам и областям измерений и организация работ по их осуществлению, а также научно-методическое руководство разработкой программ МО отраслей народного хозяйства;

создание и совершенствование рабочих эталонов, образцовых средств измерений (ОСИ) высшей точности и поверочных установок;

установление единых требований к метрологическим характеристикам (МХ) СИ;

установление порядка планирования и проведения государственных испытаний СИ, предназначенных для серийного или массового производства и ввоза их из-за границы партиями, утверждение типов СИ, допущенных к применению в СССР;

государственная поверка СИ;

осуществление руководства Государственной службой стандартных справочных данных, Государственной службой стандартных образцов веществ и материалов, Государственной службой времени и частоты, выполнение особо точных измерений;

государственный надзор за производством, состоянием, применением и ремонтом СИ и соблюдением метрологических правил, требований и норм, а также за деятельностью ведомственных метрологических служб;

организация и осуществление подготовки и повышения квалификации кадров в области метрологии, за исключением подготовки ведомственных поверителей, и инженеров-метрологов для отраслей народного хозяйства;

организация работ по международному сотрудничеству в области метрологии, обеспечение единства и требуемой точности измерений, необходимых для международной торговли, научно-технического и экономического сотрудничества.

Эти задачи решаются Государственным комитетом СССР по стандартам на межотраслевом уровне и тем самым реализуются принципы обеспечения единства измерений в стране. Министерства и ведомства (в частности, Министерство связи СССР) в области МО, в свою очередь, осуществляют решение задач, подобных представленным выше, но в рамках одного министерства. Эти работы выполняются как работниками метрологических организаций и отделов ведомственной метрологической службы (МС), так и привлекаемым инженерно-техническим персоналом. К задачам министерств по МО относятся:

определение основных направлений развития работ по МО разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции, в частности по МО первичной сети ЕАСС;

проведение анализа состояния измерений на предприятиях министерства, разработка на его основе и осуществление программ МО отрасли;

организация работ по установлению рациональной номенклатуры измеряемых параметров и оптимальных норм точности измерений, что особенно важно для отрасли связи, поскольку установление электрических норм и их соблюдение на основе результатов измерительного контроля — суть технической эксплуатации ЕАСС;

организация работ по созданию и внедрению современных методик выполнения измерений, в частности руководств по проведению измерений на сети, установлению рациональной номенклатуры измеряемых СИ и поверки в соответствии с утвержденными государственными эталонами и общесоюзными поверочными схемами;

организация метрологической экспертизы проектов предприятий, сооружений, продукции, импортируемого оборудования, стандартов, конструкторской и технологической документации, что имеет определенные трудности для Министерства связи СССР из-за недостатка квалифицированных инженеров-метрологов;

организация ведомственной поверки и метрологической аттестации средств и методик выполнения измерений, ведомственного контроля за производством, состоянием, применением и ремонтом СИ и соблюдением метрологических правил, требований и норм на предприятиях и в организациях министерства, а также ряд других задач.

Дополнительными к указанным основным задачам МО министерства, в системе которого осуществляется разработка и серийное производство СИ узковедомственного назначения, в частности в отрасли связи, являются: обеспечение единообразия СИ при их разработке и выпуске; планирование и контроль за представлением на государственные испытания разрабатываемых и выпус-



каемых в системе министерства СИ; организация разработки и выпуска СИ по закрепленным видам измерений, необходимых для удовлетворения нужд народного хозяйства в поверке выпускаемых в системе министерства СИ в соответствии с утвержденными государственными эталонами и общесоюзными поверочными схемами, и обеспечение в установленном порядке ремонта серийно выпускаемых СИ. Только при условии обеспечения выполнения всех этих работ ведомствам предоставляется право выпуска СИ для своих нужд.

Приведенные задачи применительно к отрасли связи конкретизируются в Положении о метрологической службе Министерства связи СССР и других ведомственных нормативно-технических документах (НТД) по МО.

Работы по МО относятся к основным видам деятельности предприятий, в том числе и работающих в условиях хозрасчета. Поэтому реализация этих задач осуществляется всем техническим персоналом, и прежде всего — работниками метрологических подразделений под руководством технического руководителя — главного инженера предприятия. Перечисленное ниже основное содержание работ по МО предприятия раскрывает характер деятельности и квалификационные требования к инженеру-метрологу и инженерам, профессионально занятым измерениями (в электросвязи — это магистральные и сменные инженеры, инженеры измерительных групп, наладчики и др.).

К основным задачам МО на предприятиях относятся:

проведение анализа состояния измерений, разработка и осуществление мероприятий по совершенствованию МО на предприятии, участие также в разработке и выполнении заданий, предусмотренных программами МО отрасли;

установление рациональной номенклатуры измеряемых параметров и оптимальных норм точности измерений на предприятии и на этой основе проведение работ по созданию и внедрению современных методик выполнения измерений, испытаний и контроля, установлению рациональной номенклатуры применяемых СИ и поверки;

внедрение стандартов, регламентирующих нормы точности измерений, методик выполнения измерений и других положений МО разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции на предприятии или закрепленных за ним видов деятельности;

проведение метрологической экспертизы проектов нормативно-технической, конструкторской и технологической документаций;

поверка и метрологическая аттестация СИ, применяемых на предприятии и в организации, а также аттестация методик выполнения измерений;

контроль за производством, состоянием, применением и ремонтом СИ и соблюдением метрологических правил, требований и норм на предприятии и в организации.

Каждое из перечисленных направлений требует специальных знаний по профилю предприятия (например, по многоканальной электросвязи) и одновременно углубленной подготовки в области МО. Ответственность за состояние и применение СИ на предприятиях несут инженеры, эксплуатирующие эти средства, а на предприятии (в организации) — руководитель предприятия (организации), в связи — технический руководитель — главный инженер предприятия связи.

Из-за специфики отрасли связи некоторые из указанных функций на эксплуатационных предприятиях в полной мере не реализуются и поставленные задачи выполняются базовыми организациями по МО — отделами НИИ и КБ Министерства связи СССР, ТЦУМС и другими выделенными предприятиями и организациями [2, 4].

### 1.3. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ МО

Научная основа МО — метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Метрология обладает признаками как фундаментальной, так и прикладной науки. Основная цель фундаментальных исследований в метрологии — обеспечение научно-технического прогресса с помощью создания необходимого запаса по точности для национальной системы измерений, а также научно-технической основы для опережающего развития метрологии и измерительной техники. Характерной особенностью развития фундаментальных метрологических исследований является также повышение степени воздействия их результатов на уровень научных исследований в целом, что объясняется общностью методов и задач многих естественных наук и метрологии.

В стандартизации и метрологии как в отраслях инфраструктурного характера в системе управления экономикой сложились относительно самостоятельные области научной деятельности — теоретические метрология и стандартизация, имеющие собственную проблематику, специфические методы и сформировавшиеся научные направления. К актуальным задачам научных исследований в области метрологии и стандартизации относятся выявление фундаментальных закономерностей формирования и развития нормативно-технической базы и МО народного хозяйства, разработка новых путей, методов, норм и средств для более полного использования механизма нормативно-технического управления. Разработаны и внедрены научные основы управления качеством продукции в условиях плановой социалистической экономики. В отрасли связи создана комплексная система управления качеством связи (КСУКС), важными основами которой явились стандартизация и МО.

## 1.4. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ И НОРМАТИВНАЯ БАЗА МО

В нашей стране и в ряде стран — членов СЭВ общие вопросы регламентации метрологической деятельности закреплены в правительственных постановлениях, а вопросы, определяющие те или иные конкретные нормы, правила, требования, устанавливаются государственными стандартами и другими НТД межотраслевого уровня. В силу того что в СССР государственный стандарт обязателен для применения, он относится к числу нормативных актов государственного значения.

В 1970 г. внедрен комплекс стандартов «Государственная система стандартизации» (ГСС). Эта система устанавливает единые организационные и методические принципы, специфические формы проведения работ на общегосударственном, отраслевом, республиканском уровнях, а также на уровне объединений и предприятий. После принятия ГСС стандартизация в области метрологии начала развиваться в соответствии с основными принципами и общими правилами стандартизации, установленными ГСС, осуществился переход на программно-целевой метод планирования и управления, который позволил обеспечить комплексный системный подход к решению основных задач МО. В ГСС входит ГОСТ 1.25—76, определяющий основные положения МО всех видов деятельности во всех отраслях народного хозяйства страны.

Государственная система обеспечения единства измерений — это комплекс установленных стандартов, взаимоувязанных правил, положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений. Эта система позволила перейти от задач обеспечения единообразия СИ к вопросам обеспечения единства измерений.

Основными объектами стандартизации ГСИ в МО являются: единицы ФВ; государственные эталоны и общесоюзные поверочные схемы; методы и средства поверки СИ; номенклатура нормируемых МХ СИ и нормы точности измерений;

способы выражения и формы представления результатов измерений и показателей точности измерений; методики оценки достоверности и формы представления данных о свойствах веществ и материалов;

организация и порядок проведения государственных испытаний, поверки и метрологической аттестации СИ, метрологической экспертизы нормативно-технической, проектной, конструкторской и технологической документации, экспертизы и аттестации данных о свойствах веществ и материалов;

термины и определения.

Кроме ГОСТов в ГСИ входят также межотраслевые документы метрологического характера — руководящие документы (РД),

методические указания (МУ), методики метрологических институтов (МИ) (рис. 1.1).

Иерархическая структура управления ГСС и ГСИ базируется на структуре управления народным хозяйством СССР и союзных республик (рис. 1.2).

Стандартизация и МО как деятельность по установлению и применению правил является не только технико-экономической, но и юридической деятельностью. Центральным органом государственного управления, несущим ответственность за состояние и развитие стандартизации и метрологии в стране в соответствии с Законом о Совете Министров СССР, является Государственный комитет СССР по стандартам.

«Положение о государственном надзоре за стандартами и средствами измерений в СССР» стало первым в истории отечественной стандартизации актом по вопросам государственного надзора. В ГОСТ 8.002—86 «ГСИ. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения» установлены основные положения государственного надзора и ведомственного контроля за разработкой, производством, состоянием, применением и ремонтом СИ, за деятельностью ведомственных МС, за внедрением и соблюдением метрологических правил. Представление о структуре органов Государственного метрологического надзора дает рис. 1.2. Их деятельность призвана обусловить единство измерений в отраслях народного хозяйства.

Государственный метрологический надзор проводится в форме: государственных приемочных и контрольных испытаний СИ или их метрологической аттестации, а также государственной поверки (на соответствие установленным нормам точности);

регистрация предприятий и организаций, изготавливающих, ремонтирующих и поверяющих СИ (при выполнении единых требований Государственного комитета СССР по стандартам к условиям, метрологической базе и квалификации работников);

проверок состояния и применения СИ, деятельности ведомственных служб в министерствах и на предприятиях, а также внедрения и соблюдения метрологических правил.

Организация и порядок проведения Госнадзора установлены ГОСТом и другими документами Государственного комитета СССР по стандартам, а ведомственного контроля — отраслевыми стандартами и другими НТД.

Ведомственный контроль согласно ГОСТ 8.002—86 включает в себя:

ведомственную метрологическую аттестацию СИ, которые не подлежат государственной аттестации и признаны нестандартизованными;

ведомственную поверку СИ узковедомственного назначения;

проверку состояния и применения СИ, внедрения и соблюдения метрологических правил на предприятиях и в организациях со стороны органов МС министерства;

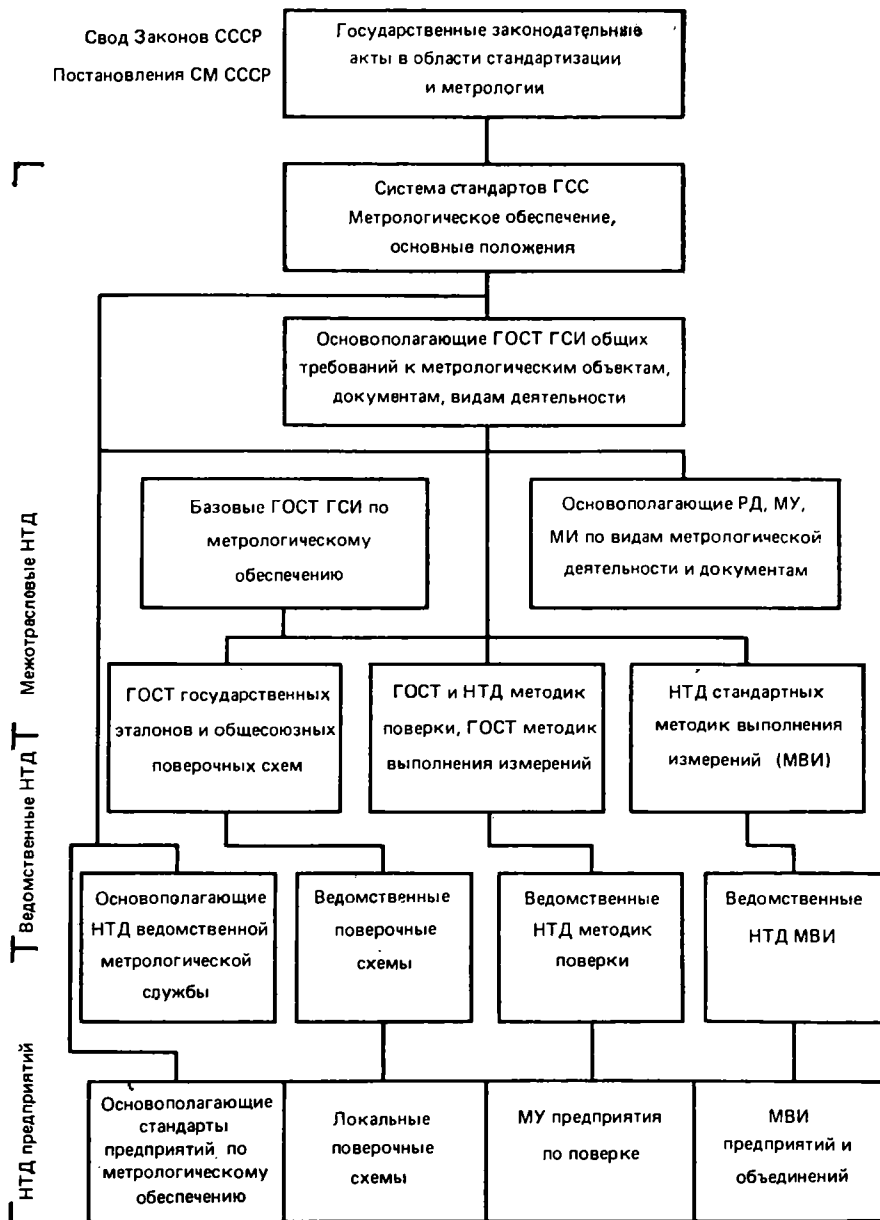


Рис. 1.1

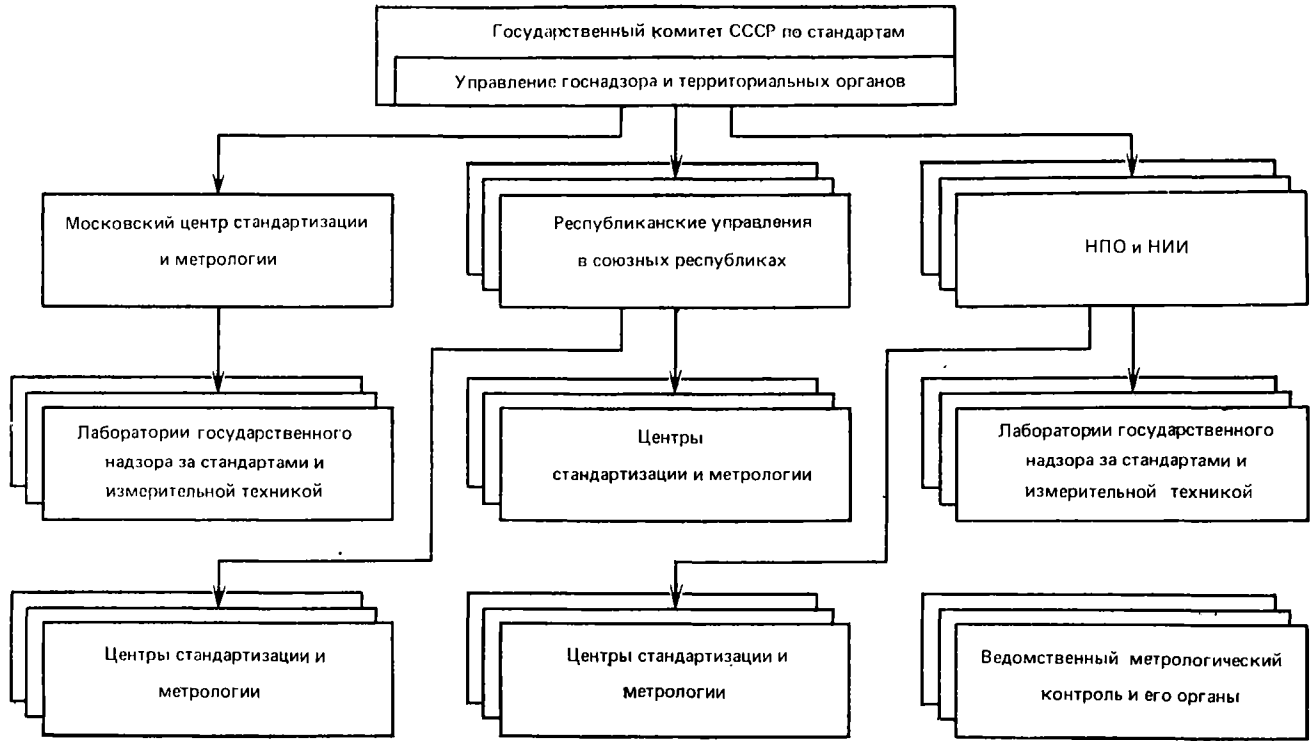


Рис. 1.2

проверку деятельности головных и базовых организаций МС, а также подразделений МС на предприятиях связи министерства в порядке, установленном министерством.

В случае выявления нарушений метрологических правил органы государственного надзора применяют в отношении предприятий и виновных должностных лиц установленные законодательством правовые меры и дают обязательные предписания об устранении выявленных нарушений. При всех формах государственного метрологического надзора применяются меры предупредительного характера и меры, направленные на пресечение нарушений стандартов и метрологических правил. В системе мер административно-правового воздействия особое значение придается экономическим санкциям как наиболее эффективным.

Документы ГСИ в сумме составляют нормативную базу МО народного хозяйства на межотраслевом уровне.

Под нормативной базой МО ЕАСС понимается совокупность взаимосвязанных норм (правил, положений), определяющих на современном научно-техническом и экономическом уровнях организацию и способы достижения единства и требуемой точности измерений. Основой нормативной базы МО предприятия связи являются стандарты ГСИ и комплексы НТД Министерства связи СССР. Непосредственно в подразделениях метрологической службы предприятия Министерства связи СССР разрабатываются следующие НТД, определяющие объем и порядок МО предприятия:

приказ о создании метрологического подразделения предприятия связи; назначение главного метролога и лиц, ответственных за измерительную технику;

положение о метрологическом подразделении (по приказу), согласованное с территориальным органом Государственного комитета СССР по стандартам;

должностные инструкции для технического персонала метрологического подразделения и лиц, ответственных за измерительную технику.

Разработка этих документов на предприятиях связи ведется в соответствии с требованиями Методических указаний по организации МО на предприятиях связи. Создание комплекта НТД по МО является одним из обязательных этапов организации работы МС на предприятии (см. гл. 6). В комплект включаются стандарты на единицы ФВ, что особенно важно для отрасли связи, в которой применяются СИ, встроенные в аппаратуру связи и снабженные образцовыми мерами для автоматической самокалибровки.

## 1.5. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. СИСТЕМА SI

Единицы физических величин (далее — единицы), используемые в СССР, их наименования, обозначения и правила применения

устанавливает ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин». Согласно стандарту обязательному применению подлежат единицы Международной системы единиц (международное сокращенное наименование — SI — System International). Наряду с единицами SI (СИ) допускается применять без ограничения срока внесистемные единицы, а также относительные и логарифмические величины и единицы (срок изъятия единицы непер устанавливается международными решениями).

Система SI разработана совместными усилиями специалистов ряда стран и в настоящее время признана наиболее совершенной формой метрической системы мер.

Основными преимуществами SI являются универсальность (она охватывает все области измерений), согласованность — все производные единицы (когерентные) образованы по единому правилу, исключающему появление в формулах коэффициентов, что существенно упрощает расчеты и возможность создания новых производных единиц по мере развития науки и техники на основе существующих единиц SI. Когерентные производные единицы образуют с помощью простейших уравнений связи между величинами (определяющих уравнений), в которых числовые коэффициенты равны 1. Для образования производных единиц величины в уравнениях связи принимают равными единицам SI. Если уравнение связи содержит числовой коэффициент, отличный от 1, то для образования когерентной производной единицы SI в правую часть подставляют величины со значениями в единицах SI, дающими после умножения на коэффициент общее числовое значение, равное 1.

При этом надо иметь в виду, что существует два вида формул: упомянутые выше уравнения связи между величинами и уравнения связи между числовыми значениями. В последних символы означают не конкретные величины (массу, силу, длину), а конкретные числа, которые зависят от выбора единиц соответствующих величин. Наличие в формуле числового коэффициента, зависящего от выбора единиц, является характерным признаком уравнений этого вида. К ним, в частности, относятся все эмпирические формулы.

Связи между основными и производными единицами SI иллюстрируются на рис. 1.3. Часть наименований производных единиц SI образована из наименований основных и производных единиц SI, а девятнадцать присвоены специальные наименования.

Десятичные, кратные, дольные единицы, а также наименования и обозначения образуются с помощью множителей и приставок, приведенных в ГОСТ 8.417—81 табл. 9, причем к наименованию единицы добавление двух или более приставок подряд не допускается. Приставку пишут слитно с наименованием единицы, присоединяя к наименованию первой единицы, если единица образована как произведение или отношение единиц.

Примером такой необходимости может служить получившее распространение на практике сокращение «мегом», которое не



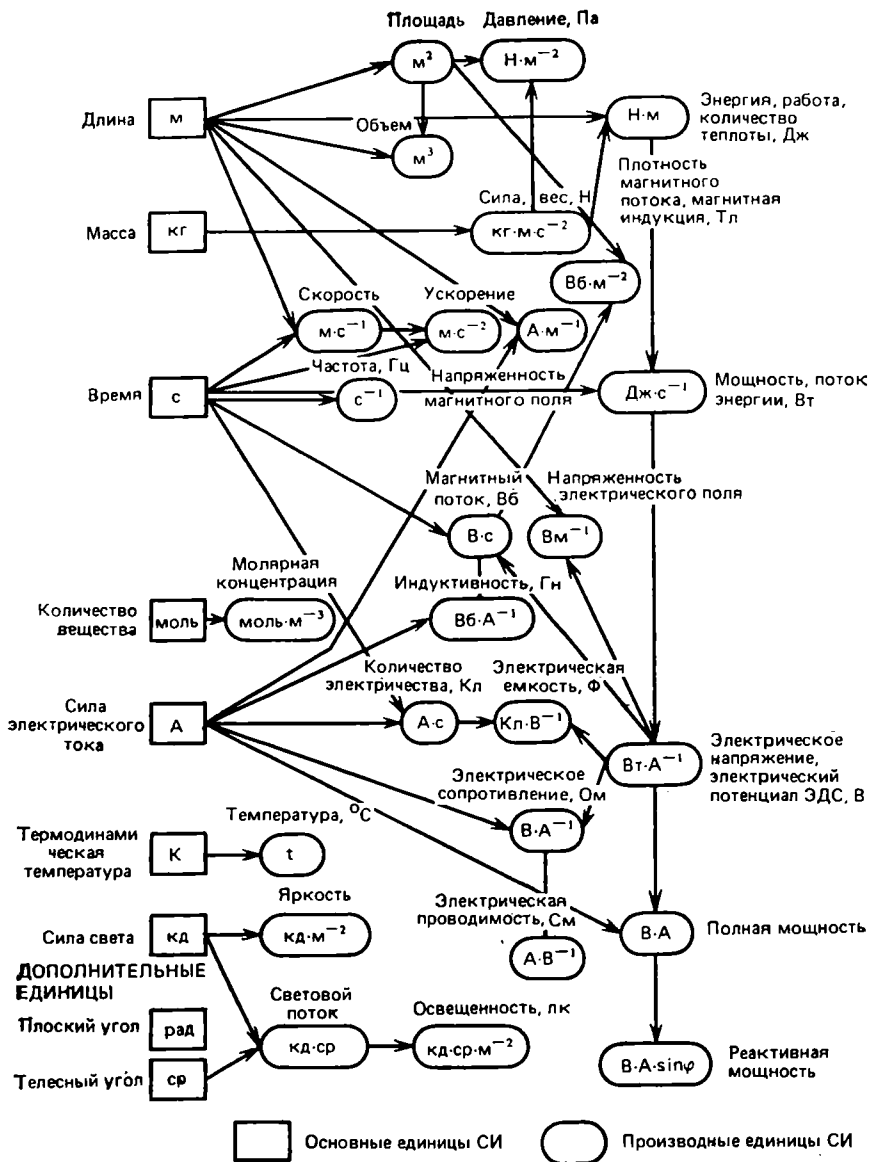


Рис. 1.3

соответствует п. 4.4 ГОСТ 8417—81 и подлежит замене наименованием «мегаом», так как стандартом не предусматривается возможность исключения последней буквы приставки при слиянии ее с наименованием единицы.

При образовании десятичных кратных и дольных единиц от единиц СИ необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

эти единицы использовать в основном для выражения измененного значения;

выбирать их так, чтобы размеры и выражаемые величины не отличались друг от друга на много порядков (числовые значения были в пределах  $10^{-1} \dots 10^3$ );

одновременно применять минимальное число кратных и дольных единиц;

выбирать единицы так, чтобы числовые значения величин были приемлемы для непосредственного практического использования;

при расчетах все выражать в единицах SI, заменяя приставки степенями числа 10, а кратные и дольные единицы подставлять только в конечный результат.

Допускается также применять десятичные кратные и дольные от внесистемных единиц и их сочетания с единицами SI, кратными и дольными от них, однако допускается применять не любые сочетания, а лишь те, которые уже широко распространены.

Здесь важно отметить, что разрешается применять относительные и логарифмические единицы за исключением единицы непер, тем более, что эти единицы не связаны с какой-либо системой единиц, так как не зависят от выбора основных единиц и во всех системах остаются неизменными.

Применение единицы децибел<sup>1</sup> для измерения уровней, затуханий и усиления электрических величин, используемых в технике электросвязи, устанавливается ГОСТ 24204—80 «Единица децибел для измерения уровней, затуханий и усиления в технике проводной связи», а также стандартом СТ СЭВ 1349—78. Согласно этим стандартам децибел (дБ) — логарифмическая величина *уровней сигнала, затуханий и усилений*.

*Затухание (усиление) устройства (цепи) электросвязи* — логарифм отношений значений мощности  $P_1$  или напряжений  $U_1$ , измеряемых на входе устройства, к значению мощности  $P_2$  или напряжения  $U_2$ , измеряемых на выходе устройства согласно табл. 1.1. *Уровень сигнала* — логарифм отношений значений мощности или напряжения в рассматриваемой точке к значениям мощности  $P_0$  или напряжения  $U_0$  в точке цепи, выбранной для сравнения,

Таблица 1.1

Затухание (A), дБ (dB)		Усиление (S), дБ (dB)	
по мощности	по напряжению	по мощности	по напряжению
$10 \lg \frac{P_1}{P_2}$	$20 \lg \frac{U_1}{U_2}$	$10 \lg \frac{P_2}{P_1}$	$20 \lg \frac{U_2}{U_1}$

<sup>1</sup> По имени Александра Грейхема Белла — изобретателя телефона.

В зависимости от выбора  $P_0$  и  $U_0$  различают следующие виды уровней, выражения и обозначения для определения которых приведены в табл. 1.2, где  $P_x$  — значение мощности сигнала в точке  $x$ , мВт или мВ·А (mW или mV·A);  $U_x$  — значение напряжения в точке  $x$ , В;  $P_0$  — значение мощности сигнала в точке, выбранной для сравнения, мВт или мВ·А (mW или mV·A);  $U_0$  — значение напряжения сигнала в точке, выбранной для сравнения, В;  $L_{n1} = 10 \lg \frac{P_{nx}}{P_0}$  — абсолютный уровень психофотометрических помех по мощности ( $L_{p1} = 10 \lg \frac{P_{nx}}{P_0}$ );  $P_{nx}$  ( $P_{px}$ ) — значение психофотометрической мощности помех в точке, мВтп или мВ·Ап (mW<sub>p</sub> или mV·A<sub>p</sub>).

Таким образом, установлено, что уровни по мощности и напряжению называются абсолютными, если  $P=1$  мВт или 1 мВ·А, а

$$U_0 = \sqrt{R_0 P_0} = \sqrt{600 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} \approx 0,7746 \text{ В.}$$

В этом случае, если измерение уровней производится на конечном полном сопротивлении  $Z_n=600$  Ом, уровни по мощности и по напряжению совпадают. При других значениях полных конечных сопротивлений  $Z_n$  значение уровня по мощности может быть найдено из значения уровня по напряжению прибавлением к нему поправки:

$$L_1 = L_2 + 10 \lg \frac{600}{|Z_n|}.$$

Таблица 1.2

Виды уровней	Обозначение единицы уровней		Определение уровней
	русское	международное	
Абсолютный уровень сигнала: по мощности	дБм	dBm	$L_1 = 10 \lg \frac{P_x}{1}$ ; $L_2 = 20 \lg \frac{U_x}{0,7746}$ ;
	дБн	dBu	
Относительный уровень сигнала: по мощности	дБО	dBv	$L_3 = 10 \lg \frac{P_x}{P_0}$ ; $L_4 = 20 \lg \frac{U_x}{U_0}$ ;
	дБОн	dBru	
Абсолютный уровень сигнала по мощности, приведенный к точке с нулевым относительным уровнем по мощности Абсолютный уровень психофотометрических помех по мощности, приведенный к точке с нулевым относительным уровнем сигнала по мощности	дБм0	dBm0	$L_5 = L_1 - L_3$ ; $(L_6 = L_{p1} - L_3)$ .
	дБм0п	dBm0p	

Таблица 1.3

$Z_H, \text{ Ом}$	600	150	135*	75
$10 \lg \frac{600}{ Z_H }, \text{ дБ}$	0	6,02	6,47	9,03

\* Данное значение не рекомендовано ГОСТ 21655—87.

Для пересчетов удобно запомнить значения поправок для стандартных оконечных сопротивлений, принятых в МСП (табл. 1.3).

По значениям уровней могут быть определены соответствующие мощности и напряжения сигналов:

$$P = P_0 \cdot 10^{0,1L_1}, \text{ мВт}; U = U_0 \cdot 10^{0,05L_2}, \text{ В.}$$

Кроме единицы децибел временно разрешена к применению единица непер, которая ранее широко использовалась в научно-технической литературе. Для перевода децибела в непер и наоборот следует пользоваться соотношением: 1 дБ = 0,115 Нп и 1 Нп = 8,687 дБ. Все результаты и характеристики погрешностей измерений в отрасли связи выражаются в децибелах.

## 1.6. СИСТЕМА ЭТАЛОНОВ ЕДИНИЦ ФВ

Единство измерений достигается точным воспроизведением, хранением установленных единиц ФВ и передачей их размеров всем рабочим средствам измерений (РСИ) с помощью эталонов и образцовых средств измерений. Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются *эталонь*. Создание, хранение и применение эталонов, контроль за их состоянием подчиняются единым правилам, установленным ГОСТ 8.057—80 «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения» и ГОСТ 8.372—80 «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения».

*Эталон единицы* — средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Воспроизведение единицы осуществляется на эталонной установке по особой строго регламентированной спецификации, но при необходимости воспроизведение можно осуществить в любом месте при соблюдении требований, предусмотренных спецификацией. Однако исследования показывают, что результаты измерений и сличений эталонов, выполненные с максимальной тщатель-

ностью, все же имеют некоторые расхождения. Поэтому воспроизведение единиц в зависимости от технико-экономических требований производится двумя способами.

*Первый способ* — централизованный — с помощью единого для всей страны или группы стран государственного эталона. Централизовано воспроизводятся все основные единицы СИ и большая часть производных. Основаниями для создания исходных для страны эталонов являются:

широкое распространение ОСИ и РСИ, градуированных в данных единицах; целесообразность воспроизведения единицы в одном органе государственной метрологической службы и техническая возможность создания и передачи размера единицы, воспроизводимой им с необходимой точностью.

*Второй способ* воспроизведения — децентрализованный — применим к производным единицам, размер которых не может передаваться прямым сравнением с эталоном и обеспечивать необходимую точность (например, единица площади — квадратный метр), или если поверка мер посредством косвенных измерений проще, чем их сравнение с эталоном, и обеспечивает необходимую точность (например, мера вместимости — кубический метр). В ряде случаев требуемая точность обеспечивается только с помощью специально сконструированных измерительных установок — поверочных установок высшей точности (например, установки для воспроизведения тангенса угла потерь).

Эталоны СССР в соответствии с ГОСТ 8.057—80 по подчиненности подразделяют на первичные (исходные) и вторичные (подчиненные) и имеют следующую классификацию (рис. 1.4).

*Первичные эталоны* воспроизводят и хранят единицы и передают их размеры с наивысшей точностью, достижимой в данной области измерений. Первичные эталоны в зависимости от условий воспроизведения единицы могут иметь разновидность — *специальные первичные эталоны* (далее — специальные). Специальные эталоны воспроизводят единицы в условиях, в которых прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически неосуществима (ВЧ и СВЧ, малые и большие энергии и т. п.). Первичные и специальные эталоны являются исходными для страны и их утверждают в качестве государственных эталонов. Ввиду особой важности государственных эталонов и для придания им силы закона на каждый государственный эталон утверждается ГОСТ.

*Вторичные эталоны: эталоны-копии* предназначены для передачи размера единицы рабочим эталонам; *эталон*

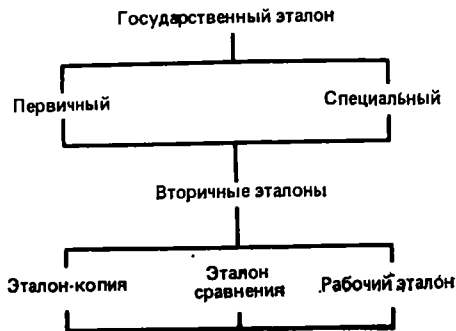


Рис. 1.4

нения — для взаимного сличения эталонов, которые не удается сличить непосредственно; *рабочие эталоны* — для поверки ОСИ и наиболее точных РСИ.

Государственные эталоны создает, утверждает, хранит и применяет Государственный комитет СССР по стандартам, вторичные — министерства и ведомства.

Точность воспроизведения единицы и передачи ее размера должна соответствовать уровню лучших мировых достижений и удовлетворять потребностям народного хозяйства страны. Составляющие погрешностей эталонов и способы их выражения в НТД соответствуют ГОСТ 8.381—80 «ГСИ. Эталоны. Способы выражения погрешностей». *Под погрешностью воспроизведения единицы* понимается погрешность результата измерений, выполняемых при воспроизведении единицы. Оценка этой погрешности — сложная научно-техническая задача.

Погрешности эталонов характеризуются неисключенной систематической погрешностью (НСП), оставшейся после введения поправки, случайной погрешностью и нестабильностью. Случайную погрешность приводят как с учетом погрешности передачи ее размера, так и с указанием последней отдельно. В оценку погрешности передачи размера единицы включаются неисключенные систематические и случайные погрешности метода и средств передачи.

Оценка погрешностей вторичных эталонов характеризует отклонение размеров хранимых ими единиц от размера единицы, воспроизводимой с помощью первичного эталона.

Неисключенная систематическая погрешность, лежащая в границах  $\pm\theta$ , характеризуется  $\theta$  без указания знака. Эта оценка находится на основании экспериментальных данных исследований эталона, анализа погрешностей метода воспроизведения единицы и от действия влияющих величин, а также результатов международных сличений эталонов.

Случайная погрешность характеризуется средним квадратическим отклонением (СКО) результата измерений  $S$  при воспроизведении единицы с указанием числа независимых наблюдений, полученных при экспериментальных исследованиях эталона.

Нестабильность эталона  $\nu$  характеризуется изменением размера воспроизводимой единицы за определенный промежуток времени. Нестабильность вызывается старением элементов и другими причинами и находится в процессе исследований эталона во времени, а также по данным периодических международных сличений.

Погрешность передачи размера единицы — это погрешность результата измерений, выполняемых при передаче размера единицы. Ее характеризуют указанием СКО результата измерений  $S_{\text{ср}}$ , обусловленного влиянием случайной и неисключенных систематических погрешностей, погрешностей метода и средств измерений, применяемых при передаче размеров единицы.

При определении доверительных границ доверительные вероятности как для НСП, так и для случайной погрешности принимаются равными 0,99. Формулы для вычислений, приведенные в справочном приложении 2 к ГОСТ 8.381—80, носят рекомендательный характер, соответствуют ГОСТ 8.009—84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» и анализируются в § 3.8.

Для вторичных эталонов (применяемых в том числе и в отраслях народного хозяйства) суммарная погрешность характеризуется СКО результата измерений ( $S_{\Sigma}$ ) при его сличении с первичным эталоном или же доверительной границей погрешности  $t_{\Sigma}S_{\Sigma}$  с доверительной вероятностью 0,99. Здесь СКО суммы НСП и случайных погрешностей  $S_{\Sigma}$  вычисляются по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S^2 + S_{\theta}^2},$$

где  $S_{\theta} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^N \theta_i^2}$  — СКО суммы НСП,  $t_{\Sigma} = (\theta + t_{\Sigma} S) / (S_{\theta} + S)$  ( $t$  — коэффициент Стьюдента).

Приведенные метрологические характеристики (МХ) и выражения для вычисления погрешностей эталонов позволяют не только вести необходимые расчеты, с чем достаточно редко встречается инженер-метролог ведомственной метрологической службы, но и представлять себе способы выражения погрешностей эталонов, которые указываются на всех поверочных схемах, наконец, оценивать существующие запасы по точности между РСИ и существующими эталонами. Это дает возможность обоснованно подходить к нормированию (в частности, электрических параметров каналов и трактов), на научной основе устанавливать нормы точности измерений.

Совокупность всех эталонов, функционирующих в различных отраслях измерений, составляют эталонную базу СССР. Степень ее развития определяет уровень измерений в стране, поскольку совершенство эталонов создает объективную предпосылку для достижения достоверной измерительной информации и сопоставимости результатов измерений в стране, а следовательно, достижению главной задачи МО — единства измерений. В настоящее время эталонная база СССР (около 150 первичных и 600 вторичных эталонов) — национальное достижение СССР. Состав эталонной базы отражает структуру единиц ФВ, принятых и применяемых в СССР (ГОСТ 8.417—81). Общее число государственных эталонов основных единиц в настоящее время в 3 раза превышает общее число воспроизводимых ими единиц ФВ, так как в ряде случаев наряду с первичными применяются специальные эталоны, например, для единицы ампера — три государственных эталона на частоты от постоянного тока до СВЧ. В области радиотехнических измерений действуют около 50 эталонов.

Эталон каждой из основных единиц воспроизводит единицу в соответствии с ее определением. Общие требования к составу, порядку создания и утверждения, хранения и применения эталонов устанавливает ГОСТ 8.372—80. Так, государственные эталоны подлежат утверждению Государственным комитетом СССР по стандартам, вторичные, включая хранимые министерствами и ведомствами, — метрологическими институтами, ответственными за данный вид измерений. Для каждого эталона назначается ученый-хранитель, ответственный за его правильное хранение и применение, сличения и исследования. Функции ученых-хранителей эталонов, применяемых в МС, в частности Министерства связи СССР, установлены ведомственными положениями об ученом-хранителе вторичных эталонов, разработанными в соответствии с обязательным приложением к ГОСТ 8.372—80. Все эталоны после утверждения вносятся в Реестр эталонов — государственных и вторичных. Центр эталонов исключает эталон из числа вторичных, если при очередном сличении эталона устанавливается, что значение его метрологических характеристик не соответствует значениям, установленным в паспорте эталона или в государственной поверочной схеме. Таким образом, регламентирован строго индивидуальный подход к эталонам, исходя из того, что каждый — важнейшая установка народнохозяйственного значения. В том случае, если невозможно применить государственный эталон (отказ, утрата и т. п.), его функцию по решению Государственного комитета СССР по стандартам временно передают вторичному эталону или образцовому средству измерений высшей точности.

В настоящее время считается, что эталонная база страны удовлетворяет насущным потребностям народного хозяйства. Государственные эталоны по своим МХ не уступают эталонам передовых зарубежных стран, а во многих случаях даже превосходят их. Однако число эталонов продолжает расти, сложна их классификация, при которой практически одинаковые по назначению эталоны имеют разные названия. Поэтому ведутся интенсивные исследования в области теории эталонов и шкал с целью создания системы взаимоувязанных «естественных» эталонов (например, ома, вольты и др.) на основе использования фундаментальных физических констант и стабильных физических явлений. Завершаются работы по созданию единого эталона времени, частоты и длины, а в области электромагнитных измерений планируется исследование по созданию комплекса взаимоувязанных эталонов на основе квантовых явлений и фундаментальных физических констант. Это позволит в обоснованных случаях перейти на децентрализованные системы воспроизведения и передачи размеров единиц, что особенно важно для отрасли связи, в которой применяется множество встроенных СИ в аппаратуру связи, разрабатываются и используются высокоточные СИ с числовым программным управлением, самоблокировкой и встроенными мерами.



Каждый эталон состоит из воспроизводящей части и измерительной, предназначенной для передачи размера единицы эталонам и СИ, с меньшей точностью.

## 1.7. СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ РАЗМЕРОВ ЕДИНИЦ ФВ

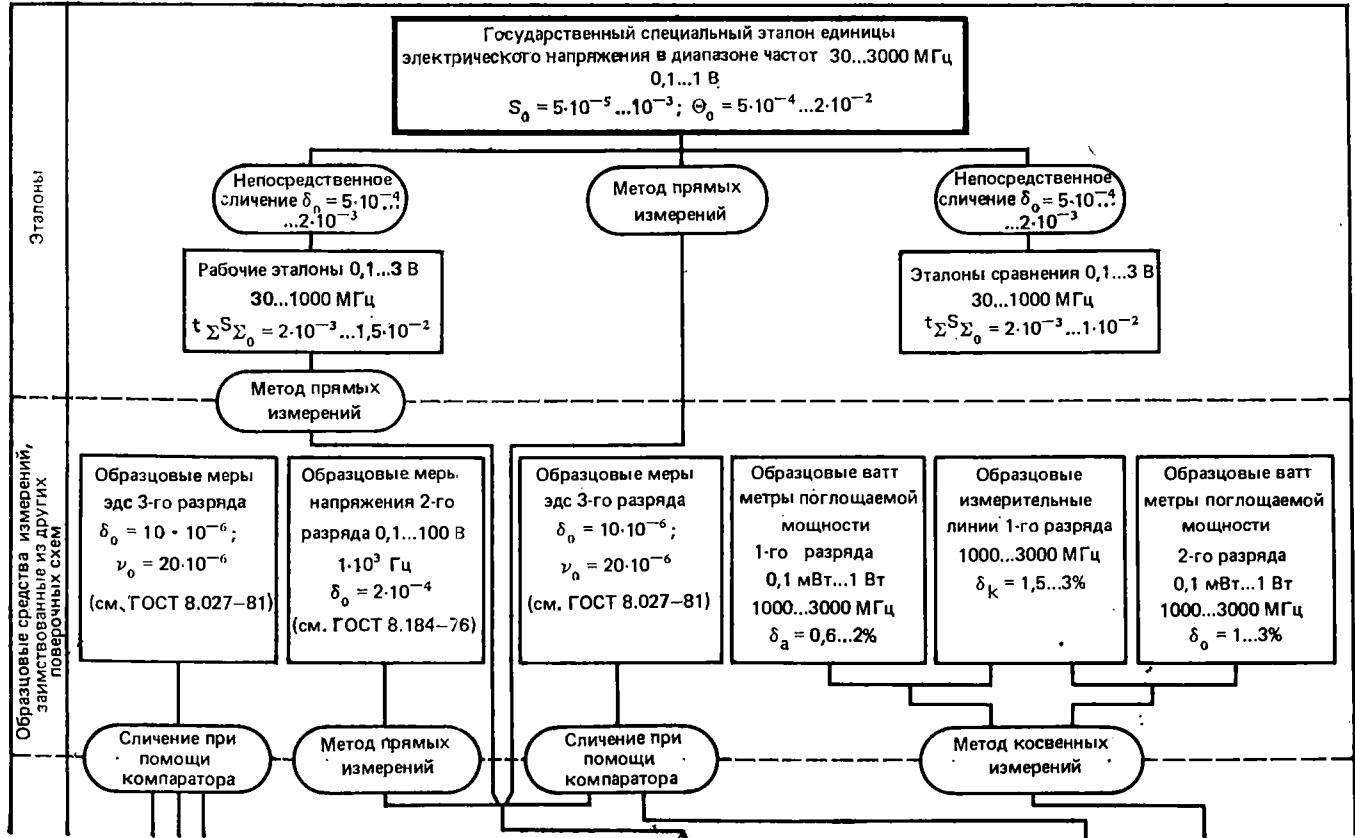
Передача размеров единиц ФВ всем рабочим СИ, применяемым в стране, осуществляется с помощью мощной поверочно-технологической базы Государственной метрологической службы, а также поверочных подразделений ведомственной метрологической службы. Передача размеров единиц — важная и ответственная функция, направленная на обеспечение единства измерений в стране. Средства, методы и точность передачи размеров единицы от эталона для исходного ОСИ рабочим СИ устанавливаются специальным документом — поверочной схемой. Впервые поверочная схема была предложена в 30-х годах проф. Л. В. Залуцким для описания порядка передачи единицы длины.

В настоящее время поверочные схемы соответствуют ГОСТ 8.061—80 «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение». Стандартом установлен многоступенчатый порядок передачи размеров единицы физической величины от государственного эталона всем РСИ данной физической величины с помощью вторичных эталонов и ОСИ различных разрядов от наивысшего первого к низшим и от ОСИ к РСИ. Передача размера осуществляется различными методами поверки, по существу известными методами измерений. Передача размера через каждую ступень сопровождается потерей точности, однако многоступенчатость позволяет сохранять эталоны и передавать размер единицы всем РСИ. Образцовые средства измерений, как известно, используются для периодической передачи размеров единиц в процессе поверки СИ и эксплуатируются только в подразделениях метрологической службы. Определение разряда ОСИ производится в ходе их метрологической аттестации органом Государственного комитета СССР по стандартам. В том же порядке особо точные СИ, изготовленные как рабочие, могут быть аттестованы на определенный срок как образцовые, а ОСИ, не прошедшие очередной метрологической аттестации, — как рабочие.

Разработка поверочной схемы сопровождается научно-техническим обоснованием оптимальности структуры, необходимого числа ступеней передачи, видов вторичных эталонов, если они применяются, и разрядов СИ, методов передачи размера ФВ и оптимальных соотношений погрешностей поверяемого и образцового СИ. Эти соотношения определяются по специальным методикам (см. гл. 6) на основании задаваемых критериев достоверности поверки СИ (передачи размера ФВ).

В зависимости от области применения все поверочные схемы подразделяются на три вида — государственные, ведомственные и локальные.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПЯЖЕНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ ДО 3000 МГц



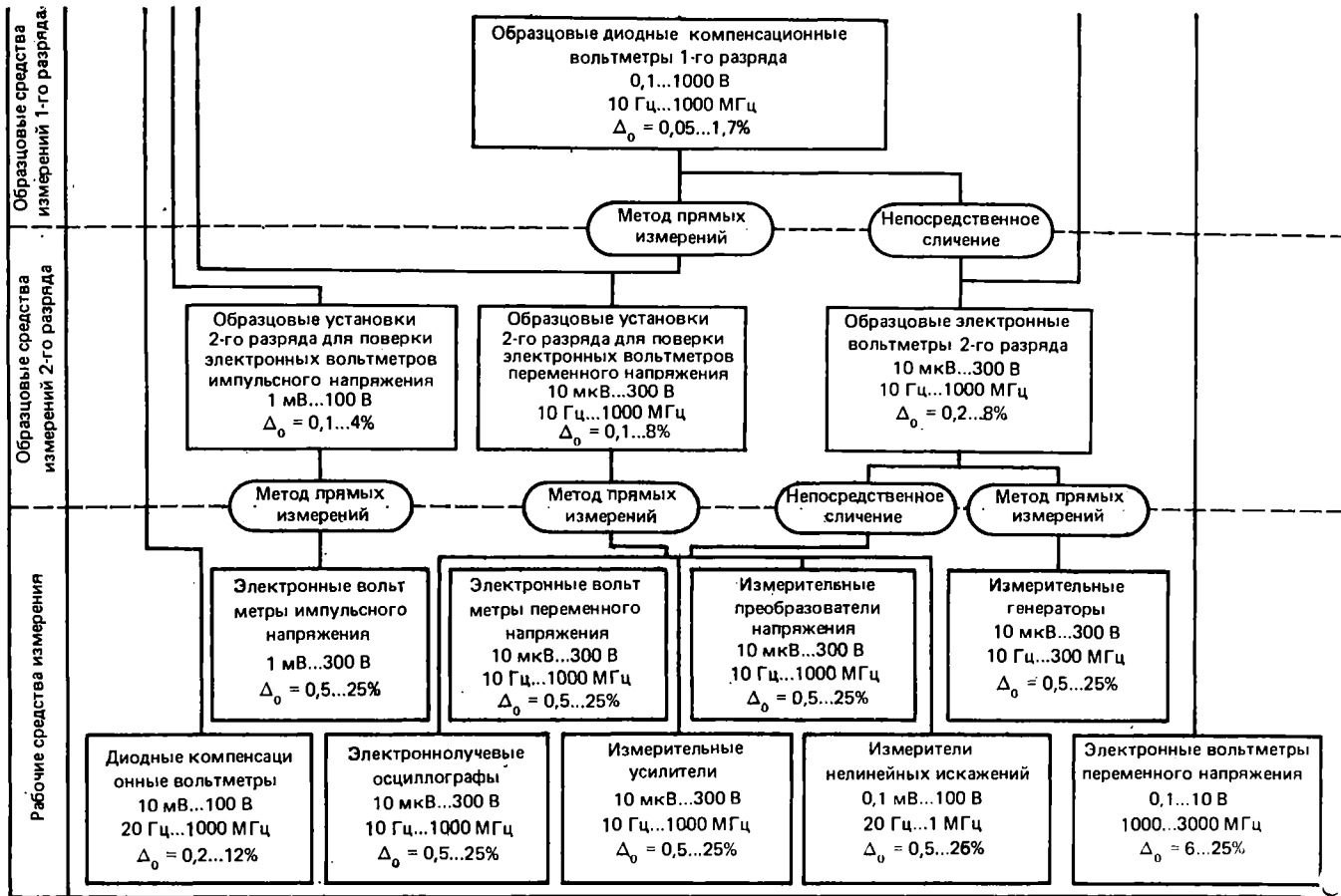
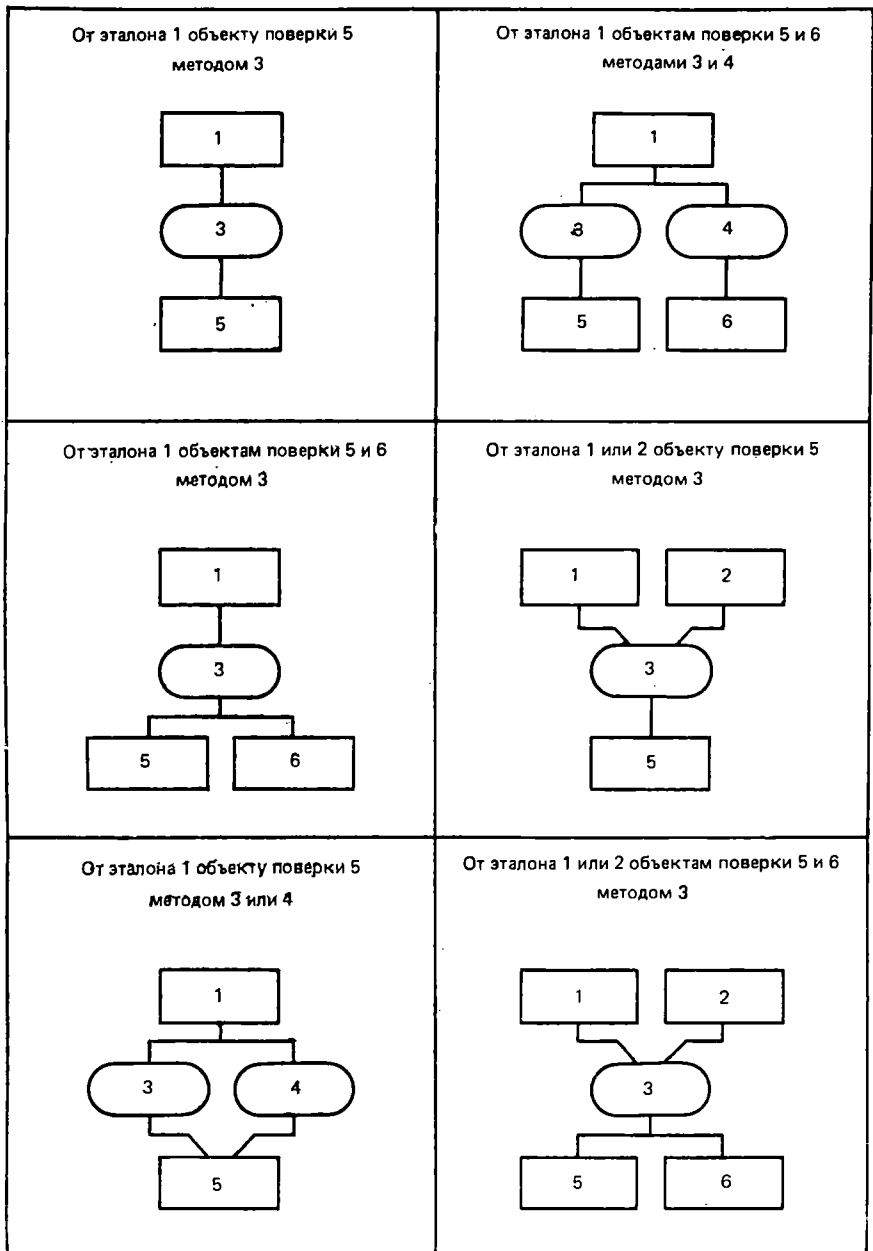


Рис. 1,5



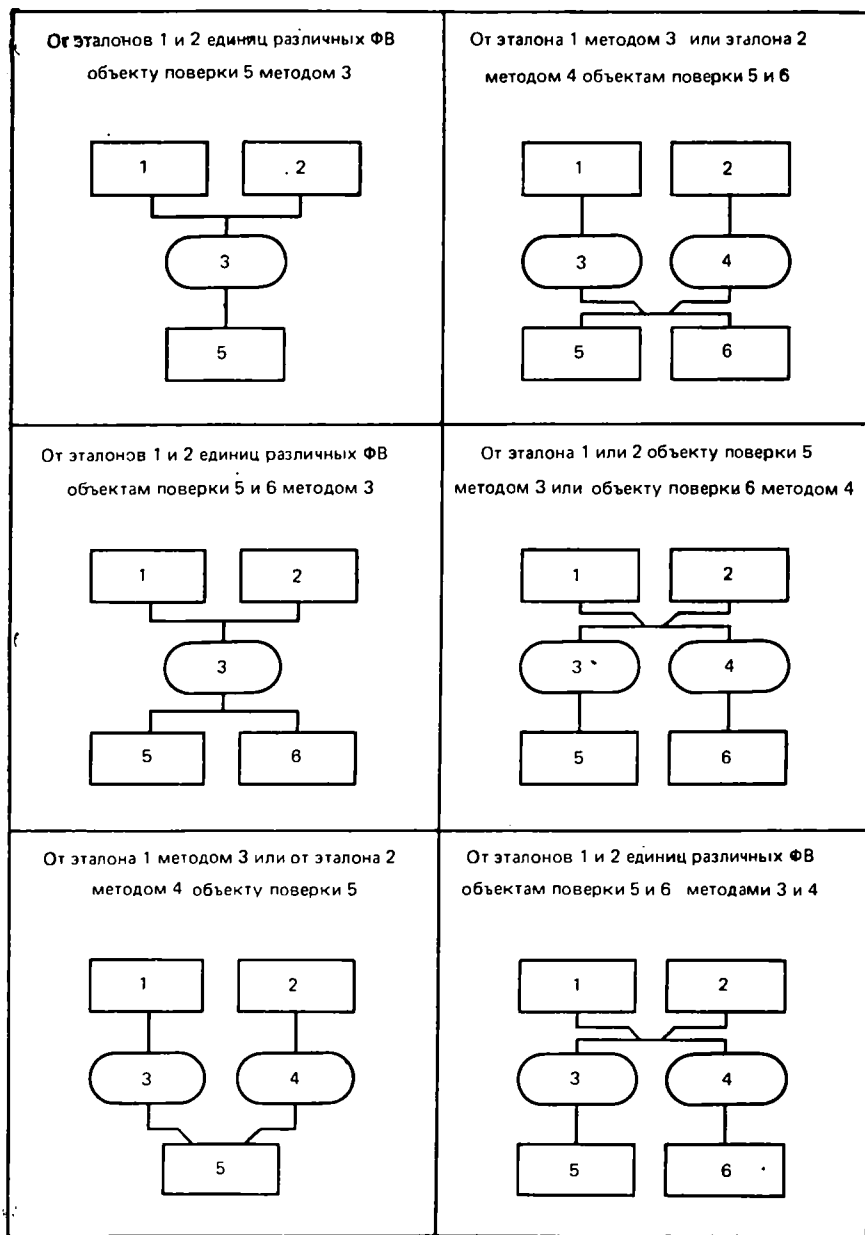


Рис. 1.6

*Государственная* поверочная схема распространяется на все СИ данной ФВ, применяемые в стране, например на средства измерений электрического напряжения в определенном диапазоне частот. Устанавливая многоступенчатый порядок передачи размера единицы ФВ от государственного эталона, требования к средствам и методам поверки, государственная поверочная схема представляет собой как бы структуру МО определенного вида измерений в стране. Эти схемы разрабатываются главными центрами эталонов одновременно с самими эталонами и оформляются одним ГОСТом ГСИ.

*Ведомственная* поверочная схема разрабатывается органом ведомственной метрологической службы, согласовывается с главным центром эталонов — разработчиком государственной поверочной схемы СИ данной ФВ — и распространяется только на СИ, подлежащие внутриведомственной поверке (например, СИ для телеграфии и телефонии в отрасли связи). Эти схемы создаются в виде отраслевых стандартов или НТД «Ведомственная поверочная схема для СИ» (наименование ФВ и СИ).

*Локальные* поверочные схемы распространяются на РСИ, подлежащие поверке в данном органе МС или метрологическом подразделении на предприятии, имеющем право поверки СИ, в обязательном порядке согласуются с территориальным органом Государственного комитета СССР по стандартам и оформляются в виде стандарта предприятия. Ведомственные и локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным и должны учитывать их требования применительно к специфике конкретного министерства или предприятия и могут содержать наименования конкретных СИ. Поверочные схемы состоят из чертежа и текстовой части с пояснениями, обязательной только для ГОСТа.

Чертеж поверочной схемы (рис. 1.5) состоит из полей, расположенных друг под другом и разделенных штриховыми линиями. Поля имеют наименования: эталоны; ОСИ  $n$ -го разряда для каждого поля; ОСИ, заимствованные из других государственных поверочных схем; РСИ. Если ведомственную или локальную поверочную схему возглавляет вторичный эталон или ОСИ, верхнее поле начинается с наименования «Исходное ОСИ». В верхнем поле указывается наименование эталонов (в порядке их подчиненности) или исходных ОСИ. Если схему применяет для СИ производных величин, единицы которых воспроизводятся методом косвенных измерений, то указывают наименования ОСИ, применяемых для ее воспроизведения, заимствованные из других государственных поверочных схем. Под наименованиями эталонов и ОСИ указывают номинальные значения или диапазон значений ФВ и значения их погрешностей. Под полем эталонов располагается поле ОСИ 1-го разряда, затем 2-го и т. д. Разряды ОСИ в ведомственных и локальных поверочных схемах должны соответствовать разрядам, присвоенным в государственных поверочных схемах. Рабочие средства измерений располагают в нижнем поле слева

направо в порядке возрастания погрешности группы РСИ, поверяемых на ОСИ одного наименования. Для каждой группы указывают вид, диапазон измерений и значения погрешностей средств измерений. В поверочных схемах погрешности эталонов указываются по ГОСТ 8.057—80; погрешности ОСИ в соответствии с ГОСТ 8.061—80 «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение», а РСИ — ГОСТ 8.009—84.

В качестве методов поверки с целью унификации на схемах приводится один из методов сличения или метод прямых или косвенных измерений, после чего указывается допустимое значение погрешности метода поверки.

Для удобства чтения поверочных схем на рис. 1.6 приведены наиболее употребляемые графические изображения ступеней передачи размеров единиц по ГОСТ 8.061—80. Согласно этому стандарту на поверочной схеме, приведенной в качестве примера на рис. 1.5, наименование государственного эталона заключено в прямоугольник, образованный двойной линией; вторичных эталонов, а также ОСИ и РСИ — в прямоугольники, образованные одинарной линией. Наименования методов поверки заключены в горизонтальные овалы, которые располагаются между наименованиями объектов поверки и СИ, от которых передают размер единицы. Передача размеров единиц сверху вниз изображается сплошными линиями, соединяющими объекты поверки с соответствующими средствами, от которых передается размер единицы, причем в разрыв этих линий помещены овалы с указанием основных методов поверки. Овалы, находящиеся ниже поля эталонов, расположены в разрывах штриховых линий, разделяющих соответствующие поля. Схема рис. 1.5 читается сверху вниз вдоль линий ступеней передачи размера единицы с учетом графических обозначений, приведенных на рис. 1.6.

## 1.8. СИСТЕМА РАЗРАБОТКИ, ПОСТАНОВКИ НА ПРОИЗВОДСТВО И ВЫПУСКА В ОБРАЩЕНИЕ РАБОЧИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В соответствии с требованиями единства измерений и единообразия СИ в стране создана и функционирует единая система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение РСИ, обеспечивающих определение с требуемой точностью характеристик выпускаемой продукции, а в условиях эксплуатации средств электросвязи — контроль за соответствием электрических параметров трактов и каналов, аппаратуры и сооружений связи электрическим нормам с заданной достоверностью.

Решение о разработке новых РСИ основывается на результатах анализа состояния измерений. Анализ состояния измерений проводится с целью установления соответствия средств и методов измерений современным требованиям производства, а также эксплуатации и разработки на этой основе системы мероприятий

по улучшению МО. Принятая в нашей стране методология программно-целевого планирования развития МО нашла распространение в странах СЭВ. Программы МО дают основание для сквозного комплексного планирования в общегосударственном масштабе разработки новых РСИ, распределения фондов на выполнение заявок серийно выпускаемых РСИ, развития отраслевого приборостроения и метрологических служб. Реализация заданий программ МО осуществляется через пятилетние и годовые планы государственной, республиканской и отраслевой стандартизации и годовые планы министерств и ведомств — исполнителей заданной программы.

В отрасли связи поэтапно внедряется ЕАСС и параллельно совершенствуется ее МО. В соответствии с правилами технической эксплуатации РСИ должны поставляться комплектами с внедряемыми новыми системами передачи. При определении потребностей в РСИ для систем передачи учитываются действующие и перспективные нормы на электрические параметры каналов и трактов и требования к достоверности их измерительного контроля. На основе этих норм и анализа состояния измерений в электросвязи и формулируются требования к МХ РСИ. Основные положения системы управления качеством РСИ, выпускаемым в обращение в стране, установлены ГОСТ 8.383—80 «ГСИ. Государственные испытания средств измерений. Основные положения».

### 1.9. СИСТЕМА ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Государственные испытания проводят с целью обеспечения единства измерений в нашей стране, установления рациональной номенклатуры и эффективного использования парка СИ, поставки на производство и выпуска СИ, которые по своему техническому уровню и качеству соответствуют лучшим отечественным и зарубежным образцам или превышают их. Эти цели достигаются решением трех основных задач. Прежде всего установления соответствия вновь разрабатываемых СИ современному техническому уровню, определения целесообразности и возможности производства СИ в стране или необходимости их ввоза из-за границы партиями. Далее, проверки обеспеченности СИ средствами и методиками поверки и ремонтом, а также проверка правильности выбора методов и средств поверки. И, наконец, периодического контроля соответствия выпускаемых и ввозимых из-за рубежа СИ утвержденным типам и требованиям нормативно-технических документов. Таким образом, в нашей стране система государственных испытаний является действенным инструментом проведения единой технической политики в отечественном приборостроении, и в частности в деле обеспечения электросвязи едиными парком современных СИ. Эта система включает в себя и испытания СИ узковедомственного назначения, разрабатываемые, произво-



димые и ввозимые из-за границы Министерством связи СССР. Система обязательных испытаний охватывает как бы все стадии «жизни» СИ — с разработки технического задания (ТЗ) на проектирование СИ до снятия СИ с производства при отрицательных результатах испытаний.

Система государственных испытаний СИ устанавливает научно-технические, нормативные и организационные основы и согласно ГОСТ 8.383—80 включает в себя: метрологическую экспертизу ТЗ на разработку СИ; государственные приемочные испытания типов СИ, намеченных к серийному производству или ввозу из-за границы партиями; государственные контрольные испытания образцов серийно выпускаемых или периодически ввозимых из-за границы партиями СИ; метрологическую аттестацию СИ единичного производства или ввозимых из-за границы единичными экземплярами — так называемых нестандартизованных СИ (НСИ); аттестацию стандартных образцов состава и свойств веществ.

Нормативной базой для проведения этих метрологических работ служат НТД, структура которых представлена на рис. 1.7.

Метрологической экспертизе подлежат ТЗ на разработку всех СИ, предназначенных для производства, выпуска в обращение и применения в стране. Эта экспертиза проводится с целью оценки потребности в разрабатываемых СИ, соответствия их нормируемым метрологическим характеристикам (НМХ), функциональному назначению и установленным требованиям и проверки уровня МО разработки, производства и эксплуатации этих СИ. Осуществляется экспертиза метрологическими службами организаций-разработчиков СИ (в основном Центральным научно-исследовательским институтом связи (ЦНИИС) и Центральным конструкторским бюро (ЦКБ) Министерства связи СССР) и головными

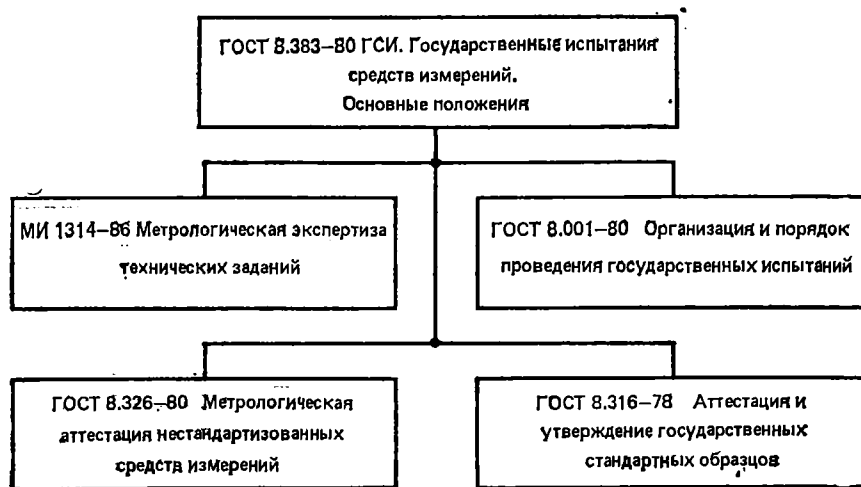


Рис. 1,7

организациями по государственным испытаниям СИ или головными (базовыми) организациями МС министерств. В ходе метрологической экспертизы ТЗ инженерами-метрологами проводится оценка: необходимости разработки СИ с НМХ, приведенными в ТЗ; соответствия метрологических характеристик и способов их нормирования требованиям НТД; обеспечения методиками поверки СИ при их разработке, производстве и эксплуатации; правильность использования единиц ФВ, допущенных к применению в нашей стране, и применение метрологических терминов и определений, установленных стандартами; соответствия разрабатываемого СИ его позиции в поверочной схеме.

Оценку необходимости разработки СИ с метрологическими характеристиками, приведенными в ТЗ, проводят на основе анализа известных отечественных и зарубежных аналогов, исходя из прогнозируемого технического уровня измерительной техники на момент постановки разрабатываемых изделий на производство, а также анализа планов разработки и освоения новой техники и технологии, в частности внедрения ЕАСС. Метрологические характеристики и способы их нормирования, содержащиеся в ТЗ, должны удовлетворять ГОСТ 8.009—84. Оптимальность номенклатуры НМХ устанавливают, исходя из функционального назначения, режимов и условий эксплуатации разрабатываемых СИ. Оценку обеспеченности методиками поверки СИ при их разработке, производстве и в эксплуатации проводят на основе анализа действующих НТД, единой номенклатуры поверочного оборудования по видам измерений и комплексных программ МО по отдельным видам и областям измерений. Для отрасли электросвязи эти материалы публикуются в сборниках методических указаний Министерства связи СССР. Только после утверждения ТЗ начинается непосредственная разработка СИ. В соответствии со стадиями разработки, поставки на производство установлены два вида испытаний: приемочные и контрольные.

Государственные приемочные испытания проводят по окончании проектирования СИ. Приемочным испытаниям подвергаются опытные образцы СИ новых типов, предназначенные для серийного производства, и образцы, подлежащие ввозу из-за границы. Проверяют соответствие их технического уровня и назначения ТЗ на разработку, техническим условиям, правильность нормирования метрологических характеристик и возможность их контроля при производстве, после ремонта и в процессе эксплуатации; результаты расчета и рекомендуемую периодичность поверки; возможность проведения поверки в соответствии с НТД на методы и средства поверки или с их проектами, а также соответствие нормированных показателей надежности требованиям НТД и ремонтпригодность. Порядок проведения госприемочных испытаний показан на рис. 1.8 [2].

Положительные результаты государственных приемочных испытаний являются основанием для утверждения типа СИ и выдачи разрешения на производство и выпуск в обращение СИ, а

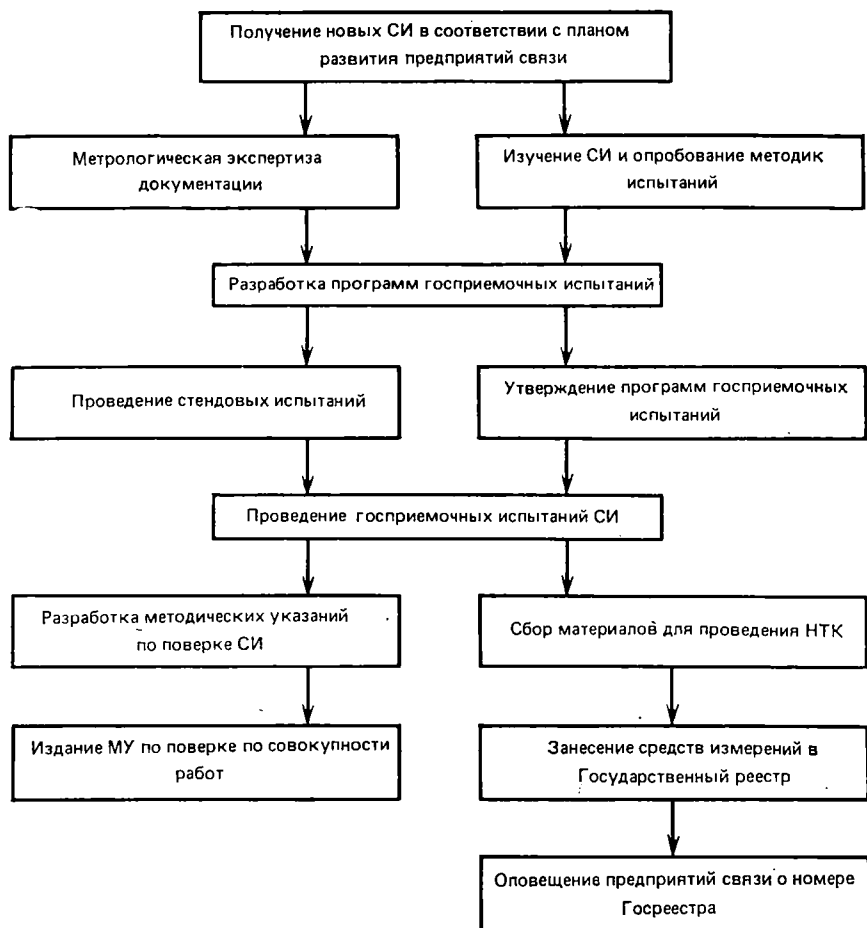


Рис. 1.8

также для разрешения ввоза СИ из-за рубежа и выпуска в обращение в СССР. Типы СИ, утвержденные Государственным комитетом СССР по стандартам, подлежат внесению в Государственный реестр СИ, прошедших государственные испытания. На СИ, изготовленные в СССР и внесенные в Государственный реестр, а также на эксплуатационные документы наносится знак Государственного реестра СИ (рис. 1.9).

Начертание и способ построения знака высотой 100 мм должны соответствовать указанному на рисунке. Номинальные размеры высоты знака следует выбирать из ряда: 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100 мм.

Перечень импортных СИ узкоотраслевого назначения (связь), прошедших государственные испытания и внесенных в Государственный реестр СИ СССР, публикуется в информационных списках Главного научно-технического управления (ГНТУ) МС СССР,

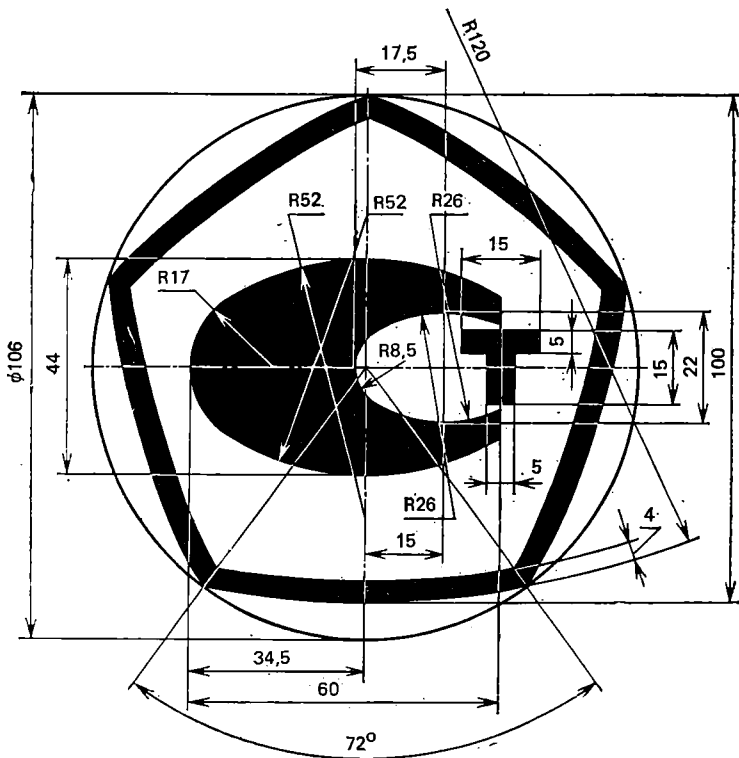


Рис. 1.9

издаваемых ЦНИИС. Только эти СИ считаются стандартизованными и разрешаются к применению на предприятиях связи без ограничений.

Государственным контрольным испытаниям подлежат СИ, внесенные в Государственный реестр. Периодичность испытаний — не реже одного раза в три года и при передаче производства на другие предприятия. Цель — проверка соответствия СИ типу, утвержденному Государственным комитетом СССР по стандартам, уровня МО производства и эксплуатации, обеспеченность ремонтными документами и запчастями, соответствие СИ современному техническому уровню. При отрицательных результатах контрольных испытаний запрещается производство или ввоз СИ и выпуск их в обращение.

Таким образом, система Государственных испытаний СИ обеспечивает формирование рациональной номенклатуры СИ, применяемых в стране, своевременное освоение производства новых типов измерительной техники и снятия с производства устаревшей, учет СИ утвержденных образцов и создание централизованных государственных фондов информационных данных о СИ, допущенных в производство и к выпуску в обращение в СССР.

Особое место в системе обязательных испытаний СИ отведено нестандартизованным СИ (НСИ). К ним относятся меры, измерительные приборы, преобразователи, установки и системы, не предназначенные для серийного или массового производства и не подвергаемые государственным испытаниям в соответствии с ГОСТ 8.001—80, ГОСТ 8.383—80. Их применение и МО на предприятиях связи вызывает определенные затруднения. Нестандартизованные СИ подлежат специальному метрологическому учету. Самостоятельное создание и применение НСИ — ответственный вид метрологической деятельности. В целях обеспечения единства и достоверности измерений в ГОСТ 8.326—78 Государственным комитетом СССР по стандартам были сформулированы единые требования по МО НСИ. Основными задачами МО разработки, изготовления и эксплуатации НСИ является обеспечение изготовления СИ в соответствии с утвержденными ТЗ или ТУ; обеспечение СИ НТД и техническими средствами, необходимыми для их поверки и технического обслуживания; обеспечение постоянной пригодности СИ к выполнению измерений с нормированной для них точностью, своевременное изъятие из обращения СИ, не пригодных к применению, а также включение НСИ в общесоюзную поверочную схему или установление иного порядка их обязательной связи с государственными эталонами.

Метрологическое обеспечение НСИ включает в себя: метрологическую экспертизу ТЗ на разработку СИ; разработку НТД и изготовление средств, необходимых для метрологической аттестации, поверки и ремонта НСИ; метрологическую экспертизу конструкторской и технологической документации на НСИ; метрологическую аттестацию и поверку. За состоянием и применением НСИ осуществляется государственный надзор и ведомственный контроль.

На основе ГОСТ 8.326—78 министерства и ведомства при необходимости разрабатывают отраслевые стандарты, учитывающие особенности разработки, изготовления, применения и учета НСИ в отрасли. Эти ОСТ должны быть согласованы с Государственным комитетом СССР по стандартам и заказчиком. Проект документа на методику поверки НСИ разрабатывают в установленном министерством порядке. Этот документ утверждает организация, проводящая метрологическую аттестацию. Важно отметить, что при наличии действующего документа на методику поверки, распространяющегося на аналогичные стандартизованные СИ, организация, проводящая метрологическую аттестацию, может разрешить его использование при периодической поверке НСИ.

Нестандартизованные СИ допускаются к применению исключительно после их метрологической аттестации. Основными задачами и содержанием аттестации являются: определение МХ аттестуемых СИ и установление их пригодности к применению в соответствии с назначением; установление номенклатуры МХ СИ, подлежащих контролю при поверке, проверка обеспеченности СИ методиками и средствами поверки; проверка соответствия метро-

логических характеристик НСИ технической документации на эти средства (ТЗ и стандартов ГСИ); апробирование методики поверки и установление индивидуального межпроверочного интервала.

Метрологическую аттестацию подразделяют на государственную, проводимую органами Государственного комитета СССР по стандартам, и ведомственную, проводимую метрологическими службами министерств и предприятий.

Министерство определяет организацию ведомственных МС, на которые возлагаются обязанности по метрологической аттестации НСИ, в зависимости от условий их разработки, изготовления и применения. Если невозможно создать условия для аттестации на предприятии, НСИ могут быть представлены для этой цели в базовые организации ведомственной МС или орган Государственного комитета СССР по стандартам по согласованию с последним.

Метрологическую аттестацию СИ, ввозимых из-за границы единичными экземплярами, проводят организации, определяемые Государственным комитетом СССР по стандартам в процессе согласования заявок министерств на импорт измерительной техники, в объеме, соответствующем аттестации НСИ. Решение о пригодности НСИ к применению принимается на основании результатов метрологической аттестации НСИ, прошедших государственную аттестацию, руководителем органа Государственного комитета СССР по стандартам, проводившего аттестацию; остальных НСИ — руководителем предприятия, разрабатывающего, изготовившего или применяющего НСИ по представлению организации или подразделения, проводившего их метрологическую аттестацию.

Нестандартизованные СИ, прошедшие метрологическую аттестацию, подлежат техническому учету и периодической поверки в процессе эксплуатации. Государственный надзор за состоянием и применением НСИ осуществляют территориальные органы Государственного комитета СССР по стандартам путем их периодической поверки, проведения целевых проверок состояния и применения НСИ. Ведомственный контроль за состоянием и применением НСИ осуществляют службы главного метролога министерства, базовые организации МС министерства и метрологические службы предприятий с помощью проверки правильности применения НСИ в подразделениях предприятия и соответствия условий их применения нормированным условиям эксплуатации.

При обнаружении НСИ, не прошедших метрологическую аттестацию и изготовленных с нарушением требований ГОСТ 8.326—78, применяются меры, предусмотренные действующим законодательством.

Таким образом, проявляется действие одного из основополагающих принципов обеспечения единства измерений в нашей стране — каждое СИ допускается к применению только после его утверждения. Формой утверждения стандартизированных СИ являются государственные испытания, а НСИ — метрологическая

аттестация. Система государственных испытаний и аттестация СИ является важнейшей частью общей системы государственных испытаний продукции.

## 1.10. СИСТЕМА ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ И ВЕДОМСТВЕННОЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Одной из главных форм государственного метрологического надзора и ведомственного контроля, направленных на обеспечение единства измерений в стране, является поверка СИ. Поверке подвергаются СИ, выпускаемые из производства и ремонта, получаемые из-за рубежа, а также находящиеся в эксплуатации и хранении. Основные требования к организации и порядку проведения поверки СИ установлены ГОСТ 8.513—84 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения». Термин «поверка» введен ГОСТ 16263—70 «ГСИ. Метрология. Термины и определения» как «определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению». В отдельных случаях при поверке вместо определения значений погрешностей проверяют, находится ли погрешность в допустимых пределах. Таким образом, поверку СИ проводят для установления их пригодности к применению. Пригодным к применению в течение определенного межповерочного интервала времени признают те СИ, поверка которых, выполненная в соответствии с требованиями НТД по поверке, подтверждает их соответствие метрологическим и техническим требованиям к данному СИ, установленным в НТД. Средства измерений подвергаются первичной, периодической, внеочередной, инспекционной и экспертной поверкам.

*Первичной* поверке подвергаются СИ при выпуске из производства или ремонта, а также СИ, поступающие по импорту. Последние не подлежат первичной поверке в СССР в тех случаях, когда результаты поверки, проведенной в других странах, признаны Государственным комитетом СССР по стандартам в соответствии с международными соглашениями.

*Периодической* поверке подлежат СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении, через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения пригодности к применению СИ на период между поверками. Научно-техническое обоснование оптимальности межповерочных интервалов, структуры и параметров поверочных схем ведется с учетом вероятностных критериев качества (достоверности) поверки.

*Внеочередную* поверку производят во время эксплуатации (хранения СИ), при необходимости удостоверения в пригодности к применению СИ; применении СИ в качестве комплектующих и истечении половины межповерочного интервала; повреждении поверительного клейма или пломбы, а также утере документа о

поверке; вводе в эксплуатацию СИ после хранения, в течение которого не производилась периодическая поверка; отправке потребителю СИ, не реализованных по истечении половины межповерочного интервала; переконсервации и передаче на длительное хранение. Рекомендуется очередную поверку производить также перед вводом в эксплуатацию СИ, взятых со склада после хранения и транспортирования.

*Инспекционную* поверку производят для выявления пригодности к применению СИ при осуществлении госнадзора и ведомственного метрологического контроля за состоянием и применением СИ.

*Экспертную* поверку выполняют при возникновении спорных вопросов по МХ, исправности СИ и пригодности их к применению.

Поверку СИ проводят органы Государственной метрологической службы, возглавляемые Государственным комитетом СССР по стандартам, аттестованные на право проведения государственной поверки СИ, и предприятия иной ведомственной принадлежности (связь), которым право поверки предоставлено в установленном порядке. Поверку СИ выполняют лица, аттестованные в качестве государственных и ведомственных поверителей.

Термин «поверитель» впервые был введен в практику по предложению Д. И. Менделеева в Главной Палате мер и весов, управляющим которой он был. В положении о Главной Палате отмечается, что она учреждена «для сохранения в государстве единообразия, верности и взаимного соответствия мер и весов». Законом о мерах и весах 1899 г. впервые была установлена обязательность поверки СИ, введены как обязательные межповерочные интервалы. Поверка проводится в соответствии с требованиями НТД. В связи с расширением номенклатуры типов СИ, ужесточением требований к СИ и внедрением статистического подхода к оценке погрешности СИ, а также с усилением роли и самостоятельности МС ведомств и отдельных предприятий решено, что НТД на поверку в дальнейшем будут утверждаться метрологическими институтами.

Поверка СИ осуществляется на основе хозрасчета. Все расходы, связанные с вызовом государственных поверителей, а также поверкой СИ оплачиваются предприятиям по таксам, установленным Государственным комитетом СССР по стандартам, а ведомственной поверки — на основе договоров между предприятиями.

Ряд СИ поверке не подлежит, это прежде всего СИ, отнесенные к категории индикаторов. Индикаторы — СИ, применяемые для наблюдения за изменением величин без оценки их значений в единицах ФВ с нормированной точностью. На сами индикаторы или в их эксплуатационных документах наносится обозначение «И». Порядок перевода СИ, используемых в аппаратуре систем передачи, работающих по проводным линиям первичной сети МС СССР, установлен «Положением о порядке отнесения СИ к категории индикаторов». В основном на предприятиях связи в категорию индикаторов переводят СИ, встраиваемые в аппаратуру



связи. На основании рекомендованного министерством перечня в соответствии с ГОСТ 8.513—84 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения» и утвержденным Положением технические руководители предприятий (главные инженеры) совместно с представителями МС предприятия составляют список СИ, подлежащих переводу в индикаторы, согласовывают его с территориальным органом Государственного комитета СССР по стандартам и вводят в действие на предприятии в установленном порядке. Периодически, но не реже одного раза в три года МС предприятия производит контроль работоспособности индикаторов. К категории индикаторов нельзя отнести СИ, если хотя бы по одной из шкал или по одному из параметров производят измерения с нормированной точностью.

Средства измерений, применяемые для учебных целей, считаются учебными, на них наносится обозначение «У» и контроль за их исправностью осуществляется в порядке, установленном инструкцией по эксплуатации и в соответствии с требованиями учебного процесса. Применять индикаторы и учебные СИ для выполнения измерений с нормированной погрешностью запрещено.

Средства измерений, являющиеся личной собственностью граждан, могут быть подвергнуты поверке по их заявкам на хозяйственной основе. Все остальные СИ в обязательном порядке должны поверяться. Обязательной государственной поверке подлежат: СИ, применяемые в органах Государственного комитета СССР по стандартам; исходные ОСИ предприятий и СИ, выпускаемые из производства в качестве ОСИ, предназначенные и применяемые для учета материальных ценностей, защиты природной среды, обеспечения безопасности труда. Списки СИ электросвязи, рекомендуемых для ведомственной поверки вместе с перечнями рекомендуемых ОСИ и МУ по поверке, приводятся в сборниках методических указаний, издаваемых Министерством связи СССР.

Вопрос о целесообразности государственной или ведомственной поверки в условиях лабораторий по поверке и ремонту СИ эксплуатационных предприятий связи или базовых метрологических организаций решается исходя из технико-экономических показателей. Поверка обеспечивает поддержание единообразия СИ и является важным условием обеспечения единства и достоверности измерений во всех звеньях народного хозяйства страны. Этим же объясняется требование поверки по нормативному, т. е. обязательному к применению документу.

## 1.11. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА СССР

Организационной основой МО является метрологическая служба СССР — одно из важных звеньев государственного управления народным хозяйством страны. Метрологическая служба СССР представляет собой разветвленную систему метрологических организаций, министерств и ведомств, совместная деятельность ко-

торых направлена на обеспечение единства и требуемой точности измерений в стране. Организация, цели, задачи, права и обязанности МС установлены основополагающим стандартом ГСС. Руководство деятельностью МС осуществляет Государственный комитет СССР по стандартам. Он разрабатывает и утверждает обязательные для исполнения всеми министерствами, предприятиями и организациями НТД по вопросам МО, а также рассматривает и согласовывает отраслевые НТД; разрабатывает разделы по МО плана государственной стандартизации, планы и программы МО отраслей народного хозяйства, МО производства всей продукции и МО видов измерений; ведет государственный метрологический надзор за состоянием и применением СИ, их разработкой и производством, МО производства продукции и МО видов деятельности министерств и ведомств; назначает ответственные организации (головные и базовые) за проведение единой государственной технической политики в области МО.

Основные направления деятельности метрологической службы СССР в соответствии с ГОСТ 1.25—76 представлены на рис. 1.10. В зависимости от выполняемых задач МС страны подразделяют на государственную (ГМС), возглавляемую Государственным комитетом СССР по стандартам, и ведомственные метрологические службы (ВМС), возглавляемые соответствующими министерствами и ведомствами.

**Государственная МС** включает научные организации, работающие под руководством Управления метрологии и метрологической службы, ряд метрологических НПО и НИИ, специализированных по областям и видам измерений, и территориальные органы Государственного комитета СССР по стандартам (рис. 1.11).

Общее научно-методическое руководство и координацию деятельности МС (на рис. 1.11 показаны штриховой линией) осуществляет главный центр ГМС — Всесоюзный НИИ метрологической службы (ВНИИМС). На него возложены разработка научно-методических, технико-экономических, организационных и правовых основ МС страны.

Главные центры государственных эталонов выполняют фундаментальные научные исследования в области теоретических основ метрологии по изысканию и применению новых физических эффектов с целью создания СИ высшей точности и уточнения значений фундаментальных физических констант. Главными центрами государственных эталонов являются Всесоюзный НИИ метрологии им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ) в составе НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Всесоюзный НИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) в составе НПО «ВНИИФТРИ», Харьковский государственный НИИ метрологии (ХГНИИМ) в составе НПО «Метрология», Сибирский НИИ метрологии (СНИИМ) и др.

Центрами государственных эталонов являются ВНИИМС, ВНИИМСО, НПО «Дальстандарт», НПО «Эталон», Всесоюзный НИИ метрологии измерительных и управляющих систем



Рис. 1.10

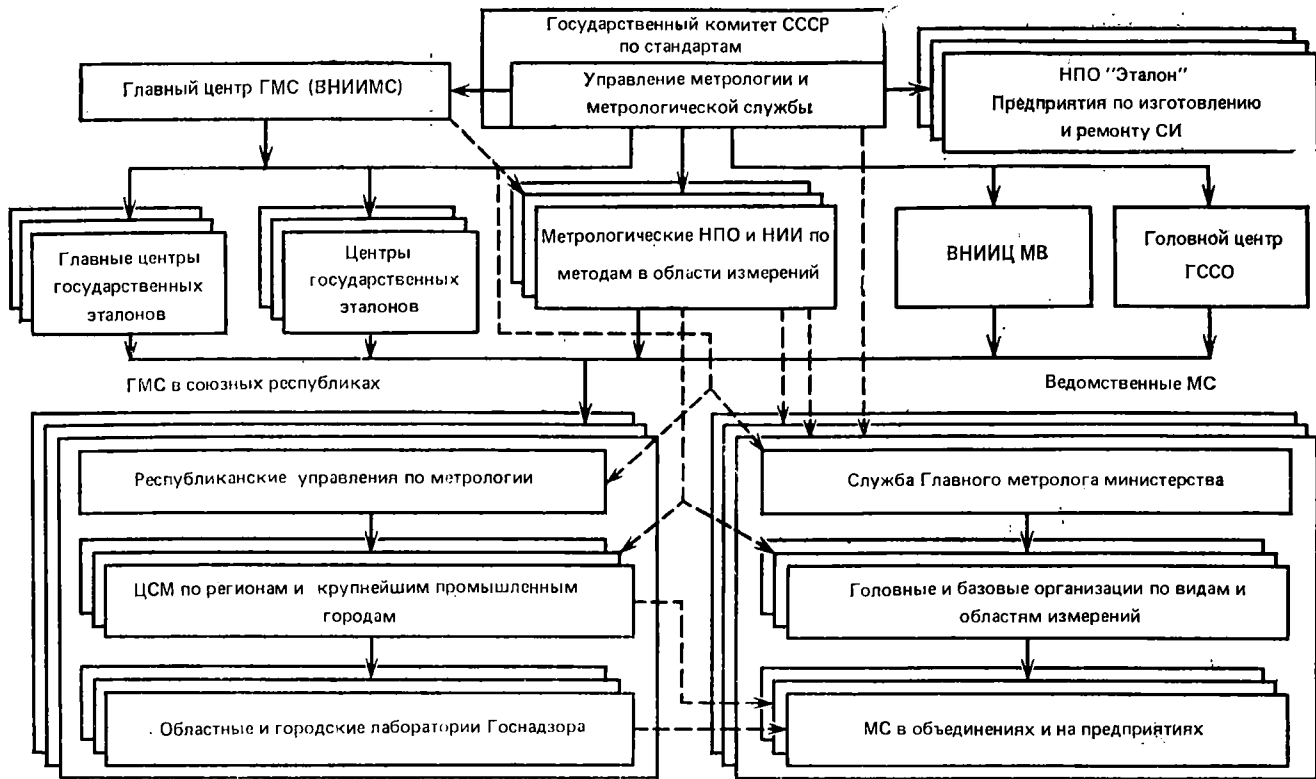


Рис. 1.11

(ВНИИМИУС) в составе НПО «Система» и Всесоюзный НИИ автоматизации средств метрологии. Центры государственных эталонов обеспечивают выполнение работ по совершенствованию МО отраслей народного хозяйства, закрепленных за ними по видам измерений. Для отрасли связи по областям измерений наиболее близки: ВНИИФТРИ — измерение времени, частоты, радиотехнические и акустоэлектрические измерения, измерения ионизирующих излучений, в области квантовой электроники и физико-механических свойств материалов, а также ХГНИИМ — исследование формы и спектра радиотехнических сигналов, частотных характеристик, параметров оптических квантовых генераторов, СНИИМ — измерение электрических и магнитных полей на высоких и сверхвысоких частотах слабых электромагнитных полей, больших постоянных и переменных токов.

Всесоюзный научно-исследовательский центр по материалам и веществам (ВНИЦ МВ) — общесоюзный орган информации по материалам и веществам, включая радиотехнические, информационный центр системы стандартных справочных данных СЭВ. Главный центр стандартных образцов веществ и материалов — головной центр Государственной службы стандартных образцов веществ и материалов (ГССО). Основная задача ГССО — обеспечение единства измерений состава и свойств веществ и материалов путем разработки, производства, аттестации и внедрения стандартных образцов.

В состав органов ГМС в союзных республиках, возглавляемых республиканским управлением Государственного комитета СССР по стандартам, входят: республиканский центр стандартизации и метрологии (ЦСМ), межобластные, автономных республик, краевые, областные и межрайонные ЦСМ.

Органы ГМС в союзных республиках в соответствии с возложенными на них задачами осуществляют анализ состояния измерений и координацию работ по выполнению заданий комплексных программ МО в народном хозяйстве республики, хранение и поддержание на надлежащем уровне рабочих эталонов и исходных ОСИ и передачу размеров единиц ФВ образцовым СИ, находящимся в ведении ГВС и ВМС; государственный надзор за производством, состоянием, применением, ремонтом СИ и соблюдением метрологических правил, требований и норм, за работой ВМС; метрологическую экспертизу проектов важнейших образцов промышленной продукции; государственные испытания и поверку СИ; особо точные измерения, НИР и ОКР, направленные на обеспечение единства и требуемой точности измерений, совершенствование и повышение эффективности методик выполнения измерений, а также организацию подготовки и повышения квалификации метрологов. Таким образом, территориальные органы реализуют в пределах своего региона функции и права Государственного комитета СССР по стандартам.

Государственная МС оснащается эталонной аппаратурой, образцовыми СИ, автоматическими поверочными установками, пе-

редвижными поверочными лабораториями и другими средствами, разработанными в результате НИР и ОКР и внедренными на предприятиях НПО «Эталон», опытных производствах НПО и НИИ Государственного комитета СССР по стандартам. Дальнейшее совершенствование государственной метрологической службы обусловливается ростом требований к МО народного хозяйства и научно-технического прогресса в целом как важного фактора интенсификации экономики, повышения качества продукции и эффективности научных исследований.

**Ведомственная метрологическая служба** создается для выполнения и централизованного руководства работами по обеспечению единства и требуемой точности измерений в отрасли в соответствии с РД-50-54—87 «Типовое положение о метрологической службе министерства (ведомства)». Деятельность ВМС направлена на ускорение научно-технического прогресса, повышение эффективности производства и улучшение качества выпускаемой продукции или иных видов деятельности на подведомственных предприятиях и объединениях путем совершенствования МО. Создается ВМС решением министерства и действует на основании положения, утвержденного руководителем министерства по согласованию с Государственным комитетом СССР по стандартам.

Общая структура ВМС (см. рис. 1.11), головные и базовые организации определяются руководителем министерства на основе учета специфики и объема работ по МО отрасли. Основные направления и содержание деятельности ВМС определяются задачами МО отраслей и рассмотрены выше.

Структура и штаты подразделений ВМС формируются в настоящее время руководителями объединений и предприятий исходя из того, что работы по МО отнесены к основным видам работ, а подразделения ВМС — к основным производственным, научно-исследовательским, конструкторским, проектно-конструкторским или технологическим подразделениям предприятия.

Обязанности и права ВМС, а также головных и базовых организаций, предприятий, несущих метрологическую службу, рассмотрим на примере ВМС Министерства связи СССР.

**Метрологическая служба Министерства связи СССР**, ее основные задачи, структура, обязанности и права ее звеньев определены Положением о метрологической службе Министерства связи СССР, разработанным на основе РД 50-54—87. Структура метрологической службы представлена на рис. 1.12. Работы по МО в системе министерства выполняют: главное научно-техническое управление (ГНТУ) и отраслевые главные управления и управления министерства; министерства связи союзных республик; территориальные производственные объединения; производственные объединения; производственно-технические управления связи (ПТУС), а также предприятия (подразделения), учреждения и организации, входящие в состав управлений и производственных объединений.

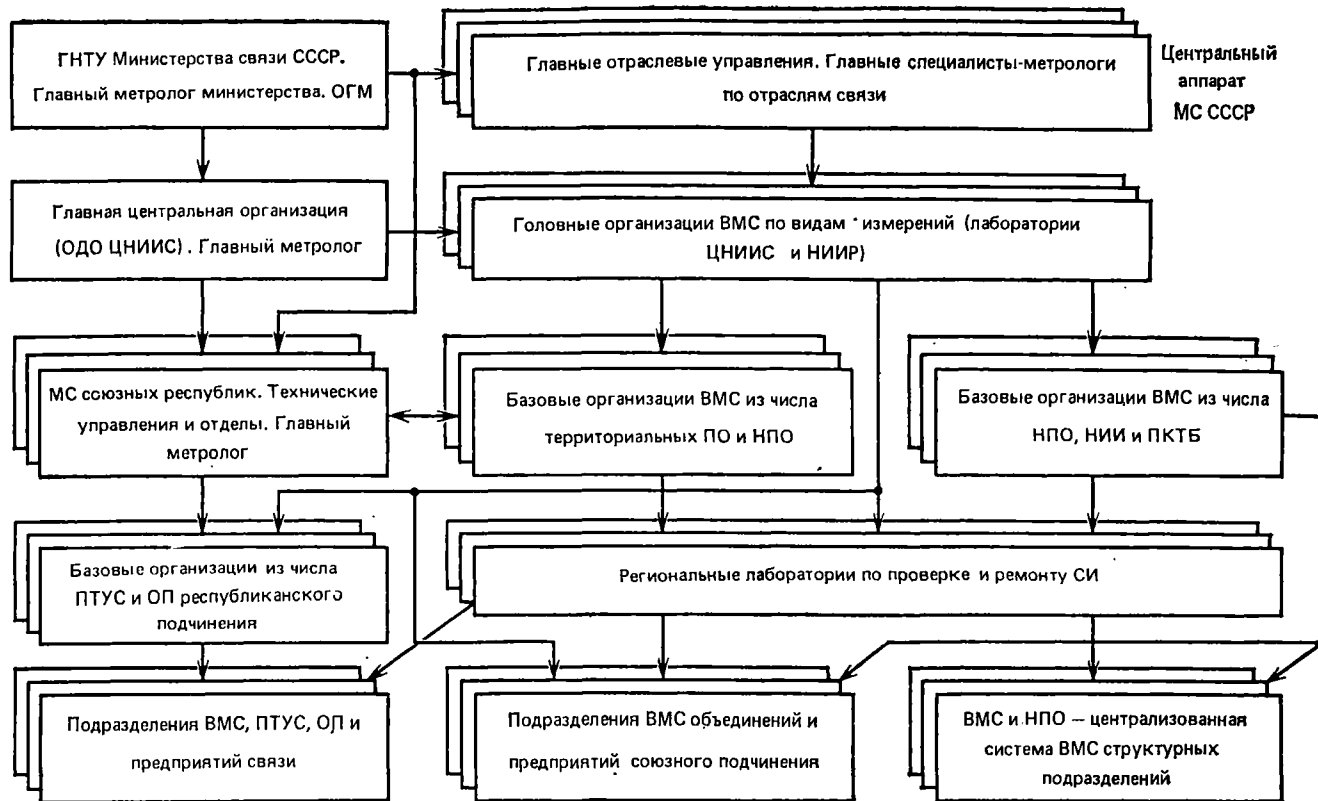


Рис. 1.12

Метрологическая служба министерства включает в себя отдел главного метролога (ОГМ) ГНТУ; лиц, ответственных за работы по МО в отраслевых главных управлениях и управлениях министерства, аналогично в министерствах союзных республик; центральную головную организацию метрологической службы; базовые организации метрологической службы; региональные лаборатории по поверке и ремонту СИ (ЛГН); метрологическую службу управлений и производственных объединений предприятий связи; метрологические службы предприятий (подразделений), учреждений и организаций, входящих в состав управления, производственного объединения.

Организация и структура ВМС Министерства связи СССР (см. рис. 1.12) обусловлены характером и масштабом решаемых задач по МО отрасли и, конечно, особенностями самой отрасли связи. Определяющими факторами являются задачи, решаемые на каждом этапе в соответствии с основополагающими принципами ЕАСС, в частности, организационного и технического единства, пропорционального развития, автоматизации, необходимости проведения единой технической политики.

Отдел главного метролога ГНТУ организует и планирует работы по всем вопросам МО разработки, производства, строительства и эксплуатации средств и сооружений связи и контролирует их выполнение. В главных отраслевых управлениях министерства силами специалистов-метрологов ведутся работы по МО отраслей связи и осуществляется научно-методическое руководство головными организациями ВМС по соответствующим видам измерений. Центральная головная организация координирует работу головных и базовых организаций по обеспечению единства и требуемой точности измерений, повышению уровня и развитию техники измерений, испытаниям и контролю; осуществляет разработку основных направлений, программ и организационных планов по МО в системе министерства. Головные организации осуществляют организационно-методическое и научно-техническое руководство работами по МО разработки, производства, испытаний и эксплуатации закрепленного за ними оборудования связи по отраслям связи. Функции центральной головной организации МС и головной организации МС по отрасли электросвязи выполняет Центральный научно-исследовательский институт связи (ЦНИИС). Функции головной организации в отрасли радиосвязи, радиовещания и телевидения выполняет Государственный НИИ радио (НИИР), в отрасли почтовой связи и распространения печати — специальное проектно-конструкторское бюро (СПКБ). Региональные лаборатории по поверке и ремонту СИ (региональные ЛПР) организуют и проводят работы по обеспечению ведомственной поверки и ремонта рабочих СИ, принадлежащих предприятиям связи. Распространение ЛПР обусловлено тем, что имеющийся парк СИ на предприятиях связи в целом, во-первых, чрезвычайно разнообразен и многочислен, а во-вторых, может относиться к различными группам СИ и видам измерений — от весов и электро-



механических приборов до СИ высшей категории сложности. Однако каждый тип СИ может быть представлен единичными экземплярами. Для большинства СИ узковедомственного назначения специального поверочного оборудования не выпускается. Стоимость же необходимых средств поверки общего применения может во много раз превышать стоимость СИ, и поэтому поверка всех СИ на местах в отрасли связи оказалась нецелесообразной. Получили распространение также многочисленные базовые организации ВМС по всем видам измерений в отрасли. Они и взяли на себя вопросы поверки и ремонта СИ, применяемых на предприятиях и в объединениях.

Метрологические службы объединений, управлений и предприятий связи проводят работу по МО во всех областях их деятельности. Они определяют оптимальную номенклатуру и планомерное внедрение современных средств и методов выполнения измерений, испытаний и контроля, а также обеспечивают повышение эффективности научных исследований, проектных, конструкторских и эксплуатационных работ, объективный контроль качества продукции связи. Для эффективного решения задач МО на всех предприятиях связи с учетом их специфики разрабатываются свои положения о МС, которые должны соответствовать Положению о МС Министерства связи СССР, согласовываться с территориальными органами Государственного комитета СССР по стандартам и утверждаться руководителем предприятия.

## Глава 2. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛОВ И ТРАКТОВ

---

### 2.1. ОСОБЕННОСТИ ЕАСС

Единая автоматизированная сеть связи (ЕАСС) базируется на первичной сети, которая представляет собой общегосударственную сеть типовых каналов и сетевых трактов. Типовые каналы, а в некоторых случаях и типовые сетевые тракты предоставляются вторичным сетям: телефонной, телеграфной, передачи данных, телевизионной и звукового вещания и др. Таким образом, передача сигналов электросвязи всех видов осуществляется по каналам и трактам первичной сети. Эти каналы и тракты образуются с помощью многоканальных систем передачи (МСП), которые состоят из оконечных, промежуточных станций и среды распространения сигналов электросвязи.

Типовой канал тональной частоты (ТЧ) и типовые сетевые тракты образуют иерархическую лестницу (канал ТЧ, первичный сетевой тракт и т. д.), в соответствии с которой каналообразующее оборудование оконечных станций МСП формирует группы

каналов (канальных сигналов), предназначенные для передачи по соответствующим трактам: первичную (12-канальную), вторичную (60-канальную), третичную (300-канальную) и четверичную (900-канальную) группы каналов. Сформированные каналобразующим оборудованием группы канальных сигналов передаются на оборудование сопряжения, которое преобразует их в линейный сигнал с параметрами, определяемыми средой распространения данной МСП. Линейный сигнал передается на оконечное оборудование линейного тракта (ЛТ) и далее поступает в среду распространения, например в проводной кабель. В оконечном и промежуточном оборудовании ЛТ осуществляются необходимая коррекция и усиление сигналов или их регенерация (восстановление). Приемный тракт оконечной станции содержит оборудование, осуществляющее обратные функции: преобразование линейного сигнала в сигналы унифицированных групп каналов, понижение иерархии сигнала разьединением групп каналов вплоть до отдельных каналов ТЧ.

Совокупность нескольких ЛТ и средств, обеспечивающих их нормальную работу и техническое обслуживание, называется *линией передачи*. В зависимости от среды распространения линия передачи носит то или иное название, которое распространяется и на систему передачи. Наибольшее распространение на первичной сети ЕАСС в настоящее время имеют проводные линии симметричного и коаксиального кабелей (КЛС), радиолнии — радиорелейные линии прямой видимости, тропосферные и спутниковые радиолнии. Внедряются волоконно-оптические системы передачи (ВОСП), значительный объем информации передается по проводным линиям прежнего поколения — воздушным линиям связи (ВЛС).

Первичная сеть ЕАСС подразделяется по территориальному признаку на *местную, зоную и магистральную*. Местные первичные сети ограничиваются обычно территорией города или сельского района. Типовые каналы различных местных сетей в пределах зоны, которая ориентировочно по территории может совпадать с областью, соединяются между собой трактами зоновой первичной сети. А типовые каналы и тракты зонowych сетей соединяются между собой в пределах территории всей страны каналами и трактами магистральной первичной сети. Все соединения каналов и трактов осуществляются на сетевых узлах и станциях, которые в зависимости от принадлежности называются *местными, зонowymi или магистральными*. Каналы и тракты вторичным сетям, как правило, предоставляются на местных сетевых узлах или станциях и только в виде исключения на зонowych или магистральных.

Среди различных систем передачи, применяемых на первичной сети ЕАСС, выделяются кабельные системы, обеспечивающие наиболее высокое качество передачи информационных сигналов. Наибольшее значение среди них имеют МСП с частотным разделением каналов (МСП с ЧРК), работающие по коаксиальному кабелю, такие, как К-1920п и К-3600 (1920- и 3600-канальные). Для

магистральной первичной сети подготавливается к производству новое семейство МСП с ЧРК для коаксиального кабеля: К-1800, К-5400 и К-10800. Для зонавых связей используется 120-канальная система передачи К-120; готовятся к производству системы передачи для зонавой сети типа К-480, также работающие по коаксиальному кабелю.

На первичной сети используются и системы передачи прежних поколений. Такими, например, являются системы передачи по воздушным линиям связи В-12-3 (12-канальная) и В-3-3(с) (3-канальная), сохранившиеся на местных и зонавых первичных сетях. На магистральной и зонавых сетях часто встречается 60-канальная система передачи К-60п, работающая по симметричному кабелю. Эффективность существующих симметричных кабелей можно повысить заменой двух из восьми работающих по нему систем К-60п одной, специально разработанной для этой цели 1020-канальной системой передачи К-1020с.

В связи с ростом обмена сигналами в цифровой форме получают распространение цифровые системы передачи с импульсно-кодовой модуляцией (ЦСП ИКМ), использующие принцип временного разделения каналов (ВРК). Для работы на местных сетях предназначена ЦСП ИКМ-30, позволяющая организовать до 30 каналов ТЧ, на внутризонавых связях — ИКМ-120 и ИКМ-480, а на магистральной сети — ИКМ-1920. Цифровые системы передач высших ступеней иерархии образуются на базе низших; их каналобразующее и группобразующее оборудования являются унифицированными. По мере роста числа ЦСП рационально будет осуществлять постепенную замену существующих типовых сетевых трактов типовыми цифровыми сетевыми трактами: первичными (скорость передачи 2048 кбит/с), вторичными (8448 кбит/с), третичными (34368 кбит/с) и четверичными (139264 кбит/с). Типовому каналу ТЧ при этом соответствует основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с. Существует возможность вводить сигналы типовых сетевых трактов в типовые цифровые тракты.

Помимо кабельных систем передачи на первичной сети применяются средства радиосвязи: радиорелейные, тропосферные и спутниковые системы передачи. В первую очередь их используют для двусторонней связи с труднодоступными и удаленными районами и для передачи в эти районы программ телевизионного и звукового вещания.

На местных сетях используются ВОСП, начинается их внедрение на магистральной сети связи. Волоконно-оптические системы передачи организуют типовые цифровые тракты, преимущества которых наиболее полно проявляются при использовании каналобразующего оборудования цифровых систем передачи с импульсно-кодовой модуляцией.

Успешное функционирование ЕАСС возможно лишь при широком применении измерительной техники, являющейся основой современных методов контроля и определения необходимых элект-

рических параметров систем передачи. Развитие измерительной техники в отрасли связи происходит параллельно с развитием технических средств связи на основе современных достижений метрологии.

Измерительные задачи в области электросвязи чрезвычайно разнообразны: это и обеспечение высокого качества НИР и ОКР по созданию новой аппаратуры, внедрение новой техники, обеспечение эксплуатации аппаратуры. Техническое обслуживание аппаратуры связи, находящейся в эксплуатации, сводится к выполнению трех видов работ: контролю соответствия характеристик и параметров аппаратуры установленным нормам (допускам); профилактическому обслуживанию; ремонту аппаратуры.

## 2.2. СТРУКТУРА КАНАЛОВ И ТРАКТОВ МСП

Каналы и тракты МСП имеют два полюса для ввода информационного сигнала и два — для его вывода. Поэтому в общем случае каналы и тракты могут рассматриваться как четырехполюсники, теория и методы исследования которых хорошо разработаны. Однако при этом обязательно должны учитываться следующие их особенности.

Во-первых, параметры и характеристики, контролируемые электрическими измерениями, дают только лишь *косвенную оценку качества* передачи информации; *прямая оценка качества* получается в результате статистических методов обработки результатов наблюдений за передачей реальных информационных сигналов. Поэтому нормы на электрические параметры и характеристики каналов и трактов, а также методы их измерений постоянно уточняются и дорабатываются по мере накопления результатов прямых исследований качества передачи информации и совершенствования методов электрических измерений; числовые значения норм, приведенные ниже, следует рассматривать как ориентировочные.

Во-вторых, каналы и тракты имеют значительную протяженность, что, с одной стороны, заставляет внимательно относиться к измерению параметров и характеристик, связанных с конечным временем распространения передаваемых сигналов, а с другой — учитывать зависимость допустимых значений измеряемых величин от абсолютной протяженности данного канала или тракта. К этому следует добавить организационные трудности измерений на протяженных объектах, например, невозможность использования для сравнения на приемном конце канала или тракта неискаженного исходного измерительного сигнала.

В-третьих, в состав измеряемого канала или тракта, как правило, входит очень большое число функциональных узлов, каждый из которых в той или иной степени влияет на значение исследуемого параметра или характеристику. Это обстоятельство существенно усложняет задачу анализа результатов измерений, например, при поисках неисправности в тракте. Надо учитывать,

что параметры отдельных узлов изменяются во времени и если эти изменения происходят в течение периода измерений, то полученные результаты могут иметь недопустимо низкую достоверность.

Наконец, в-четвертых, необходимо учитывать особенности преобразования сигналов в каналах и трактах, образованных системами передачи, построенных по тому или иному принципу. Так, например, для трактов МСП с ЧРК характерен сдвиг по частоте спектра исходного сигнала, в то время как в трактах ЦСП ИКМ это явление отсутствует принципиально.

Все эти особенности, за исключением первой, становятся очевидны при рассмотрении структуры каналов и трактов МСП. На рис. 2.1 представлена упрощенная структурная схема части МСП с ЧРК, емкостью более 300 каналов ТЧ. На рисунке левые точки А — окончания каналов ТЧ, в зависимости от типов коммутационного оборудования вторичной сети они могут быть как 2-, так и 4-проводными. Контрольные измерения обычно осуществляются на 4-проводных окончаниях. Точки Б, В, Г соответствуют окончаниям первичных (12-канальных), вторичных (60-канальных) и третичных (300-канальных) трактов; комплекс оборудования, находящийся между точками А и Г и состоящий из индивидуальных преобразователей ИП, преобразователей первичных групп ПГ и вторичных групп ВГ, называется *каналообразующим оборудованием* КО. Группы каналов, сформированные каналообразующим оборудованием, передаются на *сопрягающее оборудование* СО параметров типовых групповых трактов с параметрами линейного тракта МСП данного типа. Станционное оборудование ЛТ подразделяется на оконечное ОО и промежуточное ПО и предназначается главным образом для компенсации потерь и искажений, которые претерпевают линейные сигналы в направляющей среде, например на кабельном участке.

На базе типовых групповых трактов могут образовываться соответствующие сетевые тракты и широкополосные каналы. Это иллюстрируется схемой образования первичного сетевого тракта (рис. 2.2). На рисунке точка 3 — начало группового первичного тракта, соответствует точке В рис. 2.1. Групповой первичный тракт начинается и заканчивается комплектом преобразователей первичных групп КП ПГ. Сетевой первичный тракт образуется из группового подсоединением к последнему комплектов образования сетевого первичного тракта КОТ ПГ, которые содержат устройства ввода и вывода контрольных сигналов КС, развязывающие устройства для подключения измерительной аппаратуры Изм, корректоры частотных искажений и запирающие фильтры, подавляющие на передаче участки спектра информационного сигнала, совпадающие с частотами контрольных сигналов, а на приеме — препятствующие попаданию контрольных сигналов в оконечную приемную аппаратуру. Если на базе сетевого тракта образуется широкополосный канал, то к окончаниям тракта (в точках 2) подключают комплекты каналоформирующего оборудования КФО, которое

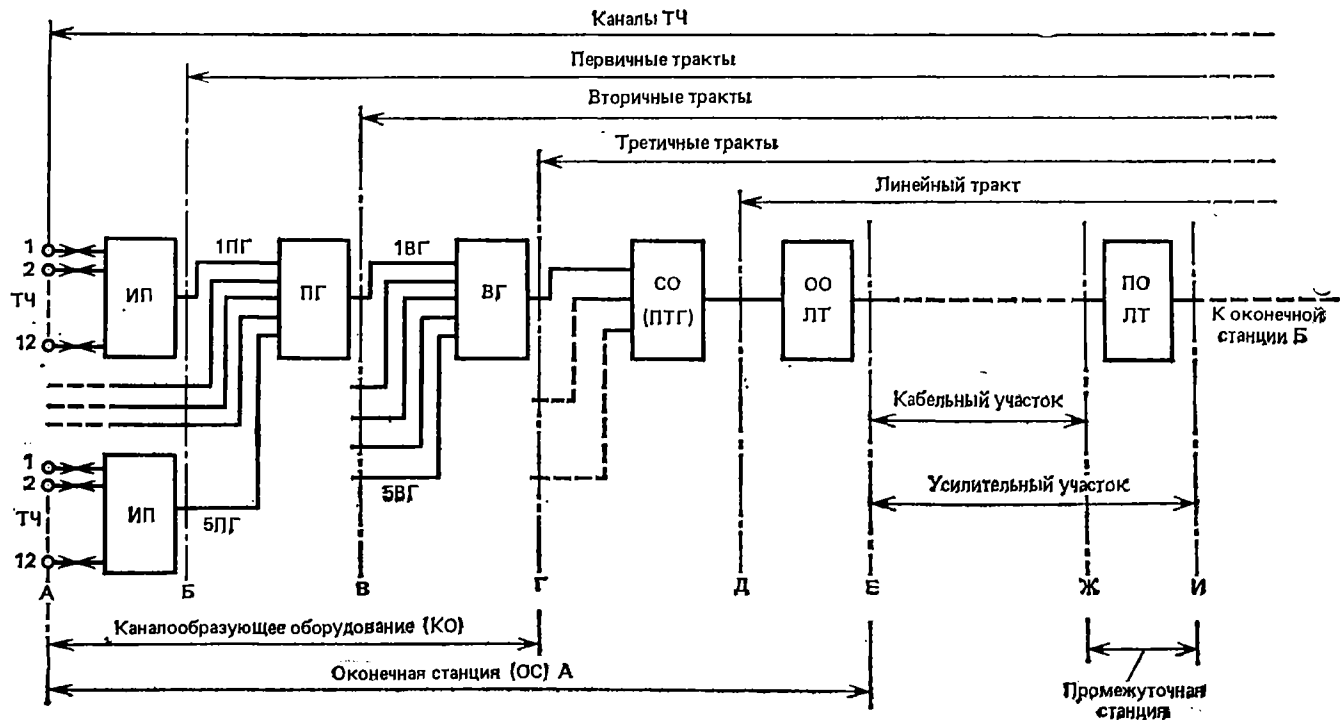


Рис. 2,1



содержит полосовые фильтры формирования спектра канала, устройства ограничения амплитуд, дополнительные корректоры линейных искажений и др. Тракт, схема которого приведена на рис. 2.2, является составным, так как в пункте В имеется транзитное соединение, осуществляемое с помощью комплекта транзитного оборудования КТО. Состав этого оборудования в основном повторяет состав оконечного оборудования широкополосного канала и тракта (комплекты КОТ и КФО) [4].

Как отмечалось выше, параметры и характеристики каналов и трактов зависят от их протяженности, а также от числа транзитных соединений. Максимальная протяженность типовых сетевых трактов и канала ТЧ стандартизирована, определено также максимально допустимое число переприятий (транзитов) по той или иной группе. Для наглядности эти параметры и характеристики представляют в виде номинальных цепей каналов и трактов. В качестве примера на рис. 2.3 приведена номинальная цепь каналов ТЧ страны. На рисунке изображено максимально допустимое число преобразований как индивидуальных, так и групповых на участках канала, соответствующих местным, зонавым и магистральной сетям, и указаны максимальные протяженности этих участков. Так, участок местной сети может иметь максимальную длину 100 км, передача на нем может осуществляться с помощью МСП, образующей вторичные групповые тракты (допускающей преобразование первичной группы). На участке местной сети допускается один переприем (транзит) по тональной частоте, т. е. канал ТЧ местной сети может состоять из двух простых каналов ТЧ, соединенных транзитом. На участке зонавой сети переприемы по ТЧ вообще недопустимы, разрешаются лишь переприемы по первичной группе и т. д. Предельная протяженность канала ТЧ страны может достигать 13 900 км, в том числе за счет магистрального участка — 12 500 км; в канале может быть осуществлено максимально десять транзитов по ТЧ, т. е. канал может состоять максимально из 11 простых каналов ТЧ.

Линейные тракты МСП с ЧРК образованы обычно на коаксиальных кабелях. В качестве примера рассмотрим структуру линейного тракта МСП с ЧРК типа К-3600. На рис. 2.4 показано размещение в ЛТ усилительных станций различного типа. Здесь применяются обслуживаемые ОУП и необслуживаемые НУП, НУП-Р, НУП-К усилительные пункты. Последние получают напряжение питания дистанционно с обслуживаемых или оконечных

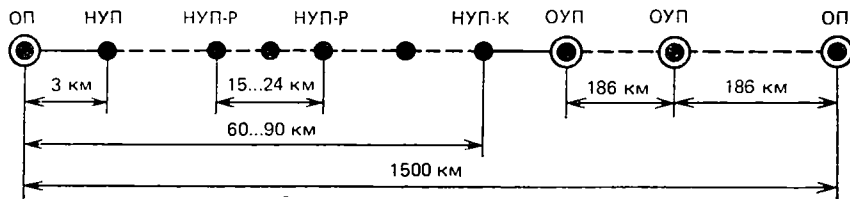


Рис. 2.4



пунктов (станций) ОП. Расстояние между ОУП или ОУП и ОП (длина секции дистанционного питания) составляет 186 км; расстояние между ОП (длина простого линейного тракта, т. е. без преобразований спектра сигналов) может достигать 1500 км. Основные НУП устанавливаются на расстоянии 3 км друг от друга или от других станций, регулирующие НУП-Р — на расстоянии 15...24 км друг от друга в зависимости от климатической зоны, где расположена данная линия передачи, а корректирующие НУП-К — в 60...90 км друг от друга.

Затухания кабельных участков и усиление усилительных пунктов характеризуют *диаграммой внешних уровней* — графиком, показывающим распределение уровней (измерительных) на входах и выходах усилительных пунктов при подаче на вход тракта измерительного сигнала определенной частоты и мощности.

Главным элементом основного НУП является линейный усилитель с частотно-зависимым коэффициентом усиления, позволяющий компенсировать затухание кабельного участка длиной 3 км при температуре грунта +8°C. Усилитель имеет только установочную регулировку усиления, которая используется в процессе настройки магистрали, если длина кабельного участка отличается от номинальной. Таким образом, при сезонных изменениях температуры грунта, а значит, и изменениях затуханий кабеля изменяются не только входные измерительные уровни НУП, но и выходные, что очень важно при определении некоторых параметров ЛТ.

Через 5—8 усилительных участков устанавливается регулирующий пункт НУП-Р. Кроме функций основного НУП, в нем осуществляется автоматическое регулирование усиления (АРУ) по изменению уровня основной контрольной частоты (КЧ) 18,432 МГц (АРУ по КЧ) и с помощью температурных датчиков, размещенных в грунте (ТАРУ). Они создают предрегулирование усиления при сезонных изменениях температуры примерно на половину расстояния между НУП-Р, АРУ по КЧ компенсируют температурные изменения затухания предшествующих участков и погрешности ТАРУ.

Корректирующие пункты НУП-К устанавливаются примерно на каждом 20-м участке. Кроме устройств, размещаемых на НУП-Р, НУП-К имеют устройства коррекции, регулировка которых осуществляется в процессе настройки магистрали.

Промежуточные ОУП осуществляют более точную компенсацию изменения затухания кабеля предшествующего участка и коррекцию погрешностей АРУ необслуживаемых пунктов с помощью АРУ по трем контрольным сигналам. На обслуживаемом пункте осуществляется также более точная установочная коррекция частотной характеристики тракта между обслуживаемыми пунктами. Обслуживаемые усилительные пункты выполняют ряд функций, обеспечивающих нормальную эксплуатацию ЛТ: подачу на НУП дистанционного питания, контроль за состоянием усилителей НУП и т. д. Оконечные пункты по сравнению с ОУП содержат также

устройства предвыскажения (на передаче) и компенсации предвыскажения (на приеме) уровней передачи ЛТ, что необходимо для выравнивания помехозащищенности каналов, занимающих различные участки линейного спектра системы передачи.

Ввиду высоких экранирующих свойств коаксиальных кабельных пар ЛТ этой и подобных систем передачи строится по однополосной четырехпроводной однокабельной системе, т. е. в каждом направлении передачи используется одна и та же полоса частот (для системы К-3600 — от 720 до 19942 кГц), передаваемая по своей коаксиальной паре, причем пары обоих направлений размещаются в одном и том же кабеле.

Существует большое число линейных трактов МСП с ЧРК, организованных по многопарному (чаще всего четырехчетверочному) симметричному кабелю. Если раньше по этому кабелю организовывались исключительно ЛТ 60-канальных систем передачи, то теперь часто одну из четверок кабеля занимают для организации ЛТ (одного направления) 1020-канальной системы типа К-1020с, для чего снимают ранее ее занимавших два ЛТ 60-канальной системы. Как и по коаксиальному кабелю, ЛТ организуются здесь по однополосной четырехпроводной схеме, но не одно-, а двухкабельной (противоположные направления передачи располагаются в разных кабелях для ослабления между ними взаимного влияния). Другим отличием этих линейных трактов от трактов на коаксиальном кабеле является установка устройств АРУ на каждом усилительном пункте.

Небольшое число кабельных систем передачи имеет ЛТ, образованные по двухполосной схеме. Такой системой, например, является система К-120, используемая на зонной сети. Она предназначена для однопарного коаксиального кабеля типа ВКПАП, поэтому двухполосная схема оказывается вынужденной. Интересно то, что здесь для усиления сигнала в обоих направлениях используется один и тот же усилитель ЛУС (рис. 2.5), причем автоматическое регулирование его усиления осуществляется по контроль-

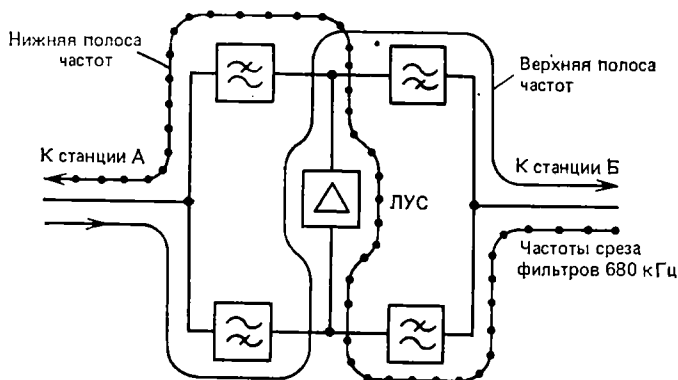


Рис. 2.5

ному сигналу, передаваемому в направлении верхней полосы линейного спектра. Отсюда неизбежно изменение уровней передачи нижней полосы на выходах усилительных пунктов при изменении температуры кабеля.

На местных и зонавых сетях еще сохранились системы передачи, работающие по воздушным линиям связи. Их ЛТ также строятся по двухполосной двухпроводной схеме из-за невозможности обеспечить необходимую защищенность от взаимных влияний между отдельными физическими цепями. Другими характерными особенностями этих трактов являются: высокий уровень атмосферных и промышленных помех и большие пределы изменения затухания участков воздушных линий под воздействием изменения погодных условий. Эти особенности являются причиной того, что каналы и тракты, организованные с помощью МСП для воздушных линий связи, не отвечают всем требованиям Международного консультативного комитета по телефонии и телеграфии (МККТТ),

По мере внедрения ЦСП ИКМ на первичной сети будет образовываться все больше цифровых трактов. На рис. 2.6 представлена структурная схема ЦСП ИКМ емкостью до 1920 ОЦК. Сравнивая эту схему со схемой МСП с ЧРК (см. рис. 2.1), видим, что здесь также оборудование оконечной станции можно подразделить на каналообразующее КО, сопрягающее СО и оконечное линейного тракта ОО ЛТ. Каналообразующее оборудование содержит оборудование аналого-цифрового и цифроаналогового преобразований АЦП и ЦАП, а также временного образования первичных, вторичных, третичных и четверичных групп ПВГ, ВВГ, ТВГ и ЧВГ, с помощью которого создаются цифровые потоки информации, соответствующие цифровым трактам той или иной ступени иерархии. В СО происходит преобразование униполярного двухуровневого кода группового сигнала в линейный код, определяемый сре-

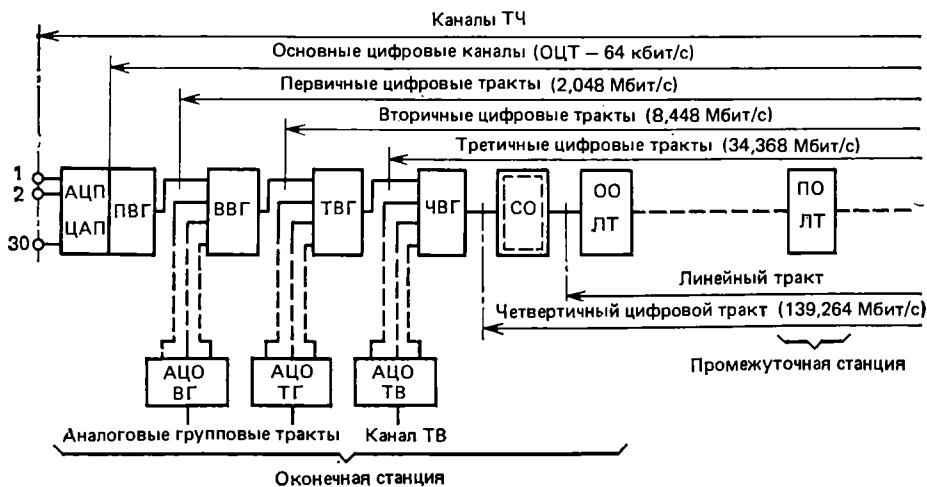


Рис. 2.6

дой распространения для данной ЦСП. Главными устройствами ОО ЛТ (а также и промежуточного ПО ЛТ) являются регенераторы, обеспечивающие восстановление временных соотношений в линейном сигнале после прохождения его по направляющей среде.

Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи позволяют осуществлять преобразование аналоговых сигналов (например, речевых) в цифровые и обратно. С помощью этих преобразователей организуются типовые каналы ТЧ на базе ОЦК, а также аналоговые типовые групповые вторичные и третичные тракты. Вторичный групповой тракт (60-канальный) образуется на базе трех первичных цифровых трактов ( $2048 \times 3 = 6144$  кбит/с), т. е. вместо 90 ОЦК, а третичный (300-канальный) — на базе трех вторичных цифровых трактов ( $8448 \times 3 = 25\,344$  кбит/с), т. е. вместо 360 ОЦК. На базе трех третичных цифровых трактов может быть образован широкополосный канал телевизионного вещания со звуковым сопровождением ( $34\,368 \times 3 = 103\,104$  кбит/с или 1440 ОЦК).

Линейные тракты ЦСП ИКМ, так же как и линейные тракты МСП с ЧРК, обычно образуются по проводным кабелям связи. Однако иногда для образования этих трактов используются радиосистемы передачи (РСП) или ВОСП. В некоторых РСП для передачи по линейному тракту образуется группа каналов или трактов, отличная от унифицированных групп МСП с ЧРК или ЦСП ИКМ.

Наибольшее распространение из радиосистем получили радиорелейные системы передачи прямой видимости (РРСП), а также тропосферные (ТРСП) и спутниковые (ССП) системы передачи. На рис. 2.7 показана структурная схема радиосистемы передачи. Сопрягающее оборудование СО образует из типовых каналов группу, предназначенную для передачи по радиосистеме. Это оборудование устанавливается на сетевых станциях или сетевых узлах. На станцию РСП сигналы этой группы передаются по проводной соединительной линии СЛ, так как станции РСП обычно территориально удалены от сетевых станций и узлов. В радиосистемах передачи используется двойное преобразование группового сигнала: в оконечном оборудовании линейного тракта ОО РСП осуществляется одна из помехоустойчивых разновидностей модуляции сигнала промежуточной частоты (ПЧ), например частотная (ЧМ). Модулированный сигнал ПЧ передается на оконечное

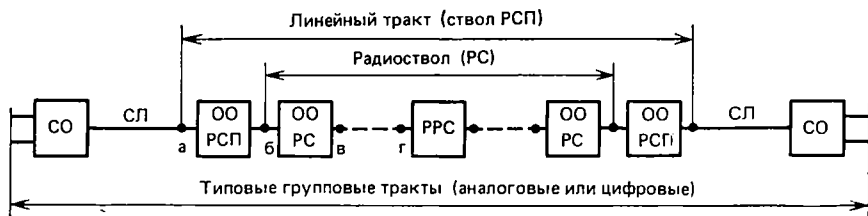


Рис. 2.7

оборудование радиоствола ОО РС — радиопередатчик, где осуществляется однополосная амплитудная модуляция (ОБП) несущего СВЧ колебания. Затем СВЧ сигнал излучается в направлении приемника на противоположном конце радиоствола, где осуществляются обратные преобразования: сначала в модулированный сигнал ПЧ, а затем в групповой сигнал исходного вида. Для компенсации потерь при распространении СВЧ сигнала в радиостволе могут устанавливаться ретрансляционные пункты РРС того или иного вида, в том числе и спутниковые.

На рис. 2.8 более подробно представлена структура участка линейного тракта (см. точки *a*—*b* на рис. 2.7). Групповой сигнал (аналоговый или цифровой) поступает на соответствующее оконечное оборудование АОО или ЦОО передающей части тракта, где осуществляется модуляция сигнала ПЧ. Сигналы ПЧ, модулированные различными групповыми сигналами, через оборудование автоматического резервирования стволов ОАРС подаются на те или иные передатчики СВЧ и далее через оборудование объединения стволов ОС и оборудование совмещения передачи и приема С Пер-Пр направляются в антенну и излучаются в направлении следующей (приемной) станции. Прохождение принимаемых сигналов СВЧ очевидно из рис. 2.8 и специальных пояснений не требует.

Между оконечными станциями могут размещаться ретрансляторы. Обобщенная схема ретранслятора активного типа (имеющего автономные источники энергии) показана на рис. 2.9. Возможно построение ретрансляторов трех типов: по полосе частот исходного группового сигнала (точки *b* соединены), по сигналу ПЧ (точки *b* соединены) и по СВЧ сигналу (соединены точки *a* или *a'*). Наиболее простым является ретранслятор по сигналу СВЧ прямого усиления (соединены точки *a*), который может при-

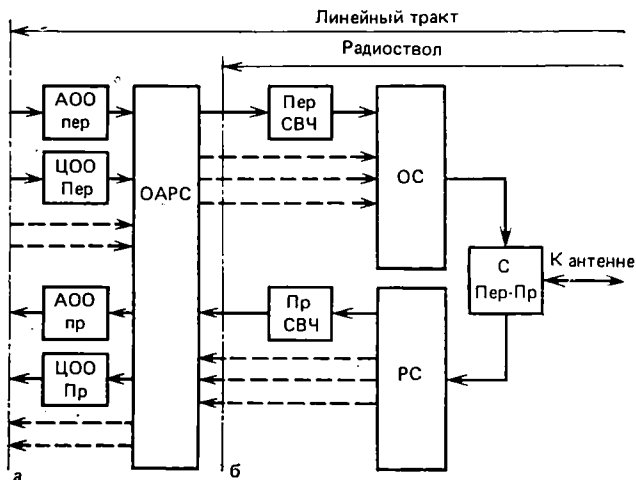


Рис. 2.8

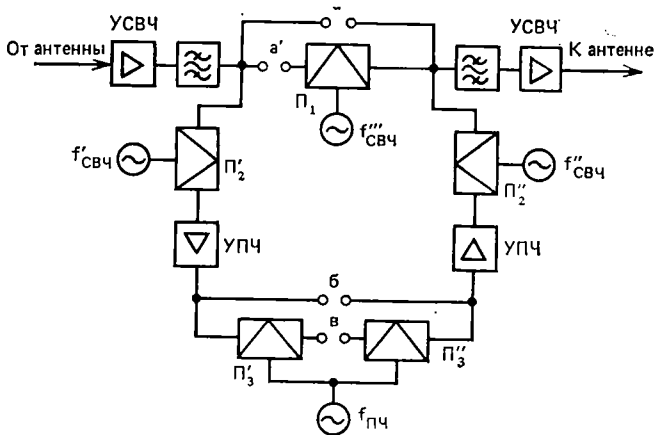


Рис. 2,9

меняться в качестве бортового. Во избежание самовозбуждения из-за паразитной обратной связи между приемной и передающей антеннами в тракт СВЧ вводится преобразователь  $\Pi_1$  (точки  $a'$  соединены), с помощью которого осуществляется перенос принимаемого спектра в другую область (в соответствии с планом частот системы передачи), в которой и работает передатчик ретранслятора. Усиление сигналов здесь осуществляется СВЧ усилителями УСВЧ.

Ретранслятор по сигналу ПЧ (точки  $b$  соединены) позволяет более точно осуществлять коррекцию характеристик радиотракта и легко выделять на ретрансляционной станции информационные сигналы из тракта. Преобразование принимаемых СВЧ сигналов в сигналы ПЧ и обратное преобразование осуществляется преобразователями (амплитудными модуляторами)  $\Pi'_2$  и  $\Pi''_2$  и генераторами несущих частот  $f'_{свч}$  и  $f''_{свч}$ . Усиление и коррекция сигналов ПЧ осуществляются усилителями УПЧ. Наконец, преобразование сигнала ПЧ в исходный групповой и обратно (с помощью преобразователей  $\Pi'_3$  и  $\Pi''_3$ ) позволяет создавать ретранслятор по исходному групповому сигналу (точки  $v$  соединены). Очевидно, что такой ретранслятор наиболее сложен, но в нем, во-первых, можно производить наиболее точную коррекцию транслируемых сигналов и, во-вторых, осуществлять (при наличии соответствующей оконечной аппаратуры) ввод и вывод части (или всех) информационных сигналов на уровне типовых каналов или сетевых трактов.

С помощью ВОСП, которые начали внедряться на первичной сети ЕАСС, образуются исключительно типовые цифровые тракты, которые, конечно, могут быть использованы и для передачи аналоговых сигналов (при наличии соответствующей аппаратуры — см. рис. 1.4). Оконечное оборудование линейного тракта ВОСП представляет собой оптические полупроводниковые излучатели, приемники и устройства их сопряжения со световодным волокном. Излучение пе-

редатчика модулируется групповым цифровым сигналом, как правило, по интенсивности. Промежуточные регенераторы построены по принципу преобразования оптического линейного сигнала в электрический групповой, и его переизлучение в оптическом диапазоне после коррекции и регенерации выполняется обычными методами, применяемыми на проводных ЦСП ИКМ.

### 2.3. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА ТЧ И ТИПОВЫХ СЕТЕВЫХ ТРАКТОВ

Параметры и характеристики канала ТЧ, первичного, вторичного и третичного сетевых трактов сложились исторически как трактов, предназначенных, прежде всего, для передачи аналоговых информационных сигналов. Эти параметры и характеристики определены в настоящее время государственным стандартом. Условно их можно разделить на следующие группы: параметры входа и выхода канала или тракта; параметры и характеристики остаточного затухания; параметры и характеристики, связанные с изменением фаз передаваемых сигналов; параметры, определяющие уровень помех.

К ним можно добавить некоторые специфические параметры, например, определяющие качество передачи сигналов дискретной информации и др. Рассмотрим перечисленные параметры подробнее.

**Параметры входа и выхода канала или тракта**, прежде всего, определяют степень согласованности входного и выходного сопротивлений с сопротивлениями внешних цепей: внутренним сопротивлением источника передаваемых сигналов и сопротивлением нагрузки тракта. Предполагается, что сопротивления внешних цепей  $R_0$  действительны и постоянны в рабочем диапазоне частот данного тракта. Поскольку для большинства видов передатчиков информации важно лишь абсолютное значение отраженного сигнала в точках соединения тракта с внешними цепями, а значение фазы отраженного сигнала интереса не представляет, допустимые отклонения входного и выходного сопротивлений от номинального  $R_0$  определяют, нормируя значение *коэффициента отражения*  $\delta$  или *затухания несогласованности*  $A_\delta$ , дБ:

$$\delta \geq \left| \frac{Z_{\text{тр}} - R_0}{Z_{\text{тр}} + R_0} \right|, \quad A_\delta \leq -20 \lg \delta,$$

где  $Z_{\text{тр}}$  — полное входное или выходное сопротивление данного канала или тракта.

Для уменьшения взаимных влияний между трактами станционную проводку внешних цепей вторичных и третичных трактов осуществляют коаксиальными распределительными кабелями, внешние проводники которых соединяются с общим проводом аппаратуры систем передачи. Таким образом, входы и выходы вторичных и третичных трактов несимметричны относительно общего провода аппаратуры. В диапазоне частот канала ТЧ и первичного тракта

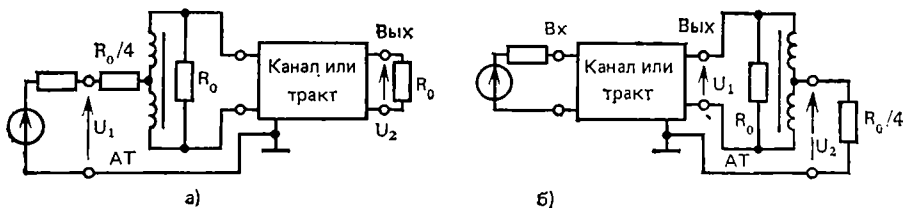


Рис. 2.10

экранирующее действие внешнего проводника коаксиального кабеля невелико. Поэтому стационарную проводку внешних цепей канала ТЧ и первичного тракта делают симметричным распределительным кабелем. Взаимные влияния между парами этих кабелей достаточно слабы, если их симметрия не нарушается при подсоединении к каналу или тракту. Это заставляет нормировать затухание асимметрии  $A_{ac}$  по входу и выходу канала ТЧ и первичного тракта, определяемое по формуле  $A_{ac} = 20 \lg (U_1/U_2) - A_r$ , в которой напряжения  $U_1$  и  $U_2$  найдены с помощью устройств, схемы которых показаны на рис. 2.10,а (для  $A_{ac}$  по входу канала или тракта) и рис. 2.10,б (для  $A_{ac}$  по выходу канала или тракта). При определении  $A_{ac}$  по входу затухание  $A_r$  принимается равным разности уровней измерительного сигнала на входе и выходе тракта, а при определении  $A_{ac}$  по выходу —  $A_r$  принимается равным нулю. На рис. 2.10  $R_0$  — номинальное входное (выходное) сопротивление данного канала или тракта, АТ — измерительный автотрансформатор с симметричными обмотками.

Следует отметить, что вход и выход канала ТЧ трансформаторные, т. е. гальванически развязаны между собой и со всеми функциональными узлами канала.

Численные значения параметров входа и выхода канала ТЧ и сетевых трактов сведены в табл. 2.1, там же даны частоты, на которых осуществляется измерение тех или иных параметров.

**Параметры и характеристики остаточного затухания  $A_r$** , которое может быть определено как разность входного и выходного измерительных уровней в канале или тракте, разнообразны. Прежде всего следует отметить установочную норму остаточного затухания

Таблица 2.1

Вид тракта	Параметр			
	$R_0$ , Ом	Частоты измерений $\delta$ , кГц	$A_{ac}$ , дБ	Частота измерения $A_{ac}$ , кГц
ТЧ	600	0,3; 1,0; 3,4	$\geq 43$	1,02
Первичный	150	62; 83; 92; 106	$\geq 43$	83,92
Вторичный	75	315; 408,08; 549	Входы и выходы трактов несимметричны	
Третичный	75	814; 1555,92; 2040		

Примечание. Для всех трактов  $\delta \leq 10\%$ .



хания и стабильность его во времени. Установку остаточного затухания осуществляют на частотах, рекомендованных для того или иного тракта; погрешность установки  $\pm 0,1$  дБ для сетевых трактов и  $\pm 0,5$  дБ для канала ТЧ. Во времени наблюдаются случайные отклонения  $A_r$  от номинального значения, которые распределены по нормальному закону. Такое распределение объясняется множеством факторов, действующих независимо друг от друга на функциональные узлы аппаратуры систем передачи. К ним относятся изменения уровней несущих частот, что, в свою очередь, влияет на рабочее затухание преобразователей спектра, и температуры окружающей среды, что также влияет на рабочее затухание преобразователей и, кроме того, на усиление индивидуальных усилителей приема. Заметное влияние на усиление этих усилителей, а значит и на остаточное затухание канала ТЧ, оказывает также изменение напряжения питания аппаратуры. Безусловно, на величину остаточного затухания канала ТЧ оказывает влияние и изменение остаточного затухания ЛТ, на базе которых этот канал организован. В табл. 2.2 приведены значения входного и выходного измерительных уровней  $L_{1вх}$ ,  $L_{1вых}$ , остаточного затухания  $A_r$  канала ТЧ и частота  $f_{уст}$ , на которой осуществляется их установка. Кроме того, в таблице содержатся параметры, характеризующие нестабильность  $A_r$  во времени:  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение,  $\Delta A_{r\text{ ср}}$  — отклонение среднего значения от номинального,  $\Delta A_{r\text{ max}}$  — максимальное отклонение, определенное с вероятностью 0,95. Параметры нестабильности даны для простого канала ТЧ (без переключений по ТЧ). Если же канал ТЧ состоит из  $n$  простых каналов, то параметры  $\sigma$ ,  $\Delta A_{r\text{ ср}}$  и  $\Delta A_{r\text{ max}}$  — увеличиваются в  $\sqrt{n}$  раз.

В табл. 2.2 приведены также аналогичные параметры сетевых трактов. Особенностью трактов является наличие в их приемной части устройств АРУ, погрешность работы которых и определяет нестабильность остаточного затухания. Поэтому значения параметров  $\sigma$ ,  $\Delta A_{r\text{ ср}}$  и  $\Delta A_{r\text{ max}}$  не зависят от числа простых трактов, из которых составлен данный тракт.

В рабочем диапазоне частот канала ТЧ и сетевых трактов допускается определенная неравномерность остаточного затухания (его увеличение или снижение относительно установочного значе-

Таблица 2.2

Вид тракта	Параметр						
	$L_{1вх}$ , дБм	$L_{1вых}$ , дБм	$A_r$ , дБ	$f_{уст}$ , кГц	$\sigma$ , дБ	$\pm \Delta A_{r\text{ max}}$ , дБ	$\pm \Delta A_{r\text{ ср}}$ , дБ
ТЧ	-13	+4	-17	0,8	1	2,2	0,5
Первичный	-36	-23	-13	83,92	0	—	0,5
Вторичный	-36	-23	-13	408,08	0,5	—	0,5
Третичный	-36	-23	-13	1555,92	0,5	—	0,5

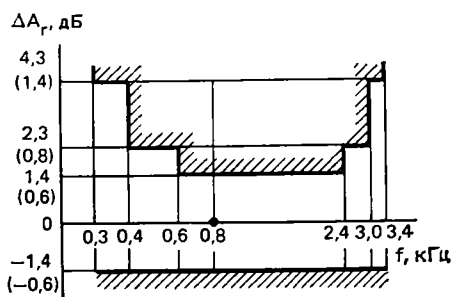


Рис. 2.11

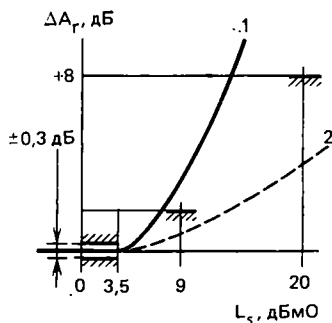


Рис. 2.12

ния на частоте  $f_{уст}$ ). На рис. 2.11 приведен шаблон для частотных характеристик неравномерности остаточного затухания магистрального участка канала ТЧ, состоящего из пяти простых каналов ТЧ. Частотная характеристика данного канала соответствует норме, если все точки ее лежат внутри незаштрихованной области шаблона. Допустимая неравномерность частотной характеристики остаточного затухания канала ТЧ уменьшается при уменьшении числа простых каналов, составляющих данный канал. Нормы на простой канал ТЧ также приведены на рис. 2.11 (значения в скобках). Частотная характеристика  $\Delta A_r$  должна быть достаточно плавной; это обеспечивается нормой, по которой два значения остаточного затухания на частотах, отстоящих одна от другой менее чем на 200 Гц, могут отличаться не более чем на 2 дБ.

Форма шаблона допустимых частотных характеристик неравномерности остаточного затухания определена в конечном счете физическими явлениями, сопровождающими изменение  $A_r$  в канале ТЧ. Дело в том, что при организации двухпроводного окончания канал ТЧ приобретает свойства системы с паразитной обратной связью, устойчивость которой снижается при снижении остаточного затухания. Таким образом, отрицательные отклонения остаточного затухания повышают вероятность самовозбуждения канала, которое одинаково опасно на любых частотах передаваемого сигнала. Это обстоятельство и заставляет устанавливать нижнюю границу отклонения  $\Delta A_r$  частотно-независимой.

Повышение остаточного затухания снижает громкость приема телефонных сигналов, а также ухудшает разборчивость и натуральность речи. При этом наибольшее воздействие оказывает увеличение затухания в той частотной области, где чувствительность слуха наибольшая. Это и определяет форму верхней границы допустимого отклонения  $\Delta A_r$  — приблизительно обратную форму частотной характеристики чувствительности слуха.

Частотные характеристики остаточного затухания типовых сетевых трактов должны быть плоскими во всем рабочем диапазоне частот. Поскольку, как уже отмечалось, в трактах устанавливаются устройства АРУ, то на частотах вблизи частоты контрольного

Таблица 2.3

Вид тракта	$\Delta f_{\text{раб}}$ , кГц	$\Delta f_{\text{кч}}$ , кГц	$\Delta A_{\text{г.т}}$ , дБ
Первичный	60,6 ... 107,7	83,95 ... 84,6	$\pm 1,6$
Вторичный	312,3 ... 551,4	411,7 ... 412,3	$\pm 2$
Третичный	812,6 ... 2043,7	1547,7 ... 1556,6	$\pm 2$

Примечание. Для всех трактов  $\Delta A_{\text{г.т}} = \pm 1$  дБ.

сигнала затухание тракта из-за установки в нем запирающих фильтров резко возрастает. В табл. 2.3 приведены данные о рабочих диапазонах частот трактов ( $\Delta f_{\text{раб}}$ ), области действия запирающих фильтров ( $\Delta f_{\text{кч}}$ ), величины допустимой неравномерности остаточного затухания при его установке ( $\Delta A_{\text{г}}$ ) и при изменении во времени ( $\Delta A_{\text{г.т}}$ ). Заметим, что неравномерность остаточного затухания определяется относительно значений, приведенных в табл. 2.2. Наличие в трактах устройств АРУ позволяет нормы, приведенные в табл. 2.3, использовать как для простых трактов длиной до 2500 км, так и для составных, длина которых может достигать 12 500 км.

В состав каналов и трактов входят функциональные узлы, обладающие нелинейными свойствами. Прежде всего, это ограничители амплитуд, устанавливаемые в начале канала или тракта для защиты от сигналов, напряжение которых по каким-либо причинам, например из-за ошибок пользователя, превышает допустимое значение. Определенной нелинейностью функций передачи характеризуются, как известно, усилители и преобразователи спектров, а также некоторые другие функциональные узлы. Это приводит к тому, что остаточное затухание каналов и трактов оказывается зависимым от уровня передаваемых сигналов, иными словами, каналы и тракты обладают нелинейной амплитудной характеристикой. На рис. 2.12 изображен шаблон, с помощью которого можно оценить соответствие норме амплитудной характеристики простого канала ТЧ, и для примера приведены характеристики, отвечающая (кривая 1) и не отвечающая (кривая 2) норме. Амплитудная характеристика измеряется в рабочем диапазоне частот канала ТЧ (0,3 ... 3,4 кГц); величина  $\Delta A_{\text{г}}$  определяется как разность установленного на данной частоте остаточного и измеренного затуханий. Уровни измерительного входного сигнала  $L_5$ , указанные на рис. 2.12, приведены к точке с нулевым относительным уровнем (ТНОУ); иными словами, они равны приращениям измерительного уровня, которые необходимо обеспечивать на входе данного канала в процессе измерений.

При рассмотрении рис. 2.12 замечаем, что на первый взгляд качество передачи должно быть лучше по каналу, амплитудная характеристика которого не отвечает норме (кривая 2), так как в нем наблюдается меньшее изменение остаточного затухания при

прочих равных данных. Действительно, это так, но, как показывает опыт эксплуатации, такой канал резко увеличивает вероятность перегрузки групповых устройств системы передачи, что отрицательно сказывается на качестве других каналов. Таким образом, правая часть амплитудной характеристики должна по возможности приближаться к характеристике ограничителя амплитуд (иметь возможно большую крутизну нарастания).

Неравномерность левой квазилинейной части амплитудной характеристики (до  $L_5 = +3,5$  дБм) допускается большей для составных каналов ТЧ. Значение допустимой неравномерности для составного канала (с учетом его колебания во времени) может быть подсчитано по эмпирической формуле  $0,5 \sqrt{p}$ , дБ, где  $p$  — число простых каналов, образующих данный составной канал.

Линейность квазилинейной части амплитудной характеристики определяется также коэффициентом нелинейных искажений в канале ТЧ. Значение этого коэффициента в простом канале ТЧ не должно превышать 1,5% (в том числе 1% по 3-й гармонике) при подаче на вход простого или составного канала синусоидального сигнала частотой 1020 Гц и с номинальным измерительным уровнем.

Амплитудная характеристика простого сетевого тракта должна быть квазилинейной (с точностью до  $\pm 0,3$  дБ) при превышении входным сигналом сигнала с измерительным уровнем на некоторую определенную величину  $\Delta L_{1вх}$ , значения которой равны 24, 26, 28 дБм для первичного, вторичного и третичного трактов соответственно. При дальнейшем увеличении уровня входного сигнала никаких требований к амплитудной характеристике не предъявляется. Амплитудная характеристика измеряется на частотах, являющихся установочными (см. табл. 2.2).

Предполагается, что если амплитудные характеристики сетевых трактов будут отвечать указанным нормам, то тракты обеспечат неискаженную передачу шумоподобных сигналов с равномерным спектральным распределением в рабочей полосе частот, среднечасовые и среднeminутные мощности которых (в ТНОУ) соответствуют уровням  $L$ , также приведенным в табл. 2.4.

Заметим, что канал ТЧ предназначается для передачи сигналов, имеющих среднeminутную мощность в ТНОУ не более 0,5 мВт0 ( $L_{5cp}$  (мин) =  $-3$  дБм0).

Таблица 2.4

L	Вид тракта		
	первичный	вторичный	третичный
$\Delta L_{1 вх}$ , дБм	24	26	28
$L_{5 cp}$ (час), дБм0	1,8	5,6	11,5
$L_{5 cp}$ (мин), дБм0	6,1	7,5	12,1

Нелинейные искажения в сетевых трактах непосредственно не нормируются. Их значения малы и косвенно определяются значениями переходных влияний между каналами и трактами низших порядков, образуемыми на основе данного.

**Фазовые характеристики**

**каналов и трактов** обуславливаются большой протяженностью каналов и трактов первичной сети ЕАСС, а также наличием в них фильтров с крутыми частотными характеристиками затухания. Эти обстоятельства предопределяют большие абсолютные изменения фазы передаваемых сигналов. Однако влияющим на передачу сигналов фактором является не абсолютное значение изменения фазы, а изменение фазы принятого сигнала при изменении его частоты. Поэтому при нормировании параметров каналов и трактов используют величину *группового времени прохождения сигнала* (ГВП), математически представляющую собой первую производную от фазовой характеристики тракта по частоте.

Максимальное значение ГВП в канале ТЧ между наиболее удаленными друг от друга узлами магистральной сети должно быть не более 90 мс, если канал образован наземными системами передачи. При связи через искусственные спутники Земли (ИСЗ) максимальное значение ГВП может достигать 390 мс, из которых 300 мс отводится на космический участок. С ростом абсолютной величины ГВП связано усиление мешающего действия электрического эха в телефонных каналах. Это наблюдается до значений ГВП примерно 100 ... 150 мс, дальнейшее увеличение ГВП приводит, кроме того, к ухудшению, а иногда и к потере разговорного контакта между абонентами. Поэтому абонентов, которым предоставляется канал с космическим участком, обязательно предупреждают об особенностях его использования.

Неравномерность частотной характеристики ГВП свидетельствует о наличии фазочастотных искажений в канале. Поскольку этот вид искажений не влияет на качество телефонной связи, характеристику неравномерности ГВП нормируют только для каналов, предназначенных для передачи иных видов информации (например, дискретной). На рис. 2.13 приведена частотная характеристика максимально допустимой неравномерности ГВП в простом канале ТЧ при трех транзитах по каждому из первичных, вторичных и третичных сетевых трактов. Отклонения ГВП на различных частотах определены относительно значения, измеренного на частоте 1,9 кГц.

В сетевых трактах нормируется отклонение ГВП только на краях рабочего диапазона от минимального значения, определенного в рабочем диапазоне частот. На частотах вблизи полосы задерживания запирающих фильтров устройств АРУ имеет место всплеск неравномерности ГВП, однако он не нормируется. Отклонение ГВП на краях рабочей по-

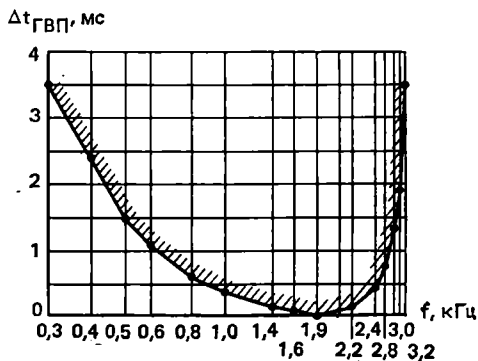


Рис. 2.13

лосы частот тракта от минимального значения заметно возрастает при включении в тракт транзитных фильтров. Поэтому в составных сетевых трактах нормы на соответствующие отклонения ГВП увеличивают пропорционально числам простых трактов, входящих в них, и включаемых в них транзитных фильтров. В табл. 2.5 приведены максимальные допустимые значения отклонений ГВП в простых трактах, увеличение их при включении одного транзитного фильтра, а также частоты, принятые за края рабочих диапазонов, и частоты, ограничивающие область вблизи полосы задерживания фильтров устройств АРУ. Сравнивая диапазоны частот, в которых нормируется неравномерность остаточного затухания (см. табл. 2.4), и неравномерность ГВП (табл. 2.5), замечаем, что последние уже. Это еще раз подтверждает сложность передачи сигналов дискретной информации по аналоговым каналам и трактам, которые формируются обязательно с применением фильтров, преопределяющих в каналах и трактах значительные фазочастотные искажения.

**Помехи в каналах и трактах** образуют следующую большую группу параметров. Наиболее существенными являются *флуктуационные* (шумоподобные) помехи, кроме них в каналах и трактах имеют место *селективные* (моночастотные) и *импульсные* помехи. К помехам также относят *паразитную модуляцию сигнала токами промышленной частоты*. В каналах и трактах могут наблюдаться *внятные переходные помехи* от параллельно работающих каналов и трактов. Наконец, как своеобразную помеху можно рассматривать *кратковременные перерывы связи и скачки уровня сигнала*, которые учитываются аналогично импульсным помехам.

В настоящее время подавляющее число каналов и трактов на первичной сети ЕАСС образуется посредством МСП с ЧРК, в которых флуктуационные помехи определяются *тепловыми и собственными шумами* элементов аппаратуры (прежде всего, усилительных), помехами от *нелинейных переходов* между каналами и трактами, объединяемыми трактом более высокого порядка, и так называемыми *линейными* помехами. Последние характерны для каналов и трактов систем передачи, работающих по параллельным парам симметричного кабеля, где проявляются в виде переходного влияния между каналами и трактами различных систем передачи, и для систем передачи, работающих по воздушным линиям связи, где проявляются в основном в виде помех от атмосферных явле-

Таблица 2.5

Вид тракта	Рабочий диапазон, кГц	Диапазон режесторного фильтра, кГц	$\Delta t_{гвп}$ , мкс, на краях рабочего диапазона	Увеличение $\Delta t_{гвп}$ при одном транзитном фильтре, мкс
Первичный	65 ... 103	82 ... 86	30	85
Вторичный	330 ... 530	405 ... 419	25	25
Третичный	900 ... 1900	1527 ... 1577	15	5

ний и промышленных установок. Помехи от нелинейных переходов возникают в функциональных узлах трактов более высоких порядков, обладающих заметными нелинейными искажениями (в МСП с ЧРК это линейные усилители и преобразователи спектров).

При определении величины флуктуационной помехи в канале ТЧ ее приводят к эффективно действующей на органы слуха «взвешенной помехе». Суть взвешивания заключается в том, что на входе измерительного прибора устанавливается амплитудный корректор, частотная характеристика передачи которого повторяет частотную характеристику системы «телефонный аппарат — слух». Очевидно, что взвешенное значение помехи будет меньше невзвешенного из-за меньшей чувствительности слуха (а значит, и большего затухания корректора) на краях рабочего диапазона частот канала. Значение снижения напряжения для равномерно распределенной по спектру помехи определяется психофизическим коэффициентом, равным 1,33 для полосы частот 0,3... 3,4 кГц. Средняя мощность взвешенной равномерно распределенной по спектру помехи (психофизическая мощность) снижена в  $1,33^2 = 1,77$  раза, а уровень — на  $20 \lg 1,33 = 2,48$  дБ. В размерности величин, определяющих «взвешенную» помеху, вводится буква «п» (психофизическая), например мВт0п, дБп и т. д.

Для помех любого вида, возникающих в каналах и трактах аналоговых систем передачи, характерно явление их накопления, поэтому помехи увеличиваются по мере увеличения протяженности каналов и трактов. Поскольку в подавляющем большинстве источники помех, действующие на различных участках, взаимно независимы, мощность помех нарастает примерно пропорционально увеличению протяженности каналов и трактов.

Средняя за минуту  $P_{ср.м}$ , пВт0п, психофизическая мощность флуктуационных помех на выходе канала ТЧ в точке нулевого относительного уровня, которая не должна быть превышена, подсчитывается по формуле  $P_{ср.м} = AL + P_{ст}$ , где А, пВт0п/км, — коэффициент, который для линейных трактов системы К-3600 равен 1, системы К-1920п 1,5 и для ЛТ радиорелейных систем передачи 3; L, км, — длина канала, а  $P_{ст}$  — мощность помехи, вносимой в канал ТЧ оконечным оборудованием:

<i>Оборудование</i>	<i>Мощность помехи, пВт0п</i>
Транзит ТЧ . . . . .	290
Аппаратура индивидуального преобразования двух оконечных станций . . . . .	150
Аппаратура образования сетевых трактов (ПГ, ВГ, ТГ) двух оконечных станций (каждая ступень) . . . . .	10
Аппаратура первичного преобразования двух оконечных станций . . . . .	30
То же, но вторичного . . . . .	30
Аппаратура третичного преобразования, включая комплекты сопряжения с линейным трактом двух оконечных станций . . . . .	50
Аппаратура транзита ТГ, ВГ, ПГ . . . . .	15
Две оконечные станции РРЛ или транзит в РРЛ по линейному спектру системы передачи . . . . .	250

При длине ЛТ более 500 км коэффициент  $A$  для всех кабельных систем передачи принимается равным 1.

Очевидно, что произведение  $A \cdot L$  представляет собой допустимую величину мощности помехи, вносимой линейным трактом,  $P_{ЛТ}$ . Если сигналы к радиорелейной системе передачи подводятся по кабельным соединительным линиям, названную мощность следует увеличить на 200 пВт0п для аппаратуры «Курс-2м» и «Курс-8», а для аппаратуры «Курс-4» и «Курс-6» — на 300 и 400 пВт0п.

Приведенные значения соответствуют простым каналам ТЧ кабельных и радиорелейных систем передачи. Для сложных каналов допустимая среднeminутная мощность помехи определяется суммами допустимых мощностей входящих в их состав простых каналов.

Следует отметить, что в каналах ТЧ радиорелейных систем передачи допускается превышение указанного значения  $P_{ср.м}$  в течение 20% времени любого месяца, а значения  $(P_{ср.м} + 40\,000)$  пВт0п — в течение 0,1·L/2500% времени любого месяца (L — протяженность канала, км).

Наконец, в простых каналах спутниковых систем передачи значение  $P_{ср.м}$  не должно превышать значения 20 000 пВт0п более чем в 20% времени любого месяца и 50 000 пВт0п более чем в 0,3% времени любого месяца независимо от протяженности канала.

Кроме психофотметрической среднeminутной мощности в канале ТЧ нормируется средняя (за длительный период) невзвешенная мощность. Значения допустимой средней невзвешенной мощности на выходе канала ТЧ той или иной протяженности:

<i>Длина канала, км</i>	<i>Мощность помехи, пВт0</i>
200 ... 2500	17 800
2500 ... 5000	35 600
5000 ... 7500	44 500
7500 ... 10 000	50 600
10 000 ... 12 500	56 400

В сетевых трактах помехи можно измерять или в полосе одного канала ТЧ, или во всей рабочей полосе частот данного тракта. В первом случае предельно допустимое значение среднeminутной мощности помехи на выходе простого тракта в точке с относительным нулевым уровнем рассчитывается так же, как и в канале ТЧ. Отличие заключается лишь в том, что мощность помехи не должна превышать значения  $P_{ср.м} = P_{ЛТ} + P_{ст}$  не только на выходах трактов кабельных систем передачи, но и на выходах трактов как радиорелейных, так и спутниковых систем. Во втором случае для всей полосы тракта допустимое значение среднeminутной мощности невзвешенной помехи, пВт0, подсчитывается как  $P_{ср.м.гр} = Q P_{ср.м}$ , причем коэффициент  $Q$  равен 27,6 для первичного, 138 — для вторичного и 707 — для третичного трактов. Нетрудно заметить, что этот коэффициент приблизительно равен  $K^2_{псоф} \Delta f / \Delta F$ , где  $K_{псоф} = 1,33$  — психофотметрический коэффициент для канала ТЧ,  $\Delta f$  — рабочая полоса частот сетевого тракта, а  $\Delta F$  — эффективно передаваемая полоса канала ТЧ, т. е. он определен в пред-



положении, что спектральное распределение флуктуационных шумов в сетевых трактах равномерное.

Селективные помехи, представляющие собой синусоидальный сигнал или сумму нескольких таких сигналов в простых и составных каналах ТЧ, нормируются следующим образом:

<i>Вид помехи</i>	<i>Уровень помехи, дБм0</i>
От источников питания на любой частоте (50, 100, 150, 200, 250 Гц)	—50
Суммарное значение	—43
От остатков несущих частот:	
4000 Гц	—50
K 4000 Гц (K=2, 3, 4)	—45
От частот вызова:	
в полосе канала ТЧ для каждой частоты	—50
вне полосы канала ТЧ	—38

В сетевых трактах селективные помехи определяются в основном остатками сигналов несущих частот, которые возникают из-за неточности балансировки преобразователей спектра в оборудовании каналообразования и сопряжения, а также прохождением на выход трактов контрольных сигналов линейных и групповых систем АРУ. Наличие этих помех особенно нежелательно при предоставлении трактов для передачи сигналов группы трактов или каналов низшей ступени иерархии, так как названные помехи могут обусловить возникновение между последними внятных нелинейных взаимных влияний. В связи с этим в сетевых трактах строго нормируется каждый тип возможных селективных помех. В табл. 2.6 приведен пример норм, общих для всех (ПГ, ВГ, ТГ) сетевых трактов. Среди них выделяется величина помехи в полосе частот, используемой для передачи сигналов звукового вещания (ЗВ). Это объясняется не только тем, что каналы ЗВ должны обеспечивать высокое качество передачи, но и тем, что селективные помехи, находясь обычно в межканальных промежутках, при объединении каналов ТЧ для организации канала ЗВ оказываются в спектре передаваемого сигнала. Требования на остатки токов отдельных сигналов несущих частот также достаточно высоки, так как возможно появление остатков с практически одинаковыми частотами в каждом комплекте высокочастотного транзитного оборудования, число которых в тракте может достигать нескольких десятков, и суммирование этих остатков по напряжению.

Таблица 2.6

Вид помехи	Простой сетевой тракт (2500 км)	Вид помехи	Составной сетевой тракт (12 500 км)
Остатки токов КС Остаток тока одного сигнала несущей частоты	—45 дБм0	Любая селективная помеха Любая селективная помеха в полосе частот передачи сигнала ЗВ	—26 дБм0
	—50 дБм0		—57 дБм0

Таблица 2.7

Широкополосный канал	Уровень анализа импульсной помехи, дБм0	Длительность действия помехи или пропадаания уровня, мкс
Первичный	-4,1	20
Вторичный	+2,8	4
Третичный	+9,8	0,8

Импульсные помехи и кратковременные пропадаания уровня нормируются по суммарному относительному времени их действия. Так, для каналов ТЧ, а также для всех сетевых трактов длиной  $L$ , км, не предназначенных для организации широкополосных каналов, считается допустимым,

если суммарное относительное время действия импульсных помех, превышающих порог анализа  $-15$  дБм0 длительностью более 500 мкс, и кратковременных пропаданий уровня (снижения уровня более чем на 18... 20 дБ) такой же длительности за часовые отрезки времени не превысит  $6 \cdot 10^{-5} L/12500$ .

Импульсные помехи и кратковременные пропадаания уровня особенно сильно снижают качество при высокоскоростной передаче данных. Поэтому норма на относительное время их действия в широкополосных каналах протяженностью  $L$ , км, образованных на базе сетевых трактов, значительно жестче и составляет  $8 \cdot 10^{-6} L/12500$ . Длительность импульсных помех и кратковременных пропаданий уровня, подлежащих учету, здесь также значительно меньше, но уровень анализа импульсной помехи принимается относительно высоким (табл. 2.7).

В настоящее время разрабатываются комплекты аппаратуры, которые позволят организовать на основе первичной группы каналов МСП с ЧРК два ОЦК с пропускной способностью 64 кбит/с, а на основе третичной группы — два типовых первичных цифровых тракта (ПЦТ) с пропускной способностью 2048 кбит/с каждый. В процессе создания этих блоков выяснилось, что рассмотренные выше нормы на импульсные помехи и кратковременные пропадаания уровня в аналоговых трактах не позволяют обеспечивать параметры типовых цифровых каналов и трактов (параметры цифровых трактов рассмотрены в § 2.3). На сети ведутся работы по выявлению и устранению источников названных помех и пропаданий.

Причинами возникновения импульсных помех и кратковременных пропаданий уровня являются плохие контакты и кратковременные перегрузки ЛТ. Очевидно, что если плохие контакты могут быть устранены, то моменты перегрузки в линейных трактах МСП с ЧРК неустранимы. Следует заметить, что частота возникновения перегрузки резко возрастает при нарушении норм загрузки групповых трактов.

Сильно снижают качество передачи помехи из-за внятных взаимных влияний между однотипными каналами и трактами. Они приводят к утечке передаваемой информации, и, кроме того, их мешающее влияние на передачу практически всех видов сообщений значительно сильнее, чем помех других видов. В современных аналоговых системах передачи причинами возникновения внятных взаимных влияний являются нелинейные искажения в функцио-

нальных узлах трактов более высоких порядков и недостатки экранирования тех частей взаимно влияющих каналов или трактов, где спектры передаваемых сигналов перекрываются, например соединительных кабелей (см. рис. 2.2) между каналоформирующим оборудованием (КФО) и комплектом образования тракта (КОТ).

Защищенность от внятных взаимных влияний между простыми каналами ТЧ, измеренная на частоте 1020 Гц, должна быть не хуже 70 дБ для 90% и 65 дБ для 100% всех возможных комбинаций. Под возможными комбинациями понимаются размещения (в математическом смысле соединения, отличающиеся друг от друга элементами и их порядком) по два из  $N$  однотипных каналов (трактов имеющих на данной оконечной станции (один влияющий, другой подверженный влиянию). Число всех возможных комбинаций, таким образом, может быть определено по формуле  $N!/(N-2)!$ .

В составных каналах ТЧ защищенность от внятных взаимных влияний становится ниже. Так, для сложных каналов ТЧ максимальной протяженности (12 500 км) указанная норма снижается до 58 дБ для 90% и 52 дБ для 100% всех комбинаций. Допустимую защищенность от внятных взаимных влияний встречных направлений одного и того же канала ТЧ, дБ, можно рассчитать по формуле  $55-10 \lg n$ , где  $n$  — число простых каналов.

Аналогично определяется допустимая защищенность от внятных взаимных влияний между однотипными сетевыми трактами. Она должна быть не хуже 78 дБ для 80% и 74 дБ для 100% всех комбинаций на любой из частот рабочего диапазона данных простых трактов; для сложных трактов, состоящих из  $n$  простых, указанные величины снижаются на  $10 \lg n$ , дБ.

Из-за относительно невысокой взаимной защищенности пар симметричного кабеля в системах передачи, работающих на параллельных парах этого кабеля, наблюдаются повышенные внятные влияния между одноименными (однотипными, имеющими одинаковые номера) каналами и трактами. Так, для одноименных каналов ТЧ принятая общая норма для протяженности 12 500 км может выполняться всего лишь на 2500 км. Аналогично снижается норма и для одноименных сетевых трактов систем, работающих на параллельных симметричных кабельных линиях. Здесь защищенность от внятных переходных влияний должна быть всего 58 дБ для 90% и 52 дБ для 100% всех комбинаций при длине трактов 2500 км.

Параллельные цепи воздушных линий также имеют невысокую взаимную защищенность, но внятные взаимные влияния между одноименными каналами не увеличиваются. Это достигается тем, что на системах передачи по воздушным линиям осуществляется комплекс специальных мер, направленных на преобразование внятных взаимных влияний в невнятные. К таким мерам относятся взаимная инверсия и сдвиги линейных спектров частот параллельно работающих систем передачи и некоторые другие. Взаимные влияния между встречными направлениями в системах передачи

по воздушным линиям подавляются применением двухполосной схемы организации линейного спектра, причем в каждой из полос осуществляется передача в одном и том же направлении по каналам всех однотипных систем, работающих параллельно. Однако в системах передачи по воздушным линиям из-за высокого уровня атмосферных и промышленных помех приходится использовать усилители, отдающие в линию значительные мощности и, как следствие, имеющие относительно большие нелинейные искажения. Как уже отмечалось, нелинейность функциональных узлов тракта может привести к появлению внятных взаимных влияний между каналами, организованными с использованием тракта. Поэтому в системах передачи по воздушным линиям все-таки отмечаются повышенные внятные влияния между отдельными каналами ТЧ.

Напряжения питания активных функциональных узлов каналов и трактов содержат переменные составляющие — пульсации, состоящие из гармоник промышленной частоты (вплоть до 400 Гц). Эти составляющие могут попадать на выходы трактов, но сами по себе они не опасны, так как их частоты лежат ниже рабочих диапазонов. Напряжения пульсаций, взаимодействуя с напряжениями передаваемых сигналов на элементах со слабой нелинейностью, как, например, на транзисторах, работающих в режиме усиления, вызывают их паразитную амплитудную модуляцию. Результат этой модуляции воспринимается как специфические нелинейные искажения передаваемых сигналов: на спектр исходного сигнала накладывается ряд таких же спектров, но смещенных относительно исходного на частоты составляющих пульсаций. Защищенность от любых помех, вызванных паразитной модуляцией в канале ТЧ протяженностью 12 500 км, должна быть не менее 50 дБ, причем на ЛТ и преобразовательное оборудование отводятся равные доли мощности составляющей (защищенность от каждой равна 53 дБ). В простом канале ТЧ протяженностью 2500 км (при девяти транзитах ВЧ) защищенность должна быть не хуже 57 дБ. Защищенность от любых помех, вызванных паразитной модуляцией во всех сетевых трактах (ПГ, ВГ, ТГ) длиной 12 500 км, должна быть не менее 50 дБ. Как и в канале ТЧ, здесь полагается, что защищенность в преобразовательном оборудовании и оборудовании ЛТ одинаковая (по 53 дБ). Требуемая защищенность для простых сетевых трактов длиной 2500 км соответственно больше и равна 57 дБ.

**Специфическими особенностями каналов и трактов, организованных с помощью МСП с ЧРК, являются изменение частоты передаваемого сигнала (сдвиг спектра сигнала) и скачки фазы сигнала.** Эти особенности предопределены использованием в данных системах передачи однополосной амплитудной модуляции без передачи сигнала несущей частоты. Такой способ передачи вынуждает восстанавливать несущие сигналы на приеме применением автономных генераторов. Это в результате и приводит к названным особенностям, которые снижают качество передачи, а потому должны быть нормированы.

Изменение частоты передаваемого сигнала вызывается расхождением частот автономных задающих генераторов генераторного оборудования, снабжающего несущими частотами преобразователи спектров, входящие в состав данного канала или тракта. Расхождение частот автономных задающих генераторов вызывается конечной стабильностью во времени генерируемой частоты и является случайным процессом. На этом основании можно предположить, что в каналах или трактах по мере увеличения числа транзитов и, следовательно, увеличения числа автономных задающих генераторов изменение частоты принимаемого сигнала будет нарастать медленнее, чем протяженность каналов или трактов. Это обстоятельство находит отражение в способе нормирования данного параметра (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Протяженность канала (тракта), км	Число транзитов	Изменение частоты, Гц
12 500	49	1,5
2500	9	1
2500	Нет	0,5

Следует заметить, что на качество передачи телефонной информации мало влияет изменение частоты сигнала даже в пределах  $\pm 20$  Гц. Однако это является совершенно недопустимым для передачи сигналов других видов, для которых и определены вышеуказанные нормы.

Отказ в работе задающего генератора МСП с ЧРК приводит к отказу по всем каналам и трактам системы. С целью повышения надежности работы задающего генератора применяют его «горячее» резервирование (резервирование одним или несколькими такими же генераторами, находящимися в рабочем режиме). При переключении генераторного оборудования на резервный задающий генератор происходит скачок фазы передаваемого по каналу или тракту сигнала. Это может привести к сбоям при передаче дискретной информации, поэтому частота скачков фазы нормируется:

<i>Вид тракта (канала)</i>	<i>Минимальное время между скачками фазы, ч</i>
Канал ТЧ	1,5
Первичный	2
Вторичный	2,5
Третичный	3

Указанное время между появлениями скачков фазы в канале ТЧ и сетевых трактах определено в предположении, что они имеют предельное число высокочастотных транзитов — 49. Если же в данном тракте число транзитов равно  $n$ , то указанную норму нужно умножить на  $\sqrt{49/n}$ .

В настоящее время параметры скачков фазы, которые должны фиксироваться, определены только для каналов ТЧ. Порог скачка (минимальное изменение фазы, при котором скачок фиксируется) равен  $15^\circ$  на частоте 1020 Гц,

время удержания нового значения фазы 5 мс и более, скорость изменения фазы в момент скачка не менее 2000 град./с.

Помимо скачков фазы в аналоговых каналах и трактах наблюдаются относительно быстрые периодические колебания фазы (дрожание фазы) принимаемых сигналов, являющиеся, по-видимому, результатом паразитной фазовой модуляции несущих частот флукуационными шумами элементов задающих генераторов. Дрожание фазы, прежде всего, отрицательно сказывается на качестве передачи дискретной информации. На сети проводятся исследования этого явления, однако нормы на параметры дрожания фазы пока еще не установлены. Существует предположение, что диапазон частот дрожания фазы принимаемых сигналов следует ограничить полосой 20 ... 300 Гц, а допустимый размах колебаний принять равным  $1^\circ\sqrt{p}$ , где  $p$  — число ступеней преобразования в данном канале (тракте).

Любой канал ТЧ может быть использован для передачи дискретной информации, поэтому в перечень его параметров введена допустимая величина *коэффициента ошибок*<sup>1</sup> передачи сигналов двоичного кода со скоростью 1200 Бод. Значение коэффициента ошибок в канале ТЧ протяженностью 12 500 км без специальных устройств коррекции и повышения достоверности передачи должно быть не более  $5 \cdot 10^{-5}$ . При длине канала  $L$ , км, предельное значение коэффициента ошибок должно определяться по формуле  $5 \cdot 10^{-5} L/12\,500$ .

**Особенности параметров каналов и трактов, образованных ЦСП ИКМ.** Первичная сеть ЕАСС в настоящее время образована каналами и трактами аналоговых систем передачи (АСП) и является аналоговой первичной сетью. Внедрение в эксплуатацию ЦСП делает возможным создание цифровой первичной сети. Для совместной работы аналоговой и цифровой первичных сетей, как это предусматривается в основных положениях ЕАСС, должны создаваться аналоговые каналы и тракты в цифровой первичной сети и цифровые каналы и тракты в аналоговой. Очевидно, что при этом будут образовываться смешанные каналы и тракты, организованные как цифровыми, так и аналоговыми системами передачи. Очевидно также, что стыки каналов и трактов должны быть нормированы по электрическим параметрам этих каналов и трактов. Некоторые параметры в стыках цифровых трактов рассмотрены в § 2.3. Параметры в стыках аналоговых каналов и трактов в целом должны соответствовать рассмотренным выше, однако некоторые особенности ЦСП заставляют изменять подход к существующим принципам нормирования этих каналов и трактов.

В структуре аналоговых каналов и трактов, образованных ЦСП, отчетливо просматриваются три основные группы устройств: передачи сигналов в цифровой форме, передачи аналоговых сигналов, а также аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Устройства передачи цифровых сигналов состав-

---

<sup>1</sup> Вероятности появления ошибок при приеме псевдослучайных последовательностей. В канал ТЧ последовательности, состоящие из 511 двоичных элементов, подаются через устройство вторичного уплотнения с частотной модуляцией; число фиксируемых ошибок должно быть не менее 10 (при этом обеспечивается погрешность результата не более 50% при доверительной вероятности 0,9). Уровень сигналов, подаваемых в канал ТЧ, не должен превышать —15 дБм0.

ляют основной объем оконечной и промежуточной аппаратуры ЦСП (см. рис. 2.6). В промежуточном оборудовании возникают ошибки при регенерации и фазовые дрожания линейного сигнала, в оконечном — возникают фазовые дрожания при асинхронном объединении цифровых потоков. Ошибки при регенерации в системах с ВРК приводят к появлению щелчков при телефонной связи, в системах передачи группового сигнала (преобразующих аналоговый групповой сигнал в цифровой) — к увеличению флуктуационной помехи в каждом канале. При передаче сигналов телевидения ошибки регенерации приводят к появлению мерцающих точек. Фазовые дрожания во всех случаях вызывает появление флуктуационных помех в каналах. Заметим, что как щелчки, так и помехи, возникающие в цифровом оборудовании, не зависят от передаваемого сигнала, и потому их удобно измерять в «молчащем», незанятом канале или тракте. Помехи незанятого канала увеличиваются с увеличением протяженности связи; это необходимо учитывать при нормировании их допустимой величины. Данные помехи аналогичны флуктуационным и импульсным помехам каналов и трактов АСП.

Устройства аналого-цифрового и цифроаналогового преобразований вносят методические ошибки из-за конечного числа уровней квантования и инструментальные ошибки, определяемые отклонением характеристик преобразователей от номинальных. Методические ошибки приводят к возникновению собственных помех в канале тогда, когда по нему передается сигнал. Величина собственных помех, как правило, увеличивается с ростом уровня сигнала. Собственные помехи определяют теоретический минимальный уровень помех, соответствующий разрядности кода и частоте дискретизации, принятой в данной ЦСП.

Инструментальные ошибки вызываются ограниченным быстродействием, конечной точностью фиксации уровней, влиянием внешних факторов на параметры узлов преобразователей. Эти ошибки также приводят к появлению флуктуационной помехи при наличии передаваемого сигнала. Мощность помех от инструментальных ошибок может достигать 80% мощности помех из-за методических ошибок (помех квантования). Очевидно, что суммарные собственные помехи от протяженности канала или тракта не зависят.

Устройства передачи аналоговых сигналов устанавливаются на входах и выходах каналов и трактов ЦСП и служат для сопряжения ширины частотного спектра и уровня аналогового сигнала с параметрами аналого-цифрового преобразователя. Кроме того, эти устройства обеспечивают необходимый уровень остаточного затухания, входного и выходного сопротивлений и др. В состав этих устройств входят входной и выходной фильтры нижних частот, а также входной и выходной усилители. При передаче аналоговых групповых сигналов к этим устройствам относят и соответствующее оборудование преобразования спектров сигналов.

С учетом сказанного все параметры аналоговых каналов и трактов, организуемых на базе ЦСП, можно условно разделить на четыре группы. В *первую* группу входят параметры, номинальные значения которых такие же, как у каналов и трактов, образованных с помощью АСП; рабочая полоса частот; номинальные уровни передачи и приема; входное и выходное сопротивления; затухание асимметрии; абсолютное значение ГВП.

Иногда предлагают включать в эту группу параметров и частотную характеристику неравномерности ГВП, однако, по мнению авторов, неравномерность ГВП в каналах и трактах, образованных с помощью ЦСП, будет значительно

меньше, и, следовательно, нормы для этих каналов и трактов могут быть установлены существенно жестче.

Ко второй группе относятся параметры, аналогичные соответствующим параметрам каналов и трактов АСП, но в силу специфики ЦСП имеющие иные номинальные значения. Такими параметрами являются: погрешность установочного остаточного затухания; частотная характеристика неравномерности остаточного затухания; амплитудная характеристика; уровень селективных помех; время действия импульсных помех, скачкообразных и плавных кратковременных изменений остаточного затухания; защищенность от внятных взаимных влияний между каналами и трактами.

К третьей группе параметров относят специфические параметры каналов и трактов ЦСП. Важнейшими параметрами этой группы являются уровень собственных помех при передаче сигнала (возникающих из-за методических и инструментальных ошибок устройств аналого-цифрового преобразования) и помех незанятого канала. Кроме того, к этой группе относят такие параметры, как, например, уровень паразитных сигналов на выходе канала, спектр которых находится вне рабочей полосы частот, и некоторые другие.

К четвертой группе параметров относят специфические параметры каналов и трактов АСП, нормирование которых для каналов и трактов ЦСП не имеет смысла из-за отсутствия в ЦСП процессов, определяющих эти параметры. Такими параметрами являются: изменение частоты передаваемого сигнала; скачки и дрожание фазы передаваемого сигнала; паразитная модуляция передаваемого сигнала токами промышленной частоты.

Заметим, что дрожание фазы сигнала, передаваемого по каналу или тракту, образованному с помощью ЦСП, не следует смешивать с дрожанием фазы сигналов в ЛТ ЦСП. Как уже отмечалось выше, последнее явление приводит к появлению в каналах и трактах ЦСП флукуационной помехи.

Рассмотрим нормы на наиболее важные параметры канала ТЧ ЦСП, относящиеся ко второй и третьей группам, и сравним их с аналогичными параметрами канала ТЧ АСП.

Параметры и характеристики остаточного затухания определяются исключительно устройствами индивидуального оборудования и устройствами группового АИМ тракта ЦСП и не зависят от работы ЛТ. В соответствии с этим изменения названных параметров и характеристик во времени относительно невелики, а потому и нормы на них являются более жесткими, чем на соответствующие параметры канала ТЧ АСП. Так, установочная погрешность остаточного затухания для каналов перспективных ЦСП должна быть не более  $\pm 0,2$  дБ, а не  $\pm 0,5$  дБ, как это принято для простого канала ТЧ АСП. Максимальные отклонения остаточного затухания каналов ТЧ перспективных ЦСП должны быть не более:  $\pm 0,2$  дБ — за любые 10 мин;  $\pm 0,5$  дБ — за один год;  $\pm 1$  дБ — в течение срока службы, что существенно меньше нормы для канала ТЧ АСП ( $\pm 2,2$  дБ с вероятностью 0,95).

Частотная характеристика неравномерности остаточного затухания простого канала ТЧ ЦСП должна укладываться в шаблон, показанный на рис. 2.14. Сравнивая этот шаблон с аналогичным шаблоном для канала ТЧ АСП (см. рис. 2.11), видим, что нормы на неравномерность остаточного затухания канала ТЧ ЦСП в 2—3 раза жестче.

Амплитудная характеристика канала ТЧ ЦСП существенно отличается от амплитудной характеристики канала ТЧ АСП. При малых уровнях сигнала, ког-



да нелинейные искажения в каналах АСП незначительны и, следовательно, амплитудная характеристика практически не отклоняется от прямой линии, в каналах ЦСП наблюдаются существенные искажения ввиду соизмеримости уровня сигнала с шагом квантования. Поэтому прямолинейность амплитудной характеристики канала ТЧ ЦСП повышается с ростом уровня сигнала (сравните с шаблоном на рис. 2.12). В соответствии с этим принято, что остаточное затухание канала ТЧ ЦСП может отличаться от номинального на следующие значения при изменениях уровня входного сигнала:

- от  $-55$  до  $-50$  дБм0 не более чем на  $\pm 3$  дБ;
- от  $-50$  до  $-40$  дБм0 не более чем на  $\pm 1$  дБ;
- от  $-40$  до  $+3$  дБм0 не более чем на  $\pm 0,5$  дБ.

При превышении входным сигналом уровня  $3,14 \pm 0,2$  дБм0 канал ТЧ ЦСП перегружается, т. е. его остаточное затухание резко и неограниченно возрастает. Это объясняется тем, что данный входной уровень (и любые превышающие его) соответствует максимальному значению цифровой комбинации, формируемой кодером.

В цифровых трактах систем передачи с ИКМ отсутствует взаимное влияние каналов, поэтому оно определяется лишь качеством экранирования индивидуальных аналоговых устройств и погрешностями работы группового АИМ тракта и оказывается достаточно слабым.

Нормирование собственных помех в канале ТЧ ЦСП, сопровождающих передачу сигнала, не имеет аналога в нормах на параметры канала ТЧ АСП. Эти помехи, как установлено, в значительной степени определяются не только данными аналого-цифрового преобразователя системы передачи, но и характером преобразуемого сигнала. Поэтому эти помехи рекомендуется нормировать для шумоподобного и синусоидального входных сигналов. На рис. 2.15 показаны графики минимально допустимого отношения  $A_{кв}$ , дБ, мощности сигнала к мощности сопровождающих помех при различных уровнях входных шумоподобного (кривая 1) и синусоидального (кривая 2) сигналов.

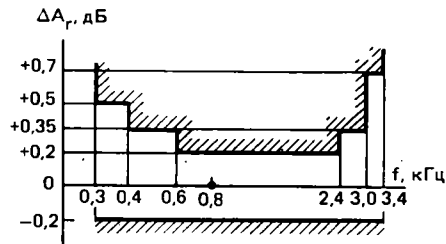


Рис. 2.14

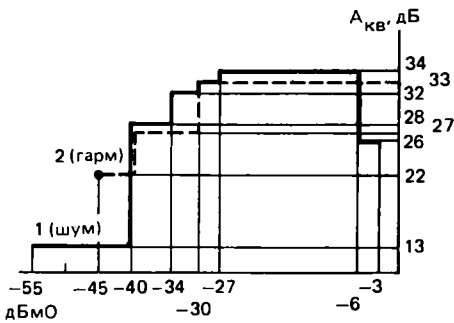


Рис. 2.15  $L_{с,вх}$ , дБм0

Нормы на помехи незанятого канала ТЧ ЦСП находятся в стадии разработки. Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии рекомендует нормировать эти помехи как уровень психофотметрического шума, не превышающий значения —65 дБм0п.

Нормы на параметры вторичных и третичных сетевых трактов (первичный сетевой тракт с помощью ЦСП не образуется) и широкополосных каналов, образованных на базе ЦСП, в настоящее время не разработаны. Временно их считают совпадающими с нормами на соответствующие параметры каналов и трактов АСП. Исключение составляет норма на флуктуационные помехи, которые в данном случае возникают как сопровождающие работу аппаратуры группового кодирования (АЦО, см. рис. 2.6). Считается, что психофотметрическая мощность шума, создаваемая аппаратурой АЦО и измеренная в полосе канала ТЧ, должна быть не более 750 пВт0п и не зависеть от протяженности канала или тракта.

В заключение еще раз отметим, что взаимные влияния между сигналами, передаваемыми по цифровым трактам, не возникают, а групповые аналоговые устройства при организации сетевых трактов и широкополосных каналов с помощью ЦСП не используются. Поэтому не существует норм на защищенность сетевых трактов и широкополосных каналов от взаимных влияний, степень которых в процессе эксплуатации не контролируется.

## 2.4. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНЫХ ТРАКТОВ

Существует много различных типов систем передачи, ЛТ которых отличаются друг от друга как комплексами контролируемых параметров, так и численными значениями одноименных параметров. Однако практически все типы ЛТ можно разделить на четыре характерные группы, внутри которых различия между трактами оказываются непринципиальными. К *первой* группе отнесем линейные тракты МСП с ЧРК, предназначенные для проводных линий. Ко *второй* группе — линейные тракты ЦСП с ИКМ, также предназначенные для проводных линий. В *третью* группу включим линейные тракты ЦСП с ИКМ, но использующие волоконно-оптические линии связи (ЛТ ВОСП). Наконец, к *четвертой* группе отнесем ЛТ, образованные на основе радиостволов (ЛТ РСР).

Линейный тракт МСП с ЧРК, работающей по проводной линии, как уже указывалось, состоит из оконечного и промежуточного станционного оборудования ОО ЛТ и ПО ЛТ и участков проводной линии (см. рис. 2.1), причем ПО может быть разным на различных станциях, например обслуживаемым или необслуживаемым (см. рис. 2.4). Однако практически во всех случаях станционное оборудование выполняет функции, иллюстрированные схемой ЛТ для одного из направлений передачи (рис. 2.16).

В блоке формирования спектра ФС передающего оконечного оборудования линейного тракта ОО ЛТ пер подавляются возможные помехи за пределами спектра линейного сигнала, которые опасны тем, что, увеличивая нагрузку усилителей тракта, снижают их затухание нелинейности. Блок предискажающего коррек-

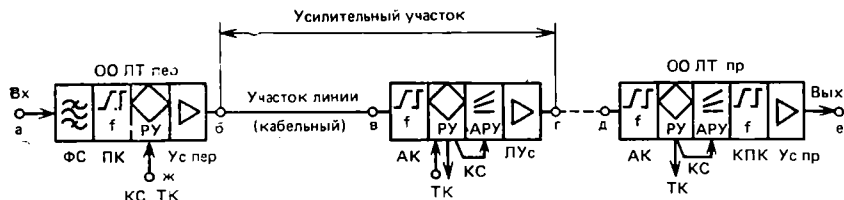


Рис 2.16

тора ПК обеспечивает заданную частотную характеристику уровней передачи по отдельным каналам (предыскажение уровней передачи), необходимую для выравнивания защищенности отдельных каналов от флуктуационных помех. Блок усилителя передачи  $УС_{пер}$  усиливает сигнал, доводя уровни передачи по отдельным каналам до установленных значений. Кроме того, в конечном оборудовании передачи с помощью развязывающего устройства РУ в тракт вводятся сигналы телеконтроля ТК и контрольные сигналы КС, обеспечивающие работу системы АРУ. В промежуточном оборудовании линейного тракта ПО ЛТ происходит компенсация затухания участка линии, для чего предназначены: линейный усилитель ЛУс, устройство АРУ, амплитудный корректор АК линейных искажений и РУ, в котором осуществляется выделение КС для нужд АРУ и ввод — вывод сигналов ТК. Оконечное оборудование приема (ОО ЛТ пр) практически осуществляет те же функции, что и ПО; отличие заключается лишь в том, что здесь посредством корректора, компенсирующего предыскажения КПК, введенные в передающем оборудовании, на выходе ЛТ обеспечиваются одинаковые измерительные уровни по всем каналам.

С учетом процессов приработки аппаратуры на большинство параметров и характеристик ЛТ устанавливаются *настроечные* и *эксплуатационные* нормы, причем настроечные нормы, в свою очередь, часто подразделяют на установочные и сдаточные. Как правило, более жесткими нормами являются установочные, а менее — эксплуатационные.

Важнейшей характеристикой ЛТ является комплект *диаграмм внешних уровней*, представляющих собой графики значений измерительных уровней на входах и выходах оконечного и промежуточного оборудования (в точках *а, б, в, г, д, е* на рис. 2.16). Диаграммы уровней нормируются и измеряются обычно:

- на виртуальной частоте канала ТЧ (совпадающей с нулевой в исходном спектре канала), верхнего в линейном спектре;
- виртуальной частоте канала ТЧ, нижнего в линейном спектре;
- частоте основного контрольного сигнала (основной КЧ).

Поскольку контрольные сигналы обычно отсутствуют на входе и выходе ЛТ, начальной точкой диаграммы уровней в последнем случае считается точка подключения к тракту генератора контрольного сигнала (точка *ж* на рис. 2.16), а последней — вход оконечного приемного оборудования (точка *д* на рис. 2.16).

Отклонение фактической диаграммы уровней от номинальной свидетельствует о нарушениях работы оборудования ЛТ и, как следствие, об ухудшении качества передачи по каналам. Так, положительное отклонение измерительных уровней от уровней верхних точек диаграммы (точек, соответствующих выходам оконечного передающего и промежуточного оборудований) приводит к резкому возрастанию нелинейных искажений в тракте и, следовательно, увеличению взаимных влияний между каналами. Отрицательное отклонение измерительных уровней в нижних точках диаграммы (в точках, соответствующих входам промежуточного и оконечного приемного оборудований) снижает защищенность каналов от собственных помех усилительного оборудования тракта. В результате выхода за установленные пределы измерительного уровня в начале диаграммы (в точке входа тракта) бывает невозможно установить номинальные уровни в верхних и нижних точках диаграммы уровней со всеми вытекающими отсюда последствиями, а неточность установки измерительного уровня в точке выхода тракта может привести к нарушению режимов работы сопрягающего и каналобразующего оборудования, подключенного к данному ЛТ.

Точность установки диаграмм уровней определяется погрешностями коррекции амплитудно-частотных характеристик участков ЛТ и составляет обычно  $\pm (0,4 \dots 0,7)$  дБ. Сдаточные и эксплуатационные нормы относительно установочной снижаются с увеличением числа усилительных участков в данном тракте. При установке и контроле диаграммы уровней следует иметь в виду, что нижние точки диаграммы зависят от сезонных изменений затухания физических цепей, и учитывать это обстоятельство, вводя в нормы соответствующие поправки. Методика этих поправок обычно дается в технической документации конкретной системы передачи.

Последнее обстоятельство, на которое следует указать при рассмотрении особенностей установки точек диаграмм уровней, — значительная частотная зависимость затухания участков тракта. Это заставляет принимать меры, гарантирующие достаточную точность установки частот генераторов измерительных сигналов.

Другим важным параметром ЛТ является *частотная характеристика неравномерности* его остаточного затухания. Величина неравномерности определяется относительно номинальной величины остаточного затухания на частоте, указанной в технической документации на данную систему передачи. Обычно эта частота выбирается близкой к частоте основного контрольного сигнала. Норма на эту характеристику жесткая, неравномерность обычно не должна превышать нескольких десятых долей децибела. Для трактов мощных систем передачи допускается увеличение неравномерности остаточного затухания на частотах, лежащих между диапазонами, занимаемыми типовыми группами каналов, например третичными. Внутри диапазона, занимаемого типовой группой, жесткие нормы на неравномерность остаточного затухания сохраняются. Эти нормы, как и нормы на установку диаграмм

уровней, зависят или от протяженности трактов, или от числа входящих в них усилительных участков, что оговаривается в технических требованиях на оборудование ЛТ.

Обычно на частоте, являющейся опорной для определения частотной характеристики неравномерности остаточного затухания, определяется и амплитудная характеристика ЛТ, представляющая собой зависимость остаточного затухания от уровня входного сигнала. Известно, что амплитудная характеристика линейного тракта МСП с ЧРК близка к амплитудной характеристике идеального ограничителя амплитуд. Поэтому для нее нормируется лишь степень прямолинейности (отклонение от горизонтальной прямой должно быть менее  $\pm 1$  дБ) при превышении номинального входного уровня на определенное значение (например, для системы К-300 на 26 дБ). Для трактов современных мощных систем передачи амплитудная характеристика не нормируется; нормируются лишь амплитудные характеристики станций, входящих в состав ЛТ.

Так же как для любого канала и тракта, для ЛТ нормируется точность согласования входного и выходного сопротивлений с номинальным. Для большинства ЛТ коэффициент несогласованности не должен превышать 10% во всем рабочем диапазоне частот.

Наиболее сложным является определение параметров и характеристик ЛТ, обусловленных наличием в трактах помех того или иного вида. Рассмотрим наиболее часто используемые параметры ЛТ, определяемые помехами.

*Собственные помехи и помехи от внешних источников* (но не от параллельно работающих трактов) определяются как допустимый уровень невзвешенных шумов на выходе ЛТ в полосе частот канала ТЧ. Нормирование этого уровня производится для ТНОУ; мощность нормируемых шумов снижается с увеличением протяженности тракта. Контроль этого параметра часто осуществляют не только на выходе ЛТ, но и на выходах, входящих в его состав обслуживаемых промежуточных станций. Контролируемые уровни могут находиться в пределах  $-90 \dots -60$  дБм0.

*Помехи от параллельно работающих трактов* нормируются как защищенность от переходных влияний (или ослабление переходных сигналов), определяемых для синусоидальных сигналов на различных участках рабочего диапазона частот линейного сигнала. Норма на переходные влияния также устанавливается в соответствии с протяженностью тракта. Уровень измеряемых затуханий может быть очень большой (до 110 дБ), что заставляет тщательно подготавливать измерительную установку.

*Помехи между каналами от нелинейных переходов* определяются косвенно по нелинейным искажениям в тракте. Обычно предписывается проверять нелинейные искажения как всех отдельных станций, входящих в состав данного тракта, так и нелинейные искажения тракта в целом. Очевидно, что в последнем случае допустимые значения нелинейных искажений будут увеличиваться с ростом протяженности тракта (затухания нелинейности по гар-

моникам буду снижаться на десять логарифмов десятичных от отношения протяженности данного тракта к протяженности тракта, для которого нормировано затухание нелинейности). Нелинейные искажения количественно определяются затуханием нелинейности по второй и третьей гармоникам, расположенным на различных участках линейного спектра частот. Как правило, частоты и уровни измерительных сигналов, а также способ измерения (по уровням гармоник или комбинационных частот) указывается в технической документации данного тракта. Для любых линейных трактов МСП с ЧРК затухания нелинейности значительны (до 110 дБ), что предъявляет особые требования к измерительной аппаратуре.

В большинстве случаев рекомендуется измерять психометрическую суммарную мощность помех на выходе ЛТ в полосе частот канала ТЧ. При этом тракт загружается сигналом, эквивалентным линейному групповому сигналу, — шупоподобным измерительным сигналом номинальной мощности, или измерения проводятся в час наибольшей нагрузки (ЧНН) при загрузке тракта реальным сигналом. В последнем случае измерения организуются по методике статистических измерений средней мощности за час. Измерение средней мощности помех в канале осуществляется с учетом того, что определяемая величина может оказаться чрезвычайно малой (порядка  $1 \cdot l$  пВт/оп, где  $l$  — протяженность тракта в километрах). Это обстоятельство должно быть учтено при выборе типов измерительной аппаратуры.

**Линейный тракт ЦСП ИКМ проводной линии** состоит из оконечного и промежуточного оборудования, соединяемого физическими цепями. На рис. 2.6 показаны узлы ЛТ четверичной ЦСП ИКМ; в ней линейный сигнал образуется из сигналов на выходе оборудования четверичного временного группообразования. В общем случае линейный сигнал ЦСП ИКМ той или иной ступени иерархии образуется из сигналов, получаемых от оборудования формирования соответствующей временной группы. Суть образования линейного сигнала заключается в преобразовании кода цифрового потока после унифицированной временной группы в код линейного сигнала на передаче и в обратном преобразовании кода на приеме. В большинстве ЦСП ИКМ, предназначенных для проводных линий, линейные коды и коды, принятые в *точках стыка* цифровых групповых и линейных трактов, совпадают. Это позволяет исключать из состава оконечных станций СО (на рис. 2.6 СО отмечено штриховой линией); начало и конец ЛТ в этом случае совпадают с началом и концом соответствующего сетевого цифрового тракта. При этом и основные параметры линейных трактов ЦСП совпадают с основными параметрами сетевых трактов соответствующей иерархии, определяемыми в *точках стыков*. В СССР принята европейская система иерархии ЦСП. В соответствии с рекомендациями МККТТ для этой системы установлены основные параметры цифровых трактов, приведенные в табл. 2.9. Заметим, что для четверичного тракта в табл. 2.9 указаны дли-

Таблица 2.9

Цифровой тракт	Скорость передачи, кбит/с	Входное сопротивление, Ом	Амплитуда импульса, В	Длительность импульса, нс	Код
Первичный	$2048 \cdot (1 \pm 50 \cdot 10^{-6})$	120 (вход симметричный)	$\pm 3$	244	ЧПИ
Вторичный	$8448 \cdot (1 \pm 30 \cdot 10^{-6})$	75 (вход несимметричный)	$\pm 2,37$	59	ЧПИ или КВП-3
Третичный	$34\,368 \cdot (1 \pm 20 \cdot 10^{-6})$	75 (вход несимметричный)	$\pm 1$	14,55	КВП-3 или КВП-2
Четверичный	$139\,264 \cdot (1 \pm 15 \cdot 10^{-6})$	75 (вход несимметричный)	$+1$	7,18/3,59	Натуральный

тельности логических нуля и единицы соответственно. Заметим также, что для отечественных четверичных ЦСП ИКМ в качестве линейного используется код типа КВП-3; в дальнейшем предполагается использовать многоуровневый код, позволяющий при организации ЛТ объединять, по крайней мере, два сетевых четверичных.

Форма импульсов в точках стыка нормируется шаблоном. На рис. 2.17 показан пример шаблона, нормирующего форму импульсов в точке стыка первичных цифровых трактов; аналогичные шаблоны имеются и для цифровых трактов более высоких ступеней иерархии.

Кроме указанных, для ЛТ ЦСП нормируется еще два параметра — это *коэффициент ошибок и величина фазовых флуктуаций принимаемых импульсов*. Коэффициент ошибок  $K_{ош}$  представляет собой отношение числа ошибочно принятых символов к общему их числу. Поскольку обычно линейные коды представляют собой последовательности импульсов, чередование полярности которых подчинено определенному закону,  $K_{ош}$  удобно определять, подсчитывая число принятых символов (или определяя время измерений), пока число нарушений закономерности, присущей данному коду, не достигнет заданной величины (обычно это число принимают в интервале 10...100). Принято, что предельная величина  $K_{ош}$  не должна превышать  $10^{-6}$ . Легко подсчитать, что при этом время, необходимое для накопления 100 ошибок в ЛТ первичной ЦСП, скорость передачи которой составляет 2048 кбит/с, будет равно  $T_{изм} = 100/2048 \cdot 10^{-3} = 50$  с. Если учесть, что коэффициент ошибок увеличивается примерно пропорционально числу регенераторов, включаемых в тракт, а тракты предельной длины могут содержать несколько десятков регенераторов, то фактически

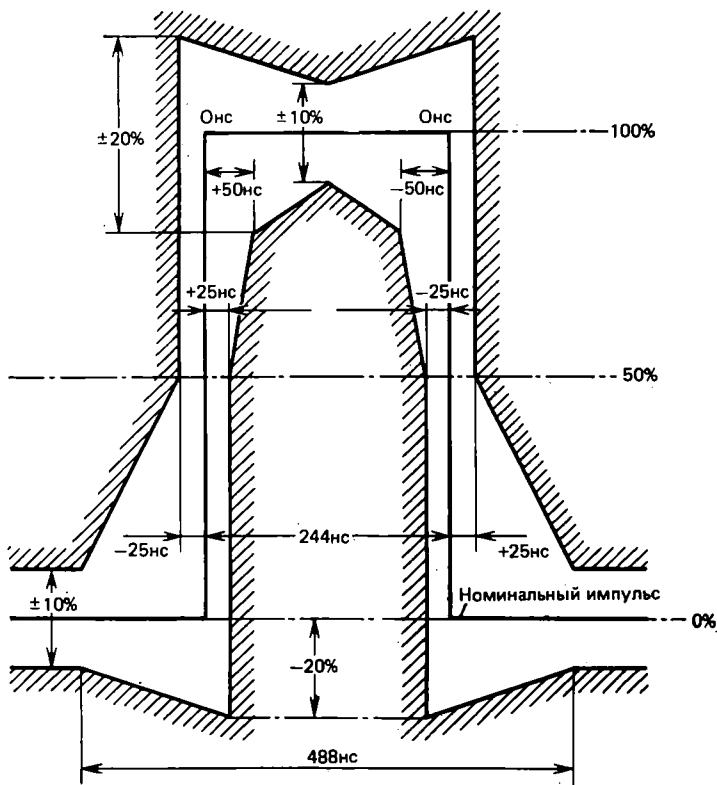


Рис. 2.17

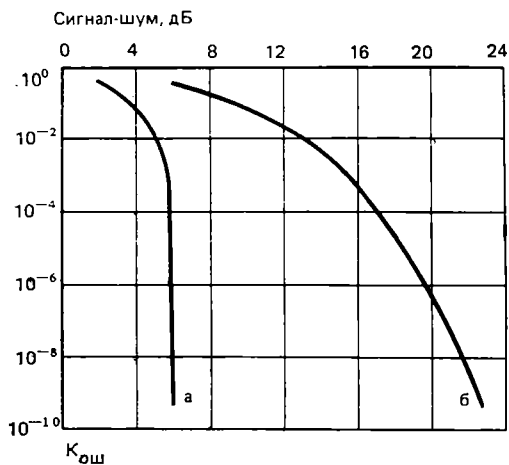


Рис. 2.18

кая величина  $K_{ош}$  для коротких трактов, содержащих 1—2 регенератора, может оказаться порядка  $10^{-10} \dots 10^{-8}$ . Так как при этом время измерения  $K_{ош}$  с достаточной достоверностью увеличивается до нескольких часов и даже суток, то для определения коэффициента ошибок прибегают к косвенным методам. Одним из таких методов является метод определения  $K_{ош}$  регенератора по отношению сигнал-помеха на входе его решающего уст-



ройства (на выходе линейного корректора регенератора). На рис. 2.18 приведены зависимости  $K_{\text{ош}}$  от отношения амплитуды принятого импульса к среднеквадратическому значению помехи, мгновенные значения которой распределены по нормальному закону (кривая *а*), а также к амплитуде помехи, если эта амплитуда детерминирована (кривая *б*). Таким образом, косвенные определения значений  $K_{\text{ош}}$  сводятся к определениям уровня и вида помех, действующих на входе линейных регенераторов.

Величина фазовых флуктуаций соответствует отношению отклонений временных положений принятых импульсов от тактовых точек (их истинных положений) к длительности тактового интервала. Фазовые флуктуации приводят к увеличению  $K_{\text{ош}}$  в ЛТ из-за смещения моментов опознавания импульсов в регенераторах с точек, где правильное опознавание наиболее вероятно (смещения строб-импульсов регенераторов с тактовых точек принятых импульсов). Кроме этого фазовые флуктуации приводят к дополнительным помехам в каналах ТЧ вследствие появления фазовых флуктуаций в АИМ сигнале на выходе декодера и, следовательно, искажения формы принятого сигнала. На рис. 2.19, *а* сплошной линией показан восстановленный сигнал при отсутствии фазовых флуктуаций отсчетов ( $\Delta\tau_i = 0$ ), а штриховой — при наличии флуктуаций ( $\Delta\tau_i \neq 0$ ). На рис. 2.19, *б* приведена разностная кривая между этими сигналами, которая является помехой.

Характер влияния фазовых флуктуаций зависит от частоты относительных изменений начальной фазы импульсов в цифровом сигнале. К увеличению коэффициента ошибок  $K_{\text{ош}}$  приводят в основном высокочастотные флуктуации фазы, частота которых сравнима с тактовой частотой линейного сигнала. По мере прохождения сигнала через регенераторы высокочастотные фазовые флуктуации в нем практически не изменяются, поэтому величина их на выходе тракта оказывается небольшой и на помехи в каналах ТЧ практически не влияет. Низкочастотные фазовые флуктуации (частота которых не превышает частоты дискретизации исходного аналогового сигнала) на величину  $K_{\text{ош}}$  почти не оказывают влияния. Однако они накапливаются по мере прохождения цепи реге-

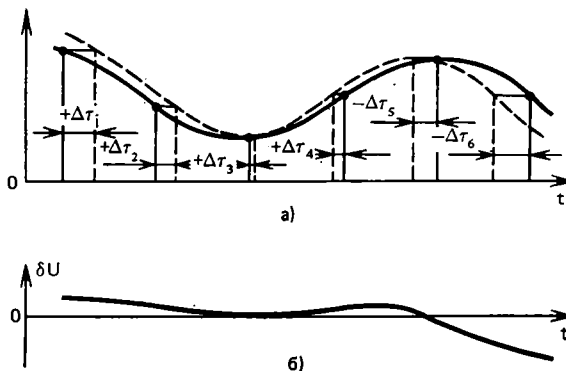


Рис. 2.19

нераторов, причем для некоторых конструкций регенераторов весьма интенсивно. Поэтому на выходе ЛТ, особенно содержащего много регенераторов, они составляют основную долю фазовых флуктуаций и вызывают помехи в каналах ТЧ. Расчеты показывают, что при защищенности сигналов в каналах ТЧ от помех, вызванных фазовыми флуктуациями, не менее 40 дБ, эффективное значение флуктуаций отсчетов на выходе цифроаналогового преобразователя телефонного речевого сигнала должно быть менее 810 нс. Это значение соответствует 1,7 тактового интервала линейного сигнала первичной ЦСП или 6,8 тактовых интервалов вторичной ЦСП и т. д. Допустимая величина флуктуаций отсчетов в ЛТ отечественных ЦСП высших ступеней иерархии установлена значительно меньше и не должна превышать для одиночного регенератора нескольких процентов от периода тактовой частоты.

Указанные нормы на параметры линейных трактов ЦСП, как уже отмечалось, должны выполняться при настроенных линейных корректорах регенераторов. Обычно начальная настройка осуществляется заводом-изготовителем, а окончательная — в результате срабатывания устройства автоматического регулирования, предусмотренного в регенераторе. В некоторых случаях возникает необходимость проверки оптимальности настройки линейного корректора регенератора, которая осуществляется методом глаз-диаграммы. Она представляет собой результат наложения (например, на экране осциллографа) изображений всех возможных импульсных комбинаций в течение двух тактовых интервалов ( $2T$ ) линейного сигнала. Глаз-диаграмма для троичного кода приведена на рис. 2.20,а; при этом полагается, что импульсы прошли по оптимально скорректированному регенерационному участку, свободному от помех, и имеют на приеме косинус-квадратную форму (рис. 2.20,б). Горизонтальные линии на глаз-диаграмме ( $+1$ ,  $0$ ,  $-1$ ) соответствуют амплитудам различных импульсов при идеальном приеме, а вертикальные ( $-T$ ,  $0$ ,  $+T$ ) — идеальным моментам принятия решений. Крестиками отмечены оптимальные параметры решающего устройства для импульсов положительной и отрицательной полярностей. Для наблюдения глаз-диаграммы в качестве исходного сигнала используют псевдослучайную последо-

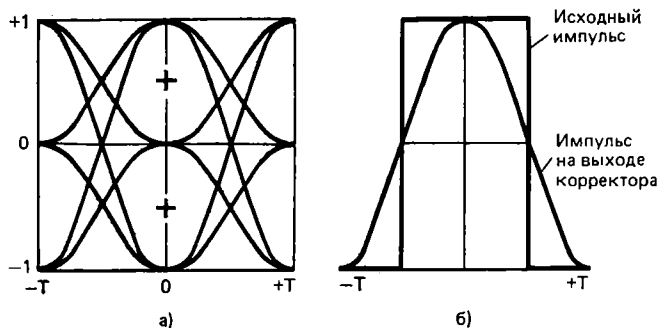


Рис. 2.20

вательность, представляющую собой периодически повторяющуюся кодовую комбинацию из  $2^{15}-1=32\,767$  символов, а синхронизацию осциллографа осуществляю импульсной последовательностью с частотой, кратной тактовой. При этом на экране осциллографа последовательно отображаются отрезки псевдослучайной последовательности, длительность которых кратна тактовой частоте. Если частота синхронизации выбрана так, что частота изображения одного и того же отрезка не ниже 20... 30 Гц, то ввиду периодичности псевдослучайного сигнала, на экране осциллографа сформируется неподвижная картина наложения различных отрезков, т. е. глаз-диаграмма.

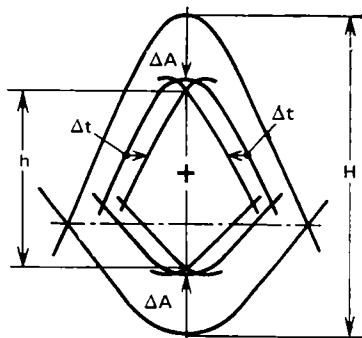
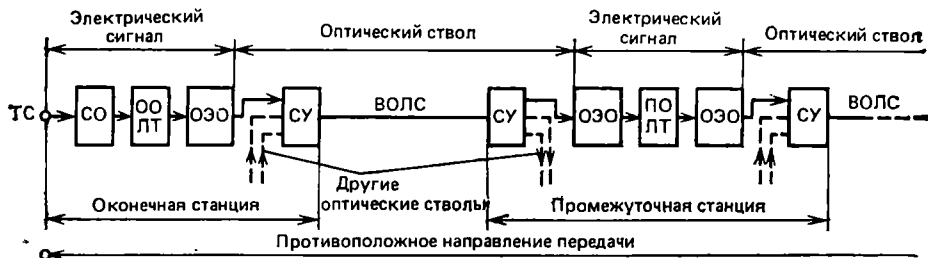


Рис. 2.21

Раскрыв глаз-диаграммы уменьшается на  $\pm\Delta A$  при ухудшении качества коррекции; вследствие смещения стробирующих импульсов момент принятия решения смещается на  $\pm\Delta t$ , что также эквивалентно уменьшению раскрыва глаз-диаграммы (рис. 2.21). Таким образом, наблюдая глаз-диаграмму для реального регенерационного участка можно или осуществить настройку регенератора вручную (при наличии, конечно, предусмотренных заводом-изготовителем регуляторов), или определить величину фактического отношения сигнал-шум, дБ, как  $20 \lg [H/(H-h)]$ , где  $H$  — раскрыв идеальной, а  $h$  — реальной глаз-диаграмм. По известному отношению сигнал-шум можно определить величину  $K_{\text{ош}}$  регенератора, например, с помощью графиков, приведенных на рис. 2.18.

Линейный тракт ЦСП ИКМ волоконно-оптических линий связи отличается от линейного тракта ЦСП ИКМ проводной линии наличием в нем следующих устройств (рис. 2.22). Во-первых, это оптоэлектронное оборудование ОЭО, включающее в себя излучатель модулированного оптического сигнала на передаче и фотоприемник на приеме. Во-вторых, между оптоэлектронным оборудованием и ВОЛС помещаются согласующие устройства СУ, обеспечивающие ввод излучения передатчика в волоконный световод



и вывод оптического сигнала из него для подачи на площадку фотоприемника. В дальнейшем СУ предполагается использовать для разделения оптических стволов передачи. На концах ЛТ устанавливается сопрягающее оборудование СО, осуществляющее преобразование кода, принятого в точке стыка ТС, в линейный. Последнее необходимо, поскольку для модуляции оптического излучения используются униполярные коды, а в ТС обычно имеют место коды с чередованием полярности импульсов. Кроме этого в линейных кодах трактов оптических систем передачи должна быть обеспечена значительная избыточность, необходимая для понижения коэффициента ошибок, поскольку в волоконно-оптических ЦСП из-за высокой межсимвольной интерференции недостаточно высока помехозащищенность линейного сигнала. Избыточность кода необходима для передачи дополнительной информации по тракту, обеспечивающей работу сервисных систем, например систем телеконтроля, телемеханики и служебной связи. Показанное на рис. 2.22 оконечное и промежуточное оборудование линейного тракта аналогично соответствующему оборудованию линейного тракта ЦСП ИКМ проводной линии.

Параметры участка ЛТ, по которому передается оптический сигнал, рассматриваются в специальных курсах. Параметры и характеристики в типовых ТС соответствуют параметрам трактов проводных систем передачи, а в точках подключения ОО ЛТ и ПО ЛТ отличаются от них лишь типом кода и значением коэффициента  $K_{\text{ош}}$ , которое, как правило, принимается на 2—3 порядка выше.

Поскольку параметры и характеристики участков тракта, по которым осуществляется передача радиосигналов, рассматриваются в специальном курсе, остановимся здесь лишь на особенностях типовых групповых (сетевых) и цифровых трактов и каналов, образуемых с применением РСП. В целом параметры и характеристики названных каналов и трактов, образованных на базе ЛТ РСП, ничем не должны отличаться от параметров и характеристик трактов и каналов проводных систем передачи или волоконно-оптических. Однако с учетом рекомендаций МККР некоторые отличия все же имеются. Прежде всего, это относится к допустимым величинам флуктуационных помех, которые для трактов и каналов на базе РСП принимаются несколько большими (см. § 2.2).

Для гипотетического эталонного цифрового тракта радиорелейной линии (длина тракта 2500 км, число переприемов 8), находящегося в состоянии готовности, коэффициент ошибок  $K_{\text{ош}}$  не должен превышать  $10^{-7}$  в течение 1% времени месяца (при времени измерения, равном 1 мин) и  $10^{-3}$  в течение 0,05% времени любого месяца (при времени измерения 1 с).

Для спутниковых РСП значение  $K_{\text{ош}}$  цифровых трактов не должно превышать  $10^{-6}$  (время измерения 10 мин) в течение более чем 20% и  $10^{-4}$  (время измерения 1 мин) в течение более чем 0,3% времени любого месяца. В течение 0,01% времени любо-

го года коэффициент ошибок может достигать  $10^{-3}$  (время измерения 1 с).

Еще одним нормируемым показателем качества трактов РРЛ является *коэффициент простоя*  $K_{пр}$ , определяемый как относительное время перерыва передачи. Коэффициент простоя характеризует комплексную надежность радиостолов, поскольку учитывает влияние как отказов оборудования, так и глубоких замираний сигнала на пролетах. В соответствии с рекомендациями МККР  $K_{пр}$  одного дуплексного ствола аналоговых и цифровых РРЛ протяженностью до 2500 км, близких по структуре к эталонным цепям, не должен превышать 0,003, а для внутризональных цифровых РРЛ протяженностью до 250 км — 0,002.

## 2.5. ВИДЫ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МСП

**Классификация измерений на системах передачи.** Необходимое высокое качество передачи информации обеспечивается соблюдением установленных норм на многочисленные электрические параметры и характеристики систем передачи с помощью тех или иных измерений. Таким образом, электрические измерения являются одним из важнейших компонентов технической эксплуатации МСП, непосредственно обеспечивающим нормальное функционирование последних. В свою очередь, эффективность электрических измерений достигается их рациональной организацией, правильно выбранными методиками и соответствующей измерительной аппаратурой. Ниже рассмотрено первое из названных слагаемых эффективности измерений.

В связи с большим числом и разнообразием параметров и характеристик систем передачи, подлежащих настройке и контролю, их измерения следует классифицировать по тем или иным признакам. Наиболее широкое распространение получили способы классификации по измеряемым величинам и по применяемым методам; эти способы общеизвестны и будут использованы при изложении материалов данного пособия. Остановимся на специфической классификации измерений, в основу которой положена цель определения того или иного параметра системы передачи.

Параметры и характеристики системы передачи после монтажа станционного оборудования определяются с целью настройки системы выявлением и заменой неисправных блоков и осуществлением установочных регулировок. Измерения на этом этапе назовем *настроечными*. Очевидно, что отклонения измеряемых параметров и характеристик оборудования от номинальных значений в процессе настройки и регулировки минимальны и определяются в основном видами предусмотренных в аппаратуре регуляторов. Допуски на указанные отклонения определяются *установочными нормами*, которые, как правило, регламентируются организацией, осуществляющей настройку, и указываются в технологических инструкциях по настройке данной системы передачи, составляемых

этой организацией. Установленные при настройке значения электрических величин должны заноситься в технические паспорта, предназначенные для фиксации результатов измерений.

Электрические паспорта оборудования, составляемые по окончании настройки, служат основанием для приемки настроенной системы передачи в эксплуатацию. Процесс приемки заключается в проведении контрольных *приемосдаточных измерений*, осуществляемых обычно в полном объеме. За время между настроечными и приемосдаточными измерениями параметры и характеристики системы передачи несколько изменяются, главным образом вследствие изменения напряжений питания, а также природных факторов, например из-за изменения температуры кабеля. Помимо этого, измерения могут производиться разными приборами, тогда наблюдаемые отклонения параметров будут определяться и суммарной погрешностью этих приборов. Таким образом, при проведении приемосдаточных измерений следует руководствоваться более широкими допусками на параметры и характеристики аппаратуры, определяемыми менее жесткими *настроечными нормами*. Эти нормы вносятся в специальные разделы электрических паспортов и позволяют делать заключение о возможности сдачи системы в эксплуатацию по результатам приемосдаточных измерений.

Изменения напряжений питания и природных факторов носят, как правило, циклический характер, поэтому в процессе эксплуатации параметры и характеристики систем передачи могут длительное время оставаться в пределах настроечных норм, что и обеспечивает необходимое высокое качество связи. Однако с течением времени за счет факторов воздействия, которые не носят циклического характера, например за счет старения, в отдельных элементах аппаратуры возникают нарушения, приводящие к ухудшению качества связи, которое в конечном итоге может стать недопустимо низким. Поэтому в процессе эксплуатации производятся *контрольные (профилактические)* измерения, результаты которых сопоставляются с еще менее жесткими, чем настроечные, *эксплуатационными нормами*. Эксплуатационные нормы соответствуют только удовлетворительному (допустимому) качеству связи. Выход параметров за пределы, установленные этими нормами, свидетельствует о необходимости проведения настройки, по окончании которой параметры вновь будут удовлетворять настроечным нормам. Контрольные измерения проводятся по определенному плану и потому обычно называются *плановыми* или *регламентными*. Однако в процессе эксплуатации систем передачи возможны отказы оборудования, при которых необходимо проводить измерения с целью локализации места отказа и определения его характера. Эти измерения носят название *внеплановых* и являются составной частью ремонтно-восстановительных работ, в которые также (на заключительном этапе) могут входить как настроечные, так и приемосдаточные измерения.

При организации измерений важно учитывать и то, что параметры и характеристики систем передачи могут подразделяться

на основные, дополнительные и факультативные. К *основным параметрам* относят те, выполнимость которых подтверждена опытом, а их достижение обеспечивает высокое качество передачи информации, предусмотренное при разработке данной системы и при проектировании конкретной магистрали. Как правило, нормы на эти параметры соответствуют рекомендациям МККТТ или даже превосходят их.

К *дополнительным параметрам* относят такие, контроль которых необходим при передаче специфических видов информации или при использовании специальных ЛТ, параметры которых отличны от параметров обычных ЛТ. Как основные, так и дополнительные параметры могут считаться *факультативными*, т. е. такими, нормы на которые уточняются. Измерения факультативных параметров проводятся с целью анализа и накопления данных.

Некоторые параметры и характеристики систем передачи вообще не включены в нормативные документы ЕАСС и заводскую документацию, однако результаты их измерений могут служить ориентиром для обнаружения мест повреждения или для прогнозирования состояния аппаратуры систем передачи.

При организации измерений на системах передачи безусловно надо стремиться к снижению трудозатрат при необходимой высокой точности измерений. Это достигается применением современной измерительной аппаратуры и автоматизацией процессов измерений. Большое значение имеют и правильно выбранные методики, что оказывается особенно важным при статистических и выборочных измерениях.

Проведение измерений на системах передачи, находящихся в эксплуатации, должно осуществляться по возможности *без закрытия связей*. Измерения, для проведения которых *закрытие связей* необходимо, должны осуществляться так, чтобы их продолжительность была бы минимальной, а время их проведения совпадало бы с временем наименьшей нагрузки на систему передачи. В некоторых случаях измерения с закрытием связей допускаются только при условии создания обходных путей на соответствующих участках сети.

**Настроечные измерения.** Настроечные работы, и в том числе настроечные измерения, проводятся организациями, осуществляющими монтаж аппаратуры систем передачи как после строительства новой линии передачи, так и после модернизации или ремонтно-восстановительных работ на существующей линии. К работе по настройке линии передачи допускаются лица, изучившие принцип работы и назначение аппаратуры, заводскую эксплуатационно-техническую документацию на все виды оборудования системы передачи, нормативную документацию по настройке и сдавшие экзамены по технике безопасности.

Работы на необслуживаемых промежуточных станциях должны проводиться бригадой в составе не менее двух человек. В распоряжении бригады должна находиться специализированная машина, оборудованная электростанцией для освещения и пита-

ния паяльника, измерительные приборы с автономными источниками питания, инструмент, техническая документация, резервные блоки настраиваемого оборудования. Если эта бригада проводит также ремонтно-восстановительные работы, желательно, чтобы машина была также оборудована устройствами, позволяющими осуществлять автономное питание оборудования необслуживаемой станции или даже нескольких станций, входящих в состав полустанции дистанционного питания. Наличие таких устройств позволяет обесточивать участки кабеля и производить ремонтно-восстановительные работы на кабеле без закрытия связей систем передачи, работающих по другим неповрежденным парам. В общем случае все работы на необслуживаемых станциях должны проводиться при выключенном дистанционном питании за исключением тех, которые можно производить подключаясь к специальным гнездам, установленным на наружной поверхности корпуса станции. Следует помнить об особой опасности попадания под напряжение дистанционного питания в условиях необслуживаемой станции, поэтому перед началом работ на ней необходимо получить подтверждение о снятии дистанционного питания от персонала обслуживаемой питающей станции по каналу служебной связи.

Характерной чертой настроечных измерений является их определенная последовательность, предусматривающая вначале настройку того оборудования, которое будет использовано на последующих этапах настроечных работ. Обычно вначале производится проверка и настройка оборудования окончательных и промежуточных обслуживаемых станций по основным параметрам на соответствие заводским паспортам. Одновременно (если это предусмотрено заводскими инструкциями) проверяется и настраивается оборудование необслуживаемых станций, которое после этого развозится по линии и монтируется.

Первоначально по линии развозят и монтируют оборудование служебной связи и телемеханики, поскольку каналы служебной связи и устройства телемеханики необходимы при настройке основного оборудования ЛТ. Затем развозят и монтируют основное оборудование линии системы передачи.

Проверка и настройка оборудования начинается с проверки и настройки оборудования электропитания. Большинство измерений осуществляется при этом с помощью приборов, предусмотренных конструкцией аппаратуры и размещаемых на стойках. Однако в некоторых системах передачи проверка оборудования дистанционного питания осуществляется при подключении к нему миллиамперметра постоянного тока класса точности не ниже 0,2. При подключении внешних приборов к оборудованию дистанционного питания следует строго соблюдать правила техники безопасности, в частности, осуществлять разряд линии после снятия тока ДП.

После проверки оборудования служебной связи обслуживаемых станций на соответствие заводским паспортам производится настройка канала участковой служебной связи (УСС), не требую-



щего настройки на необслуживаемых станциях, а затем канала дистанционной служебной связи (ПСС). Настройка канала УСС сопровождается измерением его остаточного затухания на частоте 800 Гц, частотной характеристики неравномерности остаточного затухания, переходного затухания между развязанными выходами дифсистемы и психометрического напряжения помехи на выходе канала. Настройка каналов ПСС обычно осуществляется в два этапа, сначала на секциях между обслуживаемыми промежуточными станциями, затем между оконечными станциями с поочередным подсоединением секций друг к другу. При настройке каналов ПСС по сравнению с настройкой каналов УСС добавляются измерения диаграммы уровней по необслуживаемым станциям и переходного затухания между различными каналами. При настройке каналов ПСС надо учитывать, что нормы на их параметры должны выполняться при соединении всех  $n$  секций между обслуживаемыми станциями, т. е. при максимальной его протяженности для данной системы передачи. Если измерение параметров производится для меньшего числа соединенных секций, например  $n'$ , то нормы должны быть пересчитаны; допустимые отклонения частотной характеристики неравномерности остаточного затухания и психометрического напряжения помехи должны быть снижены в  $\sqrt{n/n'}$  раз, а нормы на защищенность от переходных влияний между каналами ПСС, а также между различными направлениями передачи одного канала должны быть увеличены на  $10 \lg(n/n')$  дБ.

При настройке систем телемеханики измерения электрических величин обычно не производят.

После настройки систем служебной связи и телемеханики приступают к настройке ЛТ системы передачи, которая начинается с подачи дистанционного питания и измерения значения его тока. В любых цифровых системах передачи, если ток ДП установлен равным номинальному, никаких настроечных операций проводить не требуется, а следует переходить к паспортизации параметров ЛТ. Для линейных трактов ЦСП обычно определяется: напряжение дистанционного питания, помехозащищенность линейных регенераторов, коэффициент ошибок на приемных концах ЛТ и параметры каналов служебной связи.

Линейные тракты МСП с ЧРК требуют проведения настроечных работ довольно большого объема, которые сопровождаются целым рядом измерений электрических величин. Прежде всего настраивается диаграмма уровней ЛТ, для чего измеряются: сопротивление термодатчиков промежуточных усилителей, уровни КС на передающем конце тракта, а также на выходах оборудования обслуживаемых промежуточных станций и, наконец, на выходах необслуживаемых станций (уровень основного КС). В процессе настройки диаграммы уровней производится оценка частотных характеристик неравномерности затухания его отдельных частей и их необходимая коррекция.

После установки диаграммы уровней и включения АРУ осуществляется точная коррекция амплитудно-частотной характеристики ЛТ. Процесс коррекции очень трудоемок и включает в себя многократные измерения амплитудно-частотных характеристик отдельных участков тракта и комбинаций участков, причем точность измерений должна быть высокой, а это не позволяет использовать высокопроизводительные панорамные измерители частотных характеристик. По окончании коррекции амплитудно-частотной характеристики переходят к паспортизации ЛТ путем измерений его амплитудно-частотной характеристики, уровней помех, нелинейных искажений и защищенности от линейных переходных влияний.

После настройки и паспортизации ЛТ переходят к коррекции амплитудно-частотных характеристик типовых групповых трактов и каналов ТЧ, организованных на основе данного ЛТ, а затем к их паспортизации. Работы эти проводятся вначале на трактах высшей ступени иерархии для данной системы передачи с последующим переходом к трактам менее высоких ступеней.

**Контрольные измерения.** Как уже отмечалось, контрольные измерения можно подразделить на плановые (регламентные) и внеплановые. Первые из них предназначены для определения и контроля параметров, которые подвержены изменениям во времени, с целью своевременной подстройки оборудования систем передачи. Удерживание параметров оборудования в пределах эксплуатационных норм, чему способствуют плановые измерения, обеспечивает удовлетворительное качество передачи информации. Плановые измерения проводятся с установленной периодичностью, причем период для тех или иных измерений устанавливается на основании наблюдений за скоростью изменения соответствующих параметров оборудования.

Внеплановые измерения проводятся с целью локализации мест возникновения отказов оборудования, а также при подстройке или ремонте оборудования для восстановления значений его параметров, вышедших за пределы эксплуатационных норм. Если к ремонту оборудования привлекаются сторонние организации (ремонт не выполняется силами эксплуатационной организации), то внеплановые измерения подразделяют на настроечные, проводимые сторонними организациями, и присмодаточные, которые проводят эти организации совместно с эксплуатирующей.

При разработке систем передачи необходимо стремиться к уменьшению объема контрольных измерений, увеличению длительности периодов между теми или иными плановыми измерениями. Это обеспечивается повышением таких параметров надежности оборудования, как среднее время наработки на отказ и коэффициент готовности, а также применением средств непрерывного автоматического контроля за параметрами оборудования. В конечном итоге необходимость в плановых измерениях вообще отпадает; в процессе эксплуатации осуществляются лишь внеплановые контрольные измерения согласно срабатыванию сигнализации средств непрерывного автоматического контроля параметров обо-

рудования. Такой уровень обслуживания достигнут, например, в современных ЦСП ИКМ, в которых плановые контрольные измерения параметров ЛТ не предусматриваются.

Оборудование МСП с ЧРК уступает по надежности оборудованию ЦСП ИКМ; кроме того, для обеспечения удовлетворительного качества передачи информации в МСП с ЧРК приходится контролировать большее число параметров. Поэтому в данных системах до сих пор предусматриваются плановые измерения параметров оборудования, однако объем этих измерений заметно уменьшен в новых системах по сравнению с системами прежних поколений. В табл. 2.10 для примера приведены перечни плановых измерений параметров ЛТ современной МСП с ЧРК типа К-3600 и системы прежнего поколения типа К-300. Из таблицы видно, что, несмотря на относительную сложность ЛТ системы К-3600, число его измеряемых параметров меньше (8 вместо 10 тракта К-300). Значительно длиннее и периоды измерений тракта К-3600; отсутствуют недельные измерения, некоторые параметры измеряются не чаще чем один раз в 2—3 года, в то время как любые параметры ЛТ системы К-300 измеряются не реже чем один раз в год.

Виды и порядок внеплановых контрольных измерений полностью определяются характером тех отказов, для локализации и устранения которых эти измерения предпринимаются. Как правило, техническая документация оборудования конкретной системы передачи содержит методики (алгоритмы) локализации и устранения большинства вероятных повреждений аппаратуры (и физических цепей). Основной объем операций, указанных в этих ме-

Таблица 2.10

Вид измерений	Периодичность					
	Неделя	Месяц	Квартал	Полгода	Год	Два года
Токи и напряжения питания	К-300	К-3600				
Уровни КС	К-300	К-3600				
Уровни измерительных частот	К-300	К-300				
Диаграмма уровней		К-3600				
АЧХ ЛТ			К-300			
АЧХ секций ЛТ			К-3600			
Помехи вне линейного спектра				К-300		
Помехи в линейном спектре				К-3600		
Нелинейные искажения по комбинациям			К-300	К-3600		К-3600
Нелинейные искажения по гармоникам				К-300		К-3600
Плохие контакты					К-300	

тодиках, приходится на долю контрольных измерений. Эти методики рекомендуется совершенствовать и дополнять в процессе эксплуатации с помощью анализа возникающих неисправностей и операций, проводимых для их устранения. Особенно это важно для МСП с ЧРК, в которых, как уже указывалось, надежность обо-

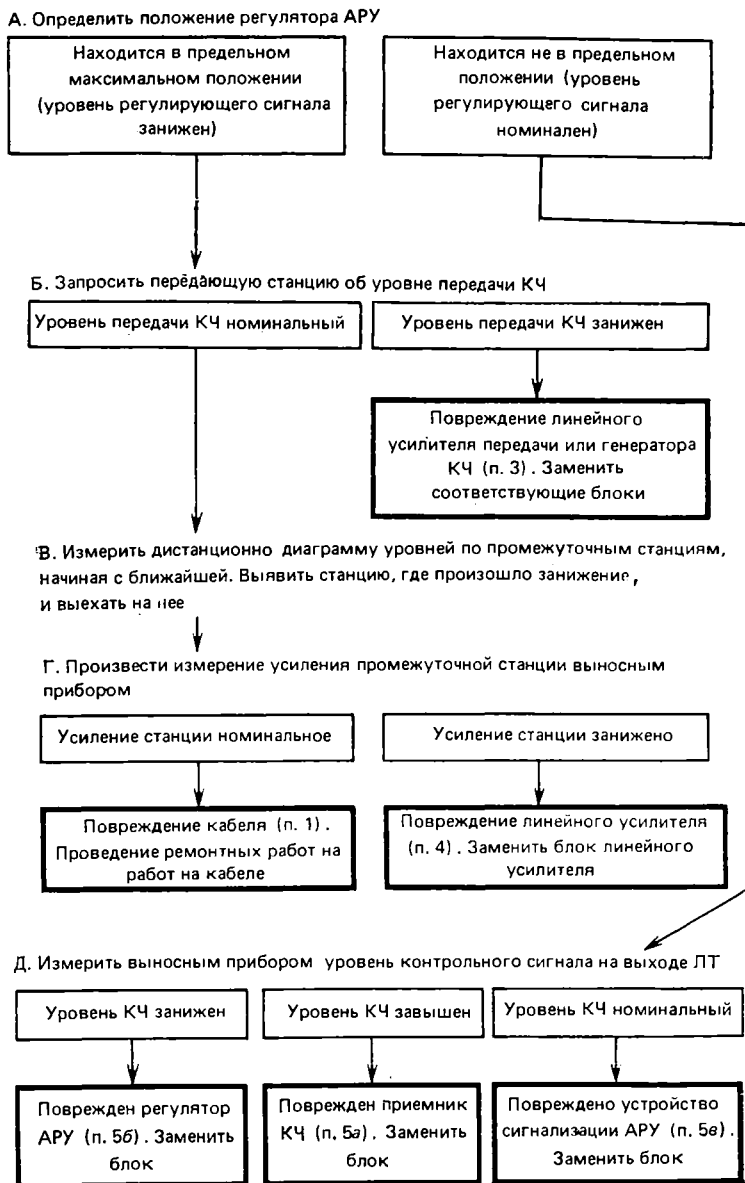


Рис. 2.23

рудования ниже, а число контролируемых параметров больше, чем у оборудования цифровых систем передачи с ИКМ.

В качестве примера на рис. 2.23 приведен алгоритм устранения характерного повреждения в ЛТ условной МСП с ЧРК. *Данные о повреждении:* на оконечной станции сработала сигнализация о снижении уровня линейного контрольного сигнала (КЧ).

*Возможные места локализации повреждения:*

- 1) повреждение кабеля;
- 2) повреждение линейного усилителя приема;
- 3) повреждение линейного усилителя передачи или генератора КЧ;
- 4) повреждение одного или нескольких промежуточных усилителей (в том числе с устройствами АРУ);
- 5) повреждение устройства АРУ оконечной станции:
  - а) повреждение приемника КЧ;
  - б) повреждение регулятора АРУ;
  - в) повреждение устройства сигнализации АРУ.

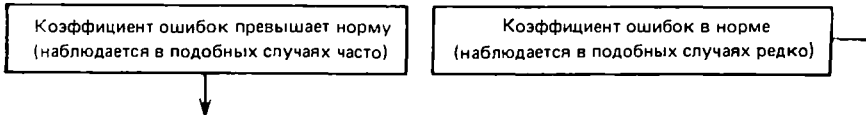
На рис. 2.24 приведен алгоритм устранения характерного повреждения в ЛТ условной ЦСП ИКМ.

*Данные о повреждении:* прослушиваются щелчки в каналах ТЧ с частотой, замечаемой абонентами (измеренное число щелчков в единицу времени превышает норму).

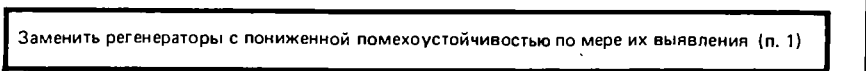
*Возможные места локализации повреждения:*

- 1) понижение помехозащищенности одного или нескольких линейных регенераторов;

А. С помощью унифицированного прибора контроля достоверности (ПДКУ) измерить коэффициент ошибок ЛТ



Б. С помощью прибора дистанционного контроля регенераторов (ПДКР) последовательно, начиная со станционного, проверить помехоустойчивость регенераторов



В. Проверить блок декодера на приемной станции его заменой



Г. Проверить блок кодера на передающей станции его заменой



Д. Проверить соединения оборудования ЛТ

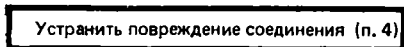


Рис. 2.24

- 2) неисправен блок декодера приемной станции;
- 3) неисправен блок кодера передающей станции;
- 4) плохие контакты в соединениях оборудования ЛТ.

#### **Организация измерений с закрытием и без закрытия связей.**

Контрольные измерения на системах передачи могут проводиться с сохранением, по крайней мере, части действующих связей или с закрытием всех связей, организованных данной системой передачи (с закрытием системы передачи). Измерения без закрытия связей предпочтительней, так как они не снижают такой важный показатель надежности системы, как коэффициент готовности.

При организации измерений без закрытия (или с закрытием части) связей прежде всего необходимо принимать меры, обеспечивающие бесперебойность и необходимое качество связей, которые не закрываются, а при измерениях с закрытием всех связей — меры, снижающие время простоя системы передачи.

Методики измерений на МСП с ЧРК без закрытия связей должны удовлетворять следующим условиям. Во-первых, измерительные сигналы должны иметь спектры, несовпадающие со спектрами сигналов передачи информации и сигналов сервисных систем, передаваемых по трактам, где производятся измерения. Обычно в качестве измерительных сигналов используются синусоидальные сигналы, частоты которых выбираются или за пределами рабочего спектра данного тракта, или в свободных частотных промежутках рабочего спектра, например, между участками спектра, занимаемыми отдельными каналами ТЧ или типовыми группами каналов. Напомним, что ширина межканального промежутка равна 900 Гц, такая же ширина у промежутка между первичными группами каналов. Промежуток между вторичными группами равен 8 кГц, а между третичными — 64 кГц (при образовании линейного спектра) или 88 кГц (при образовании четверичных групп) и т. д. Кроме того, нежелательно, чтобы частоты измерительных сигналов совпадали с виртуальными частотами канальных сигналов (частотами, соответствующими нулевым в спектрах исходных сигналов), так как при этом могут наблюдаться внятные переходные влияния между некоторыми каналами, возникающие из-за нелинейных искажений на измеряемых участках тракта.

Во-вторых, измерительные сигналы должны иметь уровни, не изменяющие заметно загрузку тех трактов, в которые они вводятся. С учетом того что измерительные сигналы, как правило, непрерывны, а следовательно, их средняя мощность близка к максимальной, рекомендуется выбирать их уровни на 10... 20 дБ ниже измерительных уровней, принятых в данных точках тракта.

В-третьих, должны быть приняты меры, исключающие попадание информационных сигналов в измерительную аппаратуру, фиксирующую значения измерительных сигналов. С учетом моночастотности последних фиксирующая аппаратура должна быть частотно-избирательной. При выборе ширины полосы пропускания и неравномерности амплитудно-частотной характеристики измери-

тельной аппаратуры следует помнить о том, что участки спектра, свободные от информационных сигналов, очень невелики. Так, например, относительная ширина свободной полосы частот между 12-й и 11-й третичными группами в линейном спектре системы передачи К-3600 имеет значение менее 0,4%. Это накладывает жесткие требования не только на параметры фиксирующей аппаратуры, но и на параметры источников измерительных сигналов.

В-четвертых, подключение измерительной аппаратуры к действующим каналам и трактам не должно вызывать изменения в них уровней информационных сигналов. Как правило, в точках подключения конструкцией аппаратуры предусматриваются специальные развязывающие устройства. При необходимости подключения к другим точкам тракта следует убедиться в том, что подключаемые устройства отвечают требованиям высокоомности входного сопротивления в рабочем диапазоне частот данного тракта, а также и в том, что в тракте (если он симметричен относительно земли) не будет снижено затухание асимметрии, не снизятся переходное затухание между данным и другими трактами и затухание нелинейности (подключаемая аппаратура не внесет в тракт нелинейных искажений).

Наконец, в-пятых, как подключаемая аппаратура, так и операции ее подключения должны строго соответствовать инструкциям по технике безопасности. Это, в первую очередь, относится к ЛТ проводных систем передачи, в которых напряжение дистанционного питания может достигать 2000 В.

Как правило, в системах передачи с ЧРК без закрытия связей проводятся измерения диаграммы уровней ЛТ, уровней контрольных сигналов, неравномерности амплитудно-частотных характеристик трактов, уровней помех в полосе частот канала ТЧ при нагрузке тракта реальными сигналами и некоторые другие.

Измерения в трактах ЦСП ИКМ без закрытия связей фактически сводятся лишь к определению для этих трактов коэффициента ошибок. Как уже отмечалось, эти измерения заключаются в фиксации нарушений регулярных событий, принятых в данном коде, например, нарушения чередования полярности импульсов, при передаче реальных информационных сигналов. Обычно конструкцией оборудования ЦСП предусматривается и тип кода данного тракта, и схема прибора для измерения коэффициента ошибок, и точки его подключения. При необходимости подключать этот прибор или какие-либо другие в произвольные точки цифровых трактов нужно соблюдать условия, обеспечивающие неизменность параметров данного тракта, т. е. в первую очередь необходимо обеспечить условие высокоомности подключаемого прибора в полосе частот от нулевой до частоты, равной, по крайней мере, тактовой.

При наличии информационного сигнала никаких измерительных сигналов в цифровые тракты вводить нельзя. Очевидно, что при измерениях без закрытия связей в трактах ЦСП ИКМ требуется

такое же тщательное выполнение инструкций по технике безопасности, как и при измерениях в трактах МСП с ЧРК.

Измерения с закрытием связей должны проводиться по возможности оперативно; желательно их организовывать в то время суток, когда нагрузка системы передачи минимальна. Методики этих измерений должны удовлетворять следующим требованиям:

1. При измерениях в трактах МСП с ЧРК частоты измерительных сигналов не должны совпадать с частотами контрольных линейных сигналов, поскольку рабочее состояние ЛТ поддерживается в этих системах работой линейных устройств АРУ по контрольным сигналам. Это условие распространяется и на сетевые тракты МСП с ЧРК, при измерении параметров которых надо исключать совпадение частоты измерительного сигнала с частотой контрольного сигнала сетевого тракта. Однако в случае измерений на сетевом тракте его устройство АРУ на приемном конце может быть выключено, при этом ограничения на выбор частоты измерительного сигнала снимаются.

2. При измерениях в групповых трактах ЦСП ИКМ ввод измерительных сигналов осуществляется взамен реального цифрового потока. При этом из-за исключения сигналов синхронизации, содержащихся в реальном потоке, приемное оконечное оборудование выходит из состояния синхронизма, причем устройства передачи цифровых потоков низших ступеней иерархии блокируются. Поэтому, если при измерениях необходимо сохранить состояние синхронизма, в ТС должны включаться устройства, осуществляющие временную селекцию вводимых и выводимых измерительных сигналов. Как правило, измерения, проводимые в цифровых групповых трактах, должны быть возможны в условиях потери синхронизма оконечного оборудования; например, дистанционные измерения помехоустойчивости линейных регенераторов не требуют состояния синхронизма оконечного оборудования.

3. Если измерения параметров трактов сопровождаются их подстройкой, то вначале должны измеряться тракты высших ступеней иерархии (начиная с ЛТ). Это условие должно выполняться как для трактов МСП с ЧРК, так и для трактов ЦСП ИКМ.

В заключение укажем, что измерения с закрытием связи проводятся по распоряжению руководящей станции. Измерения же в каждом направлении осуществляются под руководством передающей станции.

## 2.6. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

При настройке и эксплуатации систем передачи возникает необходимость в измерении параметров и характеристик аппаратуры, не входящей непосредственно в состав каналов и трактов, но обеспечивающей их нормальное функционирование. Состав этой аппаратуры весьма обширен и разнообразен, поэто-



му рассмотрим лишь общие характеристики наиболее важных ее комплексов, к которым можно отнести: генераторное оборудование, устройства АРУ, устройства служебной связи, оборудование переключения групповых трактов, взхозаградители и источники электропитания.

Генераторное оборудование МСП с ЧРК предназначено для создания главным образом гармонических сигналов несущих и контрольных частот. Оно строится по принципу синтезатора частот, т. е. устройства, которое на основе одной или нескольких опорных частот путем их деления, умножения, вычитания и сложения создает все необходимые сигналы, так называемую *сетку номинальных частот*. Генераторное оборудование МСП с ЧРК предыдущего поколения, находящегося в настоящее время в эксплуатации, имело централизованную структуру, т. е. размещалось в зависимости от типа МСП на одной или нескольких стойках. Генераторное оборудование современных и перспективных МСП с ЧРК децентрализовано, но в нем сохранено централизованное получение ограниченного числа сигналов — *управляющих частот* (стойка генераторная управляющих частот СГУЧ или комплект задающего генераторного оборудования КЗГО). В новом генераторном оборудовании удалось поднять на более высокий уровень требования к стабильности частот вырабатываемых сигналов.

К генераторному оборудованию МСП с ЧРК предъявляются следующие основные требования: допустимая относительная нестабильность частот генерируемых сигналов, номинальные значения уровней генерируемых сигналов и допуски на их отклонения, величина помехозащищенности сигналов.

Относительная нестабильность частот генерируемых сигналов определяется относительной нестабильностью генераторов, задающих опорные частоты. Нормы на предельную величину их относительной нестабильности исключительно жесткие (табл. 2.11). Очевидно, что измерение абсолютных изменений частот задающих генераторов должно осуществляться методом сличения генерируемых частот с образцовыми, получаемыми или по специальным каналам, или от другого местного источника образцовой частоты. Следует отметить, что в качестве образцовой может использоваться не только частота задающего генератора, равная 2592 кГц, но и частоты, получаемые в результате ее преобразования, равные 1800 и 100 кГц.

Уровни сигналов на выходе генераторного оборудования примерно равны 20 дБм, точность их установки около  $\pm 0,2$  дБ. В процессе эксплуатации они должны быть достаточно стабильны; так, уровни контрольных сигналов не должны изменяться в течение длительного времени более чем на  $\pm 0,2$  дБ, а сигналы несущих частот — на  $\pm 0,5$  дБ. Изменение свыше указанных пределов уровней контрольных сигналов приводит к ложным срабатываниям устройств АРУ, а уровней сигналов несущих частот — к заметному изменению рабочего

Таблица 2.11

Аппаратура	СГУЧ	КЗГО
При изменении температуры окружающей среды от 5 до 40° С и напряжения источников питания на $\pm 10\%$	$6 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$
В течение 30 суток непрерывной работы	$1 \cdot 10^{-8}$	$0,7 \cdot 10^{-7}$

затухания преобразователей спектров. Как первое, так и второе может привести к нестабильности остаточного затухания соответствующего канала или тракта.

Помехозащищенность сигналов, вырабатываемых генераторным оборудованием, предполагает их определенную моночастотность. В результате процессов, положенных в основу работы генераторного оборудования, вырабатываемый полезный сигнал частот  $f_{\text{н}}$  может сопровождаться гармоническими помехами с частотами  $rf_{\text{н}}$ ,  $f_{\text{н}} \pm pf_0$  и  $f_{\text{н}} \pm mf_{\text{н}}$ , где  $r$ ,  $p$  и  $m$  — целые числа,  $f_0$  — частота, равная каналному интервалу (4 кГц), а  $f_{\text{н}}$  — промышленная частота (50 Гц). Помехи первых двух видов, попадая вместе с полезными сигналами на преобразователи спектров, могут вызывать появление внятных переходных влияний между каналами. Поэтому данные помехи необходимо подавлять по отношению к полезному сигналу на 80 ... 90 дБ. Помехи последнего вида приводят к паразитной модуляции информационного сигнала гармониками тока промышленной частоты. Их подавление относительно полезного сигнала должно осуществляться на 55 ... 60 дБ.

Генераторное оборудование ЦСП ИКМ вырабатывает импульсные последовательности, необходимые для функционирования всех устройств системы передачи. Это последовательности импульсов, следующих с тактовой частотой  $f_{\text{т}}$ , с частотой следования каналных интервалов, а также с частотой повторения циклов. Структура генераторного оборудования представляет собой задающий генератор гармонического сигнала с частотой  $f_0$ , кратной тактовой (например, для ИКМ-30  $f_{\text{т}} = 2048$  кГц, а  $f_0 = 4 \cdot f_{\text{т}} = 8192$  кГц), устройство, формирующее из сигнала с частотой  $f_0$  последовательность тактовых импульсов и цифровые делители-распределители частот, формирующие из тактовой все остальные необходимые импульсные последовательности. Характерной особенностью генераторного оборудования ЦСП ИКМ является наличие в нем системы синхронизации, которая обеспечивает на приеме восстановление тактовой частоты и порядка отсчетов циклов (а иногда и групп циклов), каналных интервалов и разрядных импульсов.

Относительная нестабильность частоты задающего генератора, являющегося синхронизирующим, достаточно высока, но существенно ниже относительной нестабильности задающих генераторов МСП с ЧРК. Численно она должна быть не больше нестабильности скоростей передачи цифровых трактов той ступени иерархии, к которой относится данная ЦСП. Абсолютные изменения частот задающих генераторов ЦСП ИКМ могут быть измерены электронным частотомером.

Система синхронизации генераторного оборудования характеризуется средним временем восстановления циклового (сверхциклового) синхронизма, которое равно примерно для большинства типов ЦСП ИКМ времени прохождения 10—15 циклов (например, для ИКМ-30 это время составляет 2 мс). Кроме этого, система синхронизации характеризуется временем удержания синхронизма — средним временем между двумя сбоями цикловой синхронизации. Обычно это время равно десяткам часов, так что можно практически не считаться с вероятностью сбоя синхронизма из-за единичных помех.

Устройства автоматического регулирования уровней (АРУ) входят в структуру линейных и типовых сетевых трактов МПС. Практически любое устройство АРУ можно характеризовать параметрами, которые условно разделяются на *статические* и *динамические*. Первые характеризуют устройства, в которых

в данный момент отсутствуют переходные процессы, вторые — описывают непосредственно процессы регулирования, вызванные отклонением контролируемой величины от ее номинального значения. Важнейшими статическими параметрами являются пределы и статическая погрешность регулирования; динамически — величина перерегулирования, время и скорость регулирования.

*Пределы регулирования*  $\pm \Delta S_{\text{рег}}$  — величина, соответствующая максимально возможному изменению усиления (или затухания) регулируемого объекта на заданной частоте. В МСП с ЧРК пределы регулирования определяются обычно или на частоте контрольного сигнала, или на верхней частоте передаваемого спектра частот; в ЦСП ИКМ — на полутактовой частоте. Абсолютное значение пределов регулирования для различных СП определяется от нескольких децибел до нескольких десятков децибел.

*Статическая погрешность регулирования*  $\delta_0$  — относительная величина отклонения регулируемого параметра (например, уровня контрольного сигнала) на выходе регулируемого объекта после завершения процесса регулирования. Обычно статическая погрешность не превышает нескольких десятых долей децибела.

Динамические параметры удобно определять по *переходной характеристике*  $h(t)$  процесса регулирования, которая представляет собой реакцию рассматриваемого устройства на скачок контролируемой величины, например изменение во времени выходного уровня контрольного сигнала  $\Delta L_{\text{ИКЧ}} \text{ в вых}$  при скачке входного, равно  $\Delta L_{\text{ИКЧ}} \text{ в вх}$ . Переходная характеристика  $h(t) = \Delta L_{\text{ИКЧ}} \text{ в вых} / \Delta L_{\text{ИКЧ}} \text{ в вх}$  может иметь аperiodический (рис. 2.25,а) или колебательный (рис. 2.25,б) характер.

*Максимальное перерегулирование*  $\sigma_{\text{max}}$  представляет собой максимальное относительное отклонение регулируемого параметра от его установившегося значения в процессе регулирования, имеющего колебательный характер (рис. 2.25,б). По рекомендациям МККТТ его величина не должна превышать единицы ( $\sigma_{\text{max}} \leq 1$ ) для тракторов, оборудованных устройствами АРУ по контрольному сигналу. Рекомендуемая для измерений величина скачка входного уровня контрольного сигнала составляет 2 дБ.

*Время регулирования*  $\tau_p$  — время от начала процесса регулирования до момента, после которого отклонение регулируемой величины от установившегося значения не будет превышать некоторую малую величину  $\epsilon$  (обычно принимается  $\epsilon = 0,05$ ). Время регулирования для различных устройств АРУ находится примерно от единиц до сотен секунд.

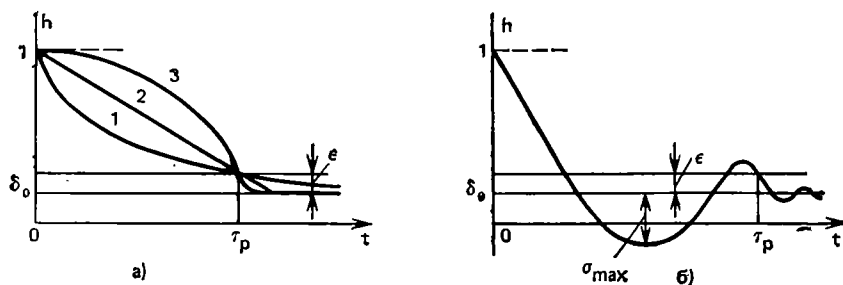


Рис. 2.25

*Скорость регулирования*  $V_p$  определяется крутизной переходной характеристики. Так, переходные характеристики, показанные на рис. 2.25,а, соответствуют устройствам, одно из которых имеет в начале процесса максимальную скорость регулирования (кривая 1), другое — минимальную (кривая 3), а третье — обладает неизменной скоростью регулирования (кривая 2). Известно, что процесс регулирования вызывает тем большую помеху в каналах, чем больше его скорость, однако мощность этой помехи во всех случаях сравнительно мала.

Рассмотренные параметры используются в первую очередь для оценки устройств АРУ по контрольным сигналам, устанавливаемым в линейных трактах МСП с ЧРК и типовых сетевых трактах. Для оценки устройств АРУ линейных трактов МСП с ЧРК, в которых контролируемой величиной является температура грунта на глубине прокладки кабеля, ограничиваются обычно статическими параметрами. Работу устройств АРУ аналоговых корректоров, устанавливаемых на входах регенераторов линейных трактов ЦСП ИКМ, оценивают глаз-диаграммой (см. § 2.3).

Аппаратура служебной связи предназначена для организации оперативной телефонной связи эксплуатационно-технического персонала станционных и линейных служб и используется в процессе настройки и эксплуатации систем передачи. Обычно организуется служебная связь между оконечными и всеми обслуживаемыми промежуточными станциями (постанционная служебная связь — ПСС), а также служебная связь между соседними обслуживаемыми станциями и всеми необслуживаемыми, находящимися между ними (участковая служебная связь УСС).

Служебная связь, как правило, организуется по сигнальным симметричным парам, специально предусматриваемым в конструкции кабеля, в диапазоне тональных частот. В настоящее время разрабатываются системы служебной связи, которые предполагается организовывать, занимая свободные позиции в цифровых потоках, передаваемых по ЛТ (методом статистического уплотнения). Это особенно нужно для волоконно-оптических систем передачи (ВОСП), так как наличие металлических проводников в волоконно-оптических кабелях нежелательно, а использование отдельных оптических волокон для служебной связи нерентабельно. В действующих ВОСП для служебной связи используется ЛТ, организованный по одному из волокон, с закрытием на время служебной связи работающей по нему системы передачи.

Канал служебной связи может организовываться по четырех- или двухпроводной схеме, или по комбинированной (иметь двухпроводное окончание с одной стороны и четырехпроводное — с другой). Каналы служебной связи имеют параметры, приближающиеся к параметрам канала ТЧ. Параметры канала служебной связи приводятся в техническом паспорте системы передачи, для обслуживания которой данный канал предназначается. В качестве примера ниже приведены параметры канала ПСС, предназначенной для обслуживания ЛТ системы передачи К-3600.

Рабочий диапазон частот, кГц . . . . .	0,3 ... 3,4 (0,3 ... 2,6) для УСС)
Остаточное затухание, дБ . . . . .	13
Относительный уровень на выходе канала, дБм . . . . .	4,3 (3,5 для УСС)
Переходное затухание с приема на передачу канала, дБ . . . . .	61 (34,8 для УСС)

Вызов по каналу ПСС осуществляется сигналом тональной частоты (имеется 21 фиксированная частота для различных приемников, интервал между этими частотами 120 Гц, и одна общая для организации циркулярной связи 2,46 кГц). Полоса пропускания приемников тонального вызова  $\pm 10$  Гц на частотах до 1,5 кГц,  $\pm 15$  Гц на частотах до 2,46 кГц и  $\pm 20$  Гц для частот свыше 2,46 кГц.

Таблица 2.12

Переходное затухание	СКП-1	СКВТ-1	СП(КП)
$A_{пз\sigma}$ , дБ	$\geq 96$	$\geq 96$	$\geq 100$
$A_{пз\pi}$ , дБ	$\geq 122$	$\geq 113$	$\geq 113$

Оборудование переключения групповых трактов (стойки коммутации первичных групп СКП-1, вторичных и третичных групп — СКВТ-1, а также стойки переключений первичных трактов СП ПГ, вторичных и третичных трактов — СП ВГ—ТГ) предназначаются для переключения групповых трактов вручную с помощью соединительных шнуров, перепаек или перемычек. Это оборудование должно проверяться на минимально допустимую величину переходного затухания между трактами разных направлений одной группы каналов ( $A_{пз\sigma}$ ) и трактами, относящимися к разным группам ( $A_{пз\pi}$ ). Нормируемые величины этих затуханий приведены в табл. 2.12, где КП — комплект переключений.

Для стоек СКП-1 и СКВТ-1 осуществляется также проверка сопротивления изоляции по отношению к корпусу, которое должно быть не менее 20 МОм. Изоляция цепей монтажа этих стоек по отношению к корпусу должна выдерживать эффективное напряжение промышленной частоты, равное 360 В.

Эхозаградители включают в четырехпроводные окончания каналов ТЧ (см. рис. 2.26), если время распространения сигнала в одном направлении превышает 50 мс. Эхозаградитель (ЭЗ) имеет четыре режима работы: покоя, блокировки, перебоя и нейтрализации.

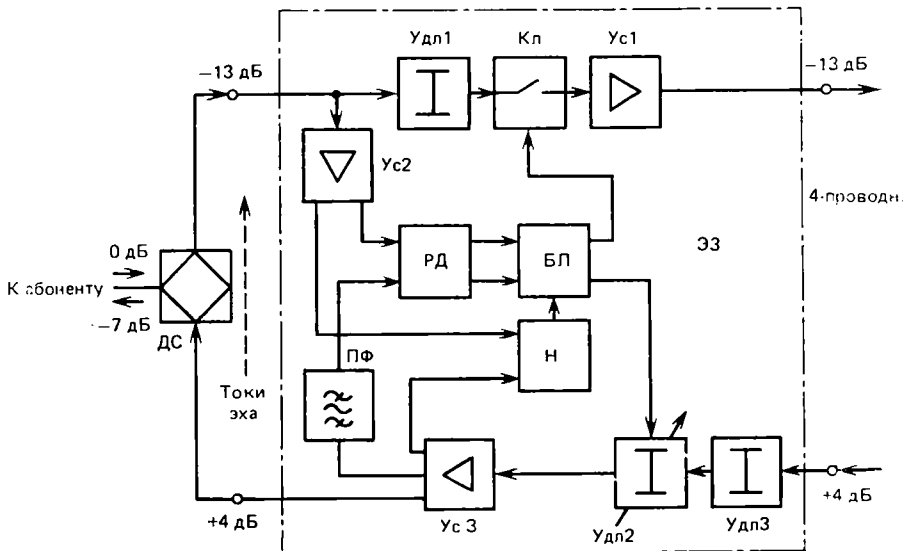


Рис. 2.26

*Режим покоя* характеризуется отсутствием речевых сигналов как на передаче, так и на приеме; дополнительные затухания при этом в тракты не вносятся, Наличие помех в трактах в режиме покоя не должно вызывать срабатывания ЭЗ.

*Режиму блокировки* соответствует наличие речевого сигнала на входе тракта приема. При этом через дифференциальную систему канала ДС в тракт передачи могут поступать токи электрического эха. Чтобы блокировать их передачу к говорящему абоненту, речевой сигнал с одного из выходов усилителя УсЗ через полосовой фильтр ПФ направляют к речевому детектору РД. Сигнал с выхода РД поступает на блок логики БЛ, где вырабатывается сигнал управления, размыкающий ключ Кл, что эквивалентно введению в тракт передачи дополнительного затухания не менее 55 дБ. Относительный уровень, при котором устанавливается режим блокировки, должен быть равен  $-37$  дБм. Время перехода от режима покоя к режиму блокировки  $T_{пб}$  должно быть не более 5 мс. Обратный переход от режима блокировки к режиму покоя должен происходить с задержкой  $T_{об}$ , равной 40...70 мс, так как режим блокировки должен существовать после прекращения речевого сигнала в течение времени распространения по линии сигналов эха. Полосовой фильтр ПФ настроен на полосу частот, где речевые сигналы имеют наибольшую мощность, что улучшает работу речевого детектора при наличии в тракте приема флуктуационных помех.

*В режиме перебоев* речевые сигналы присутствуют как на входе тракта приема, так и на входе тракта передачи. При этом на вход тракта передачи одновременно поступают и эхосигналы. В данном режиме дополнительное затухание в тракте передачи снимается (ключ Кл замыкается), а в тракт приема с помощью регулируемого удлинителя (Удл2) вводится дополнительное затухание, равное 6 дБ. Это несколько снижает действие электрического эха и облегчает условие установления режима перебоев. Время перехода от режима блокировки к режиму перебоев  $T_{пбб}$  должно быть небольшим, поскольку оно определяет величину потерь полезной информации при перебое. Рекомендуется это время устанавливать не более 10 мс. Время обратного перехода от режима перебоев к режиму блокировки  $T_{пбб}$  выбирается равным времени перехода от режима покоя к режиму блокировки  $T_{пбб} = T_{пб} = 5$  мс. Время перехода от режима перебоев к режиму покоя  $T_{пбп}$  выбирается несколько меньше средней длительности слова — 150 мс.

*Режим нейтрализации* (выключения эхограждителя) используется при передаче по каналу ТЧ сигналов дискретной информации. Для этого из какого-либо тракта канала ТЧ в эхограждитель должен поступить сигнал с относительным уровнем  $(-12 \pm 6)$  дБ и частотой 2,1 кГц. При этом от устройства нейтрализации Н к блоку логики БЛ поступает сигнал, запрещающий выработку в БЛ сигналов управления. Переход к режиму нейтрализации от любого другого происходит с задержкой  $T_{вх.н} = 350$  мс, что исключает ложные переходы при случайных появлениях в речевых сигналах токов с частотой 2,1 кГц (длительность этих составляющих обычно менее 350 мс). Выход из режима нейтрализации имеет задержку  $T_{вых.н} = 150$  мс, так как случайные перерывы при передаче сигналов дискретной информации практически не превышают этой величины. Ниже приведены другие параметры эхограждителя:

Номинальное входное сопротивление, Ом	600
Коэффициент несогласованности, %	$\leq 5$
Коэффициент нелинейных искажений, %	$\leq 1$

Уровень помех, дБм0п	≤ -70
Пределы регулировки порога срабатывания, дБ	+3; -6
Точность установки уровней в режиме покоя, дБ	+0,3 -0,2
Переходное влияние трактов передачи и приема одного ЭЗ, дБ	≥ 80
Переходное влияние трактов разных ЭЗ, установленных на одной стойке, дБ	≥ 85 Н

Источники электропитания аппаратуры систем передачи подразделяют на *первичные*, получающие мощность от сети переменного тока промышленной частоты и преобразующие его в постоянный ток напряжением —24 или —60 В (плюс выходного напряжения заземлен), и *вторичные*, преобразующие постоянный ток напряжением —24 или —60 В в постоянный ток с напряжениями, необходимыми для непосредственного питания того или иного узла аппаратуры системы передачи.

Вторичные источники можно подразделить на относительно низковольтные источники питания станционной аппаратуры и более высоковольтные *источники дистанционного питания* промежуточных пунктов ЛТ систем передачи. Напряжение на выходе последних может достигать 2000 В.

Для источников питания обычно нормируются номинальные величины питающего и вырабатываемого напряжений. Для источников дистанционного питания (ДП) обычно вместо выходного напряжения нормируется выходной ток (ток ДП) и допустимые пределы его изменения. Обязательно нормируется также допустимая величина пульсаций выходного напряжения, причем указывается диапазон частот их измерений.

В источниках питания предусматриваются устройства защиты и сигнализации, поэтому в документации указываются и их параметры, которые здесь не рассматриваются, так как их контроль осуществляется специальными службами. Для устройств, включаемых в цепи, по которым протекают значительные токи (десятки ампер), обычно нормируется допустимое падение напряжения, которое чаще всего находится в пределах десятых долей вольта.

Ниже в качестве примера приведены параметры источников питания систем передачи типа К-3600 (МСП с ЧРК) и ИКМ-30 (ЦСП).

Первичный источник питания аппаратуры К-3600 выполнен на базе буферной системы с применением выпрямителей и аккумуляторных батарей, имеет три

Таблица 2.13

Назначение	Номинальное напряжение, В	Стабильность напряжения, %	Ток нагрузки, А	Пульсация, мВ
Питание каналообразующего оборудования и оборудования сопряжения, станционных усилителей линейного тракта, генераторного оборудования	18 (19)	±1	0,2...1	2
ДП усилителей линейного тракта	до 2000	—	0,35±0,07	150
Питание телемеханики	4	±5	0,1...1	100
	6	±5	0,5...2	100
	3	±5	0,3...1	

Таблица 2.14

Номинальное напряжение, В	Стабильность, %	Ток нагрузки, А	Пульсация напряжения, мВ	
			Эффективное значение	Размах амплитуды
$\pm 5$	$\pm 5$	4 ... 5,5	—	100
$-5$	$\pm 10$	1 ... 1,8	—	100
$+12$	$\pm 0,5$	0,3 ... 0,8	12	—
$-12$	$\pm 0,5$	0,3 ... 0,8	12	—
$-12$	$\pm 0,5$	0,02 ... 0,15	12	—
$+55$	$\pm 10$	0,002 ... 0,02	—	—

независимых выхода с напряжением ( $24 \pm 2,4$ ) В с допустимой пульсацией не более 250 мВ в полосе частот до 300 Гц и 15 мВ в полосе частот свыше 300 Гц. Положительный полюс источника заземлен. Данные основных вторичных источников сведены в табл. 2.13.

Первичный источник питания аппаратуры ИКМ-30 обеспечивает напряжение постоянного тока ( $60 \pm 6$ ) В при допустимой пульсации не более 0,6 В. Положительный полюс источника заземлен.

Данные вторичного источника приведены в табл. 2.14.

Блоки дистанционного питания аппаратуры ИКМ-30 выпускаются двух типов: обычные и для коротких линий. Обычный блок ДП позволяет обеспечивать питанием до десяти линейных регенераторов, напряжение на его выходе при этом достигает 240 В. Блок для коротких линий (ДПК) обеспечивает дистанционным питанием не более двух линейных регенераторов, напряжение на его выходе не превышает 54 В. Выходной ток блоков ДП и ДПК стабилизирован и равен ( $110 \pm 11$ ) мА.

## Глава 3. ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО МО СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

### 3.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЕАСС И ЗАДАЧИ МО

Развитие первичной сети ЕАСС и совершенствование всей системы технической эксплуатации происходит на базе основных принципов ЕАСС. Они рассчитаны до конца перестройки первичной сети в соответствии с планом создания ЕАСС. На основе этого плана строится и система МО первичной сети, внедряются новые средства и методики выполнения измерений, происходит поэтапная автоматизация измерений, меняется характер метрологической деятельности.

Рассмотрим связь положений МО с основными принципами ЕАСС. Последние можно разделить на две большие группы — ор-



ганизационно-технического единства и автоматизации при обеспечении высоких технико-экономических показателей.

К принципам организационно-технического единства относят следующие:

строительство ЕАСС во всех ее звеньях по единому плану, обеспечивающему экономичное решение задачи развития ЕАСС на каждом этапе и исключающему замораживание мощностей средств связи;

единая техническая политика, обеспечивающая построение всех сетей в направлении их пропорционального развития;

использование как на общегосударственных, так и на ведомственных сетях единого комплекса типовых и максимально унифицированных технических средств, отвечающих общегосударственным техническим требованиям;

применение, как указывалось выше, единой номенклатуры типовых каналов передачи и сетевых трактов;

использование единой системы технической эксплуатации (СТЭ).

Следование единым принципам на всех этапах развития ЕАСС обеспечило высокую степень стандартизации параметров каналов и трактов, унификацию технических средств. Это позволяет с учетом наличия единой СТЭ стремиться к единообразию СИ, широкому внедрению стандартизованных методик выполнения измерений и на этой основе добиваться требуемых единства и достоверности измерений на первичной сети.

Важно подчеркнуть взаимную связь задач, решаемых в отрасли электросвязи, с возможностью МО этих работ. Установление необходимой номенклатуры нормируемых электрических параметров каналов, трактов, аппаратуры и полей допусков на значения этих параметров зависит от возможности обеспечения требуемой достоверности измерительного контроля в процессе настройки и эксплуатации сети при целесообразных затратах. Нормирование предопределяет, с одной стороны, уровень качества, а с другой — объемы работ по измерительному контролю нормированных параметров и требования к средствам измерений.

Нормирование трактов и каналов первичной сети ЕАСС осуществляется на базе требований вторичных сетей и других потребителей. При этом исходят из условий создания типовых трактов и каналов передачи, пригодных для передачи наиболее массовых видов сообщений. Дополнительные требования отдельных потребителей, имеющих малый процент каналов, обеспечиваются оконечной аппаратурой этих потребителей. Одновременно вырабатываются нормы на каналы и тракты существующей и перспективной сетей. Исходя из качественных требований разработаны и приняты номинальные цепи для систем передачи с частотным и временным разделением каналов (ЧРК и ВРК) первичной сети. Нормирование перспективной сети осуществляется в соответствии с номинальными цепями сетевых трактов и каналов передачи, которые определяют дальность передачи и состав аппаратуры.

Нормирование осуществляется на основе общих принципов стандартизации. Так, для ЛТ оно производится с учетом выполнения норм на сетевые тракты и каналы. Нормирование местной сети осуществляется исходя из норм на зонную сеть и условий построения аппаратуры. Нормирование сетевых трактов и каналов передачи ЧРК и ВРК выполняется по одним и тем же параметрам.

При внедрении на сети смешанных аналого-цифровых трактов и каналов передачи принято, что их параметры должны соответствовать параметрам каналов и трактов систем передачи ЧРК.

Для каждой вторичной сети разрабатываются соответствующие номинальные цепи, согласованные с номинальными цепями первичной сети. Разработка технических требований к оконечным устройствам вторичных сетей и потребителей производится на основе эксплуатационных норм на сетевые тракты и каналы передачи для существующей первичной сети и норм на каналы электросвязи.

Наряду с сетевыми трактами нормируются каналы электросвязи телефонной, телеграфной и других вторичных сетей и соединительные линии вторичных сетей. Нормирование их происходит по параметрам трактов и каналов первичной сети и увязывается по численным значениям.

После утверждения норм им должны соответствовать все электрические характеристики и параметры трактов и каналов ЕАСС и их составных частей.

Нормами, как известно, называются обязательные для выполнения требования. Они являются основой проектирования, строительства и эксплуатации систем связи.

Цель и значение электрических измерений трактов и каналов — подтвердить соответствие электрических характеристик ожидаемым или допустимым значениям.

При нормировании особое место отводится измерительному контролю нормированных значений. От метролога требуется умение определять показатели достоверности контроля по известным или установленным характеристикам погрешности измерений при контроле и параметрам методик контроля. Методики измерительного контроля приводятся в руководствах по измерениям или разрабатываются так же, как и методики выполнения измерений.

Большое значение в совершенствовании СТЭ и МО первичной сети имеют дальнейшее развитие ЕАСС и поэтапная автоматизация СТЭ — создание автоматической СТЭ (АСТЭ). Поэтапно параллельно происходит и автоматизация поверки и технического обслуживания средств измерений. Эти процессы взаимосвязаны и взаимно обусловлены, так, без автоматизации средств измерений переход к АСТЭ невозможен. Внедрение автоматизированных средств измерений вплоть до информационно-измерительных систем может оказаться неэффективным без комплексной автоматизации основных процессов содержания средств измерений, включая поверку, ремонт, учет и т. д. Работы по автоматизации СИ

узов ведомственного назначения и основных процессов их МО также основываются на принципах ЕАСС.

*Принципами автоматизации ЕАСС являются:*

автоматизация процесса оперативно-технического управления первичной сетью, и в первую очередь автоматизация процессов сбора и обработки информации (включая измерительную), необходимой для принятия решений, обеспечивающих работоспособность первичной сети;

автоматизация процессов обслуживания систем передачи, включая автоматизацию процессов измерения параметров каналов и трактов и отыскание мест повреждения;

автоматизация распределения потоков сообщений;

внедрение автоматизированных средств связи;

автоматизация систем управления вторичной сетью и ввода информации в сеть созданием автоматических устройств для приема документальных сообщений, например телеграмм и фототелеграмм.

Автоматизация процесса измерений, сбора и обработки измерительной информации, внедрение новых автоматических СИ, измерительно-вычислительных комплексов и информационно-измерительных систем идет в тесной связи и в рамках автоматизации системы технической эксплуатации. Метрологическое обеспечение автоматических СИ, измерительных систем и комплексов имеет свою специфику, в частности, стимулирует автоматизацию технических средств МО, всего процесса поверки и МО. В соответствии с действующими НТД Министерства связи СССР работы по автоматизации измерений и МО отнесены к основным видам производственной деятельности предприятий связи и возложены на работников метрологических служб и привлекаемый инженерно-технический персонал, включая работников эксплуатации.

### 3.2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МО

*Система технической эксплуатации первичной сети ЕАСС* представляет собой совокупность методов, алгоритмов, комплекса технических средств, эксплуатационный персонал, необходимый для обслуживания и управления трактами, каналами передачи и обслуживания сооружений и аппаратуры первичной сети.

Основными составляющими СТЭ являются система оперативно-технического обслуживания (СОТО) и система оперативно-технического управления (СОТУ). На рис. 3.1 изображена упрощенная структурная схема технического обслуживания.

При автоматизации процессов СОТО и СОТУ они становятся автоматизированными системами — АСОТО и АСОТУ, а система технической эксплуатации — АСТЭ.

Система технической эксплуатации, как известно, строится по территориально-иерархическому принципу и включает ряд уровней.



Рис. 3.1

Основными задачами СТЭ (АСТЭ) являются обеспечение эффективного функционирования первичной сети ЕАСС при заданном качестве и эксплуатационной надежности трактов и каналов передачи; дальнейшее развитие и систематическое совершенствование сети, улучшение характеристик оборудования, аппаратуры, трактов и каналов передачи для удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения в услугах связи.

В свою очередь, СОТО (АСОТО) предназначена для обеспечения работоспособности первичной сети ЕАСС, содержания аппаратуры и сооружений в пределах установленных эксплуатационных норм.

Среди основных задач СОТО (АСОТО) можно выделить две, имеющие самое непосредственное отношение к измерительной технике и метрологическому обеспечению:

1. Эксплуатационный контроль качества объектов эксплуатационного контроля (ОЭК) и их элементов для выявления, предотвращения и прогнозирования отказов, а также поддержания качественных показателей в заданных пределах (ОЭК — это линии передачи, линейные тракты систем передачи, сетевые тракты и типовые каналы передачи, а также их участки, оборудование, аппаратура узлов, станций, усилительных пунктов и их отдельные элементы). Обработка и анализ полученных результатов контроля позволяет в случае необходимости составлять заявки на вывод из эксплуатации каналов и трактов для устранения неисправностей.

2. Анализ первичных сигналов и определение характера и места неисправности без закрытия действия трактов и каналов передачи производится для последующего выполнения ремонтно-восстановительных и ремонтно-настроечных работ.

Вследствие этого необходимо обеспечить узлы и станции измерительной техникой, организовать измерительные линии, стационарные измерительные места с автоматизированными полями подключения трактов и каналов передачи, автоматизировать процессы документирования результатов контроля, измерений, настройки и паспортизации.

Автоматизация процессов обслуживания производится с использованием вычислительной техники и нестандартных средств организации сбора, хранения и отображения первичных сигналов.

Методами СОТО (АСОТО) являются *контрольно-корректирующий* (КК) и *планово-профилактический* (ПП) (см. рис. 3.1).

Эти методы представляют собой комплексы организационно-технических мероприятий, направленных на своевременное предупреждение появления неисправностей (ПП) или оперативное выявление неисправностей (КК) и их устранение в обоих случаях.

Метод КК включает в себя непрерывный периодический и эпизодический эксплуатационный контроль, а также оперативно-технический контроль. Применяется при обслуживании трактов и каналов передачи аппаратуры второго и последующих поколений систем передачи. Осуществляется в основном без вывода из эксплуатации каналов и трактов.

Согласно ПП методу предусматривается непрерывный, периодический и эпизодический эксплуатационный контроль, плановые ремонтно-настроечные работы с закрытием трактов и каналов передачи и др. Контроль при ПП методе упрощен, так как проводится с закрытием трактов без загрузки. Применяется при обслуживании аппаратуры и систем передачи первого поколения (с электровакуумными приборами, реле с механическими контактами и другим оборудованием, требующим чистки и регулировки).

Преимущества ПП метода: снижает отказы оборудования, позволяет достичь высокого качества обслуживания. Недостатки ПП метода: большая трудоемкость; возможность внесения непреднамеренных поломок; непроизводительные затраты на профилактические замены.

В новом оборудовании поток отказов не изменяется во времени, поэтому для обслуживания аппаратуры, не имеющей механических регулировок, рекомендуется метод КК.

Основное преимущество КК метода — резкое снижение трудоемкости обслуживания из-за исключения планово-профилактических работ. Однако при этом возможно определенное ухудшение качества эксплуатации каналов, трактов, аппаратуры и сооружений, так как необходимость обслуживания между контрольными измерениями определяется лишь по сигналам эксплуатационного контроля и заявкам потребителей.

Таким образом, усложнение сети и ее эксплуатации, переход к автоматизированным системам передачи и технической эксплуатации резко ужесточили требования к качеству измерений на сети. Возникла необходимость интеграции СИ со средствами вычислительной техники и с аппаратурой систем передачи, а также их комплексной автоматизации. Совершенствование средств и методов измерений, технических средств МО (поверочных комплексов, образцовых СИ, поверочного и ремонтного оборудования), организационных основ МО объективно происходит поэтапно и на основе тех же принципов, что и развитие ЕАСС.

В научно-техническую документацию по развитию ЕАСС и совершенствованию СТЭ введены специальные разделы, в которых указывается, что под МО первичной сети ЕАСС понимается внедрение технических средств, научных основ, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений, проводимых на первичной сети. На передний план выдвигается необходимость проведения ряда комплексных научно-технических работ по МО электросвязи. Выполнение этих работ, требующих специальной инженерной подготовки как в области прикладной метрологии, так и в отрасли электросвязи возложено как на работников метрологических служб, так и на весь привлекаемый инженерно-технический персонал.

К актуальным работам по МО относится оценка и представление результатов измерений по МИ 1317—86 исключительно в зависимости от их цели, что в ряде случаев приводит к уменьшению требований к точности СИ. При установлении норм (полей допусков) на электрические параметры каналов и трактов учитывается не только необходимость обеспечить требуемое их качество, но и возможность контроля соблюдения норм с помощью имеющихся и разрабатываемых СИ. Принимаются такие нормы погрешностей измерений, при которых может быть обеспечена требуемая достоверность измерительного контроля. Полагается, что при этом достигается требуемый уровень качества, а требования к точности СИ могут быть уменьшены. Учитывается также, что погрешность СИ в реальных условиях применения (в цехах, усилительных пунктах и т. д.) сложным образом зависит от многих влияющих величин и неинформативных параметров сигналов. Расчет ее с учетом вероятностного характера отдельных составляющих позволяет перейти от традиционной до недавнего времени оценки «сверху» к более оправданной — вероятностной. Это, в свою очередь, эквивалентно определенному увеличению расчетного класса точности СИ при незначительной потере достоверности оценки погрешности. Аналогичным целям может служить и нахождение индивидуальных нормируемых характеристик СИ. Требуемая точность измерений обеспечивается, как известно, совместным применением метрологически аттестованных средств и методик выполнения измерений, причем всем результатам приписываются полученные при аттестации оценки погрешностей. И, наконец, только при оценке параметров погрешности в процессе самих измерений с

многократными наблюдениями используется статистическая оценка. Ниже приведены практические рекомендации и примеры их применения при расчетах.

### 3.3. ИЗМЕРЕНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ И КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ

Развитие науки и техники, в частности и отрасли связи, повышение требований к качеству продукции и эффективности производства привели к радикальным изменениям требований к измерениям и оценкам их результатов. Некорректная оценка погрешности измерений чревата большими экономическими потерями, а иногда и нежелательными техническими последствиями. Одной из важных тенденций развития прикладной метрологии является стремление приблизить оценку погрешности измерений к ее действительному значению. Причем так давать оценку, чтобы она в вероятностном смысле оставалась оценкой «сверху». Правомерность вероятностного подхода, при котором допускается вероятность неверной оценки результата измерений, зависит от степени ответственности практически решаемых задач. В отрасли связи требуемая стандартами и правилами эксплуатации точность измерений вплотную приближается к точности, которую могут обеспечить исходные образцовые СИ и даже рабочие эталоны. Принятую оценку предела допускаемой погрешности как утроенную погрешность СИ в настоящее время признать корректной нельзя, так как она завышена. Поэтому, допуская вероятностный подход к оценке погрешности измерений, достоверности контроля параметров каналов и трактов, испытаний продукции связи и достоверности поверки СИ, можно добиваться определенных технико-экономических результатов.

Ниже рассматриваются классификация, формы представления результатов измерений и их использование при испытаниях и контроле, в частности инженерные способы расчета характеристик погрешности испытаний и основных показателей достоверности методик измерительного контроля. Методика оценки технико-экономического эффекта от данного вида метрологической деятельности приведена в § 7.3.

Прежде всего, необходимо уяснить, что измерения не являются самоцелью, а имеют вполне определенные области использования. В зависимости от решаемых задач существенно изменяется специфика измерений. Оценка истинного значения измеряемой величины не конечная цель измерений, а является промежуточным результатом. Вследствие этого номенклатура характеристик погрешностей измерений выбирается исходя из требуемого конечного результата (будь то результат испытаний, контроль соблюдения норм либо оценка эффективности управления сетью и т. п.), методики

его расчета на основании данных измерений, формы представления показателей точности, достоверности конечного результата.

В настоящее время характеристики погрешностей измерений в соответствии с МИ 1317—86 разбиты на отдельные группы. В зависимости от целей и условий проведения измерений различают нормы их погрешностей, приписанные характеристики (вероятностные оценки), а также статистические оценки погрешностей измерений. Результат измерений служит реализацией случайной величины, равной сумме истинного значения измеряемой величины и погрешности измерений.

Рассмотрим вероятностные характеристики и статистические оценки погрешности измерений и ее составляющих, приведенные в табл. 3.1.

**Нормы характеристик погрешностей.** При массовых технических измерениях в процессе разработки, испытаний, производства и эксплуатации продукции применяются вероятностные характеристики (характеристики генеральной совокупности) случайной величины — погрешности измерений. Так, если характеристики погрешностей задаются в качестве допускаемых или требуемых, применяется группа норм характеристик погрешностей измерений или, кратко, нормы погрешностей измерений. Таким образом, например, формулируются требования на разработку типовой методики выполнения измерений (МВИ).

**Пример.** Запись в ТЗ на разработку МВИ остаточного затухания (норма).

Границы, в которых относительная погрешность измерений затухания должна находиться с заданной вероятностью (границы допускаемого интервала  $\Delta_p = \pm 2$  дБн,  $P = 0,95$ ). Условия, при которых погрешность измерений должна находиться в заданных границах: диапазон значений измеряемого уровня от  $-40$  до  $+10$  дБн, частота от 1 до 10 МГц, форма напряжения — гармоническая.

**Приписанные характеристики погрешностей.** Если характеристики погрешностей измерений задаются в виде приписанных совокупностей измерений, выполняемых по стандартизированной или аттестованной методике, то они объединяются в группу приписанных. Приписанными, например, являются погрешности всех эксплуатационных измерений на системах передачи, выполненных по стандартизированным методикам или руководствам. Эта совокупность также представляет собой статистические (выборочные) характеристики случайной величины — погрешности измерений.

**Статистические оценки характеристик погрешностей.** При измерениях, выполняемых с многократными наблюдениями в ходе метрологических работ, НИР и ОКР, применяют статистические оценки погрешности измерений. Они представляют собой статистические (выборочные) характеристики случайной величины — погрешности измерений — и отражают близость отдельного, экспериментально уже полученного результата измерений к истинному значению измеряемой величины.



Таблица 3.1

Характеристики погрешности и ее составляющих	Нормы характеристик погрешностей	Приписанные характеристики погрешностей	Статистические оценки характеристик погрешностей
Область применения	Задаются в качестве требуемых или допускаемых при технических измерениях	Приписываются совокупности измерений, выполненных по стандартной или аттестованной МВИ	Приводятся, если результат измерений получен по МВИ, по которой погрешности оцениваются в процессе или непосредственно перед самими измерениями
<i>Погрешности измерений:</i>  Среднеквадратическое отклонение погрешности измерений	Предел допускаемых значений $\sigma_p[\Delta]$	Наибольшее возможное значение $\sigma_m[\Delta]$	Оценка $\tilde{\sigma}[\Delta]$ и (в случае необходимости) нижняя $\sigma_1[\Delta]$ и верхняя $\sigma_n[\Delta]$ границы доверительного интервала, доверительная вероятность $P_{до в}$
Границы, в которых погрешность измерений находится с заданной вероятностью	Нижняя $\Delta_{p1}$ и верхняя $\Delta_{pn}$ границы допускаемого интервала, вероятность $P$	Нижняя $\Delta_1$ и верхняя $\Delta_n$ границы интервала, вероятность $P$	Оценка нижней $\tilde{\Delta}_1$ и верхней $\tilde{\Delta}_n$ границ интервала, вероятность $P$
<i>Случайной составляющей:</i>  Среднеквадратическое отклонение	Предел допускаемых значений $\sigma_p[\dot{\Delta}]$	Наибольшее возможное значение $\sigma_m[\dot{\Delta}]$	Оценка $\tilde{\sigma}[\dot{\Delta}]$ и (в случае необходимости) нижняя $\sigma_1[\dot{\Delta}]$ и (или) верхняя $\sigma_n[\dot{\Delta}]$ границы доверительного интервала, доверительная вероятность $P_{до в}$
Нормализованная автокорреляционная функция	Нормированная функция $\gamma_{\Delta}^{\circ}[\Delta]$ (в число требуемых характеристик эта функция не входит)	Приписанная функция $\gamma_{\Delta}^{\circ}(\tau)$	Оценка характеристики $\tilde{\gamma}_{\Delta}^{\circ}(\tau)$

Характеристики погрешности и ее составляющих	Нормы характеристик погрешностей	Приписанные характеристики погрешностей	Статистические оценки характеристик погрешностей
<p>Характеристики нормализованной автокорреляционной функции (например, интервал корреляции)</p> <p><i>Неисключенной систематической составляющей:</i></p> <p>Среднеквадратическое отклонение неисключенной систематической составляющей</p> <p>Границы, в которых неисключенная систематическая составляющая находится с заданной вероятностью</p>	<p>Нижний и (или) верхний пределы допускаемых значений характеристики</p> <p>Предел допускаемых значений <math>\sigma_B[\Delta_s]</math></p> <p>Нижняя <math>\Delta_{sp1}</math> и верхняя <math>\Delta_{spn}</math> границы допускаемого интервала, вероятностью <math>P</math></p>	<p>Наибольшее и наименьшее возможные значения характеристики</p> <p>Наибольшее возможное значение <math>\sigma_{M1}[\Delta_s]</math></p> <p>Нижняя <math>\Delta_{s1}</math> и верхняя <math>\Delta_{sn}</math> границы интервала, вероятность <math>P</math></p>	<p>Оценка характеристики</p> <p>Оценка <math>\tilde{\sigma}[\Delta_s]</math> и (в случае необходимости) нижняя <math>\sigma_1[\Delta_s]</math> и (или) верхняя <math>\sigma_n[\Delta_s]</math> границы доверительного интервала, доверительная вероятность <math>P_{дов}</math></p> <p>Оценка нижней <math>\tilde{\Delta}_{s1}</math> и верхней <math>\tilde{\Delta}_{sn}</math> границ интервала, вероятность <math>P</math></p>

**Примечания:**

1. Результаты измерений могут быть с ссылками на аттестат МВИ.
2. При одинаковых числовых значениях (без учета знаков) нижних и верхних границ характеристик погрешности указываются перед характеристиками соответственно знаки «±».
3. Рекомендуемое значение доверительной вероятности  $P=0,95$ .
4. Пределы допускаемых значений характеристик погрешности определяют наибольший по модулю интервал, в котором должна находиться данная характеристика (с вероятностью  $P=1$ ).
5. Если вероятность, для которой нормирован допускаемый интервал погрешности измерений, равна единице ( $P=1$ ), т. е. ни одна из реализаций погрешности измерений не должна выходить за эти границы, то их можно называть пределами допускаемых значений, и при этом вероятность  $P=1$  не указывается.

В случаях, когда результаты измерений являются окончательными, пригодными для непосредственного решения определенной технической задачи и не предназначены для совместного использования с другими результатами измерений и для расчетов, применяются в основном интервальные характеристики погрешности (это границы, в пределах которых погрешность находится с известной (заданной) вероятностью). Во всех других случаях рекомендуется использовать точечные оценки погрешности — средние квадратические отклонения погрешности.

Результаты измерений представляются именованным или неименованным числом. Вместе с результатом измерений приводятся характеристики его погрешности или их статистические оценки из числа приведенных в табл. 3.1 с указанием совокупности условий, для которых они действительны. В состав этих условий могут входить: диапазон значений измеряемой величины; частотные спектры измеряемой величины, диапазоны значений всех величин, существенно влияющих на погрешность измерений, а также другие факторы.

Если результат измерений получен по такой методике, при которой характеристики погрешности измерений оценивались в процессе самих измерений или непосредственно перед ними, результат измерений сопровождается статистическими оценками характеристик погрешности измерений. В этом случае допускается представление результата измерений только доверительным интервалом, покрывающим с указываемой вероятностью истинное значение измеряемой величины.

Представление результатов измерений с многократными наблюдениями должно сопровождаться указанием числа наблюдений и интервала времени, в течение которого они проведены. При необходимости указывается физическая модель объекта измерений (например, вид измерительного сигнала) и параметры, принятые в качестве измеряемых величин (например, гармонический, средневывпрямленное значение).

Характеристики погрешности измерений и их статистические оценки выражаются числом, содержащим не более двух значащих цифр. Для статистических оценок третий разряд округляется в большую сторону. Допускается погрешность выражать и числами, содержащими одну значащую цифру.

В отрасли связи в процессе технической эксплуатации чаще всего производится контроль параметров на соответствие требованиям НТД. Требование (например, электрических норм) задается обычно в виде  $x_l \leq x \leq x_h$  при  $\xi_1 = \xi_{1N}, \dots, \xi_m = \xi_{mN}$ , где  $x$  — истинное значение контролируемого параметра;  $x_h$  и  $x_l$  — верхняя и нижняя границы допускаемых значений параметра  $x$  соответственно;  $\xi_1, \dots, \xi_m$  — параметры условий контроля;  $\xi_{1N}, \dots, \xi_{mN}$  — номинальные значения параметров условий контроля;  $m$  — число существенно влияющих и, следовательно, учитываемых условий контроля.

Результатом контроля образца является вывод о том, находится или нет значение контролируемого параметра в заданных границах. Результат контроля сопровождается указанием показателей достоверности контроля, а также номинальных значений параметров условий контроля и характеристик погрешностей задания этих параметров.

К методикам измерительного контроля и к устройствам допускаемого контроля относятся такие показатели достоверности контроля, как наибольшая вероятность ошибочного признания годным любого в действительности дефектного образца; наибольшая вероятность ошибочного отнесения к дефектным в действительности годных образцов; наибольшее отклонение контролируемого параметра от номинального значения у образцов, ошибочно признанных годными.

В приводимых результатах контроля указывается либо вероятность неправильного суждения о годности образца, признанного по результатам контроля годным, либо вероятность неправильности суждения о дефектности образца, признанного по результатам контроля дефектным. Здесь для общности рассуждений под контролируемым параметром как образца, так и измерительного сигнала и т. п. понимается одно и то же.

Математические определения показателей достоверности контроля и их функциональные связи с характеристиками погрешностей измерений приведены в МИ 1317—86 в справочных приложениях 4—5. Они близки к понятиям, связанным с достоверностью поверки СИ. Поэтому математические аспекты этих вопросов подробно анализируются совместно в гл. 6 и здесь не рассматриваются. Далее приводятся лишь инженерные способы определения основных показателей достоверности методик контроля по известным характеристикам погрешности измерений при контроле без их подробного обоснования.

Предполагается, что выполняются условия на функцию плотности распределения погрешности измерений в отношении ее близости к нормальному усеченному закону и др.

К параметрам методик измерительного контроля относятся: граница  $G$  поля допуска для отклонения  $\Delta_x$  контролируемого параметра  $x$  от номинального значения  $x_N$ ; граница  $G_r$  поля контрольного допуска для отклонения  $\Delta_x$ ; граница  $G_B$  такой области значений отклонений  $\Delta_x$ , для которой отрицательные результаты контроля принято считать ошибочными.

В качестве известных характеристик погрешностей измерений принимаются либо среднее квадратическое отклонение (его наибольшее возможное значение  $\sigma_M[\Delta]$ , или предел допускаемого значения), либо интервал, в котором с вероятностью, равной единице, находится погрешность измерений, или пределы допускаемых погрешностей измерений  $\pm \Delta_r$ .

Процесс определения основных показателей достоверности методик контроля для удобства представлен в виде алгоритма (рис. 3.2).

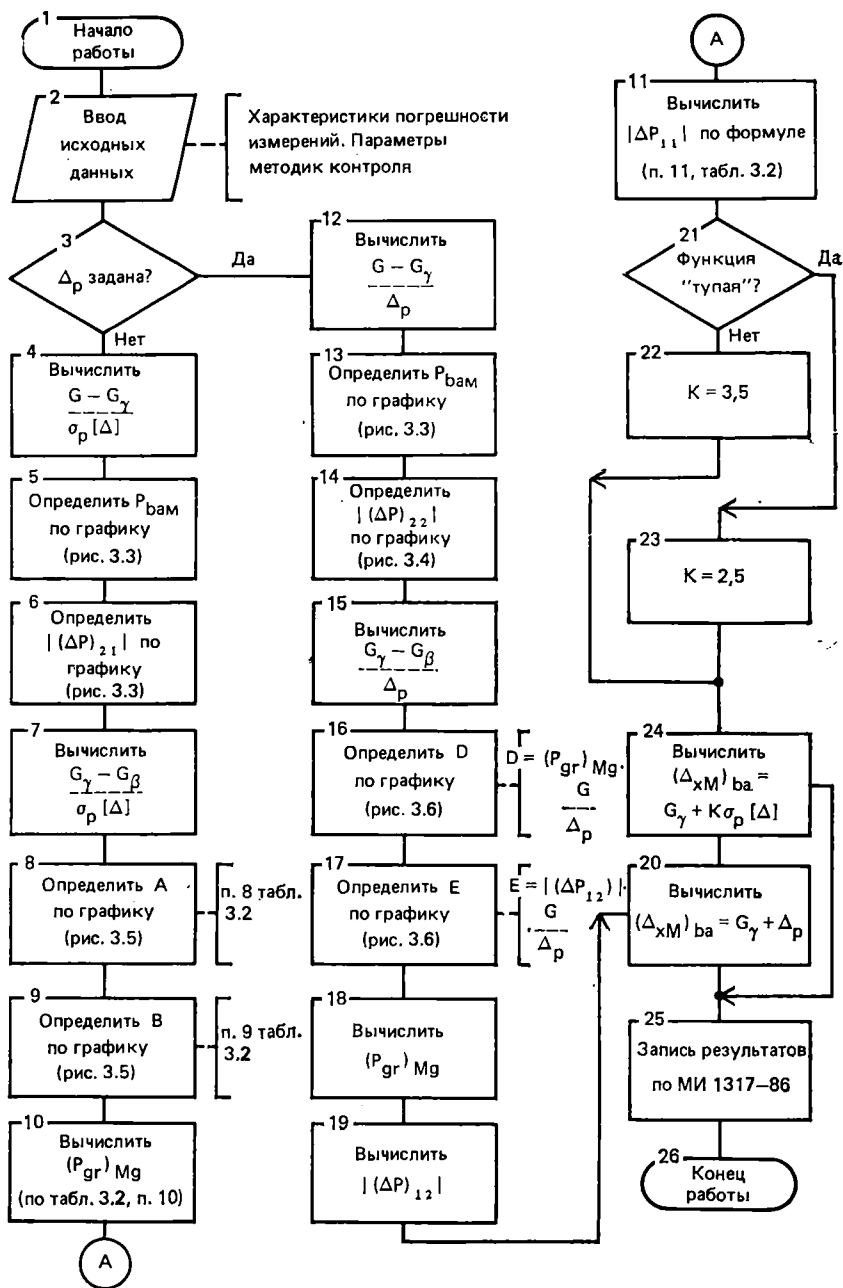


Рис. 3.2

Таблица 3.2

Номер блока (шага)	Содержание и порядок выполнения шага	Результат выполнения
1	Начало работы	
2	Ввод значений параметров методик контроля и характеристики погрешности	Приведены в данных
3	$\Delta_p$ задана?	Нет
4	Вычислить $\frac{G - G_\gamma}{\sigma_p [\Delta]}$	1,33
5	Определить по графику, рис. 3.3 $P_{\text{взм}}$	0,10
6	Определить по графику, рис. 3.4 $P_{\text{взм}} =  (\Delta P)_{21} $	0,02
7	Вычислить $\frac{G_\gamma - G_\beta}{\sigma_p [\Delta]}$	-0,67
8	Определить по графику, рис. 3.5 $A = \frac{(P_{gr})_{Mg}}{\sigma_p [\Delta]}$	0,9
9	Определить по графику, рис. 3.6 $B = \frac{ (\Delta P_{11}) }{\sigma_p [\Delta]}$	0,01
10	Вычислить $(P_{gr})_{Mg} = (P_{gr})_{Mg} \frac{G}{\sigma_p [\Delta]} \frac{\sigma_p [\Delta]}{G}$	$0,9 \cdot \frac{0,15G}{G} = 0,14$
11	Вычислить $ (\Delta P_{11})  =  (\Delta P_{11})  \frac{G}{\sigma_p [\Delta]} \frac{\sigma_p [\Delta]}{G}$	$0,01 \cdot \frac{0,15G}{G} = 0,002$
21	Функция плотности распределения вероятности «тупая»?	Нет
22	$K_3 = K = 3,5$	3,5
24	Вычислить $(\Delta_{xM})_{\text{вз}} = G_\gamma + K_3 \sigma_p [\Delta]$	1,3G
25	Запись результатов по МИ 1317-86 $P_{\text{взм}} = 0,10 \pm 0,02$ ; $(\Delta_{xM})_{\text{вз}} = 1,3G$ $(P_{gr})_{Mg} = 0,140 \pm 0,002$	
26	Останов	

Пример применения предложенного алгоритма.

Пусть заданы следующие значения параметров методики измерительного контроля и характеристики погрешностей измерений:  $G_\gamma = 0,8G$ ,  $G_\beta = 0,9G$  и  $\sigma_p [\Delta] = 0,15G$ .

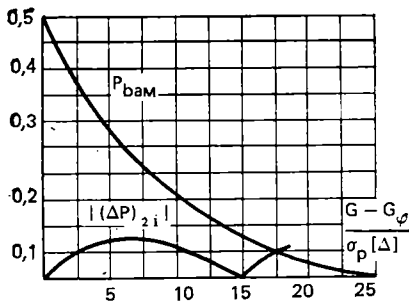


Рис. 3.3

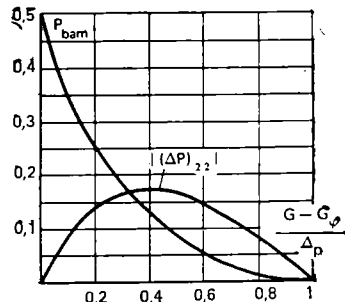


Рис. 3.4

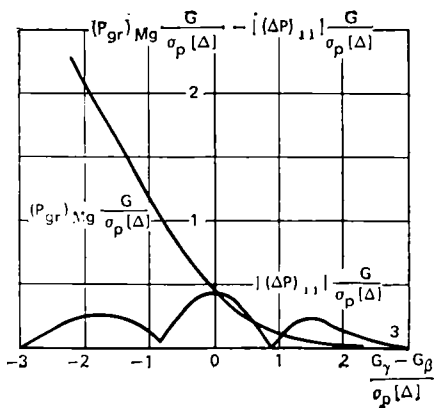


Рис. 3.5

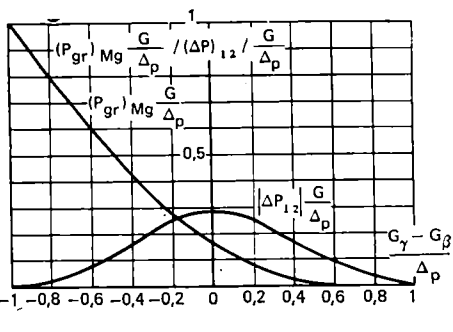


Рис. 3.6

Определение основных показателей достоверности контроля, соответствующих данной методике, производится по алгоритму рис. 3.2. Результаты действий на каждом этапе представлены в табл. 3.2.

При расчетах по предложенному алгоритму используются графики рис. 3.3—3.6.

#### 3.4. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Погрешность измерений обусловлена в общем случае рядом факторов. Прежде всего, она зависит от свойств применяемых СИ — значения инструментальной погрешности измерений, а также способов применения СИ — методик выполнения измерений, условий, в которых производятся измерения, и ряда других факторов. В связи с автоматизацией процессов измерений на предприятиях связи усложняются условия эксплуатации и повышаются скорости измерений. Изменения окружающей среды часто являются факторами, влияющими на погрешность измерений. В этих условиях оценка инструментальной составляющей погрешности измерений в реальных условиях применения СИ оказывается сложной. Она может производиться только на основании информации о свойствах СИ — метрологических характеристик (МХ) СИ, характере изменений влияющих величин и свойств объекта измерений, определяющих его реакцию при подключении средства измерений.

Сведения о МХ СИ, как правило, содержатся в эксплуатационной документации. Лишь в случаях, когда данных о нормированных типовых МХ недостаточно для эффективного использования СИ, экспериментально исследуют конкретные экземпляры СИ для определения индивидуальных МХ. Согласно ГОСТ 8.009—84 в эксплуатационной документации для конкретных типов СИ ус-

тановлены соответствующие комплексы нормируемых МХ (НМХ).

Инструментальная составляющая при этом представляется в виде ряда составляющих, обусловленных отдельными метрологическими свойствами СИ. Принято выделять четыре составляющие:

основную погрешность, обусловленную неидеальностью собственных свойств СИ, т. е. отличием в нормальных условиях действительных характеристик СИ от номинальных;

дополнительную погрешность, вызванную реакцией СИ на изменения внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала относительно их нормальных значений;

динамическую погрешность, обусловленную реакцией СИ на скорость (частоту) изменения входного сигнала;

погрешность взаимодействия, связанную с возможным изменением значения измеряемой величины относительно того значения, которое имела измеряемая величина до подключения СИ к объекту измерений и определение которого является целью измерений.

Указанные составляющие — случайные величины и инструментальная составляющая погрешности измерений по ГОСТ 8.009—84 — определяется как статистическая (объединение) сумма составляющих. Это важно учитывать, поскольку во всех НТД до введения этого стандарта НМХ указывались лишь в виде пределов допускаемых значений некоторых отдельных составляющих погрешности. Такому способу задания НМХ соответствовало только арифметическое суммирование, что приводило к заведомо завышенной оценке погрешности. Поэтому принципиальной особенностью регламентированных в ГОСТ 8.009—84 групп НМХ явилось то, что они позволили определить не только математически строгие, но и приближенные, при этом достаточно достоверные для технических измерений оценки инструментальной составляющей погрешности измерений в реальных условиях применения СИ. Это существенно, так как требуемая точность даже эксплуатационных измерений в ЕАСС согласно ГОСТ 21655—87 «Каналы и тракты магистральной первичной сети единой автоматизированной системы связи. Электрические параметры и методы измерений» настолько высока, что выбор подходящих рабочих СИ уже становится затруднительным. Более корректная оценка точности измерений по существу стала важным резервом снижения требований к точности СИ.

При выборе методов и средств измерений, обеспечивающих заданные нормы точности измерений, рекомендуется пользоваться методическими указаниями РД 50-453—84 «Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации». В них установлены методы расчета характеристик составляющей погрешности прямых однократных измерений — погрешности СИ — по НМХ СИ в соответствии с ГОСТ 8.009—84, а также по известным характеристикам влияющих величин и входного сигнала. Ниже даны рекомендации по применению принятых методов расчета, возможности их реализации и примеры их использова-



ния для получения расчетной оценки погрешности СИ в конкретных условиях эксплуатации.

Нормирование МХ СИ конкретного типа осуществляется на основании двух возможных моделей их погрешностей в реальных условиях применения — с существенной и несущественной случайными составляющими основной погрешности (так называемые модели 1 и 2). Соответственно рассмотрим и два способа расчета характеристик погрешности.

Первый дает вероятностную оценку и заключается в статистическом объединении характеристик всех существенных пяти составляющих модели 1 и составляющей  $\Delta_{\text{int}}$ , обусловленной взаимодействием СИ с объектом измерений:

$$(\Delta_{\text{M1}})_1 = \Delta_{\text{os}} * \Delta_{\text{o}} * \Delta_{\text{он}} * \sum_{i=1}^l \Delta_{\text{ci}} * \Delta_{\text{dyn}} * \Delta_{\text{int}},$$

где  $\Delta_{\text{os}}$  — систематическая составляющая основной погрешности СИ;  $\Delta_{\text{o}}$  — случайная составляющая основной погрешности;  $\Delta_{\text{он}}$  — случайная составляющая основной погрешности, обусловленная гистерезисом;  $\sum_{i=1}^l \Delta_{\text{ci}}$  — объединение дополнительных погрешностей СИ  $\Delta_{\text{ci}}$ , обусловленных действием влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала СИ;  $\Delta_{\text{dyn}}$  — динамическая погрешность СИ, обусловленная влиянием скорости (частоты) измерения входного сигнала СИ;  $l$  — число учитываемых дополнительных погрешностей.

Согласно второму методу, когда за основу берется модель И погрешности СИ, арифметически суммируются модули наибольших возможных значений всех существенных составляющих инструментальной составляющей погрешности измерений. Эти значения представляют собой границы интервалов, в которых составляющие находятся с вероятностью, равной единице. Рассчитываемый по второму методу интервал погрешности представляет собой грубую, но надежную оценку «сверху» искомой инструментальной составляющей погрешности измерений, охватывающую все возможные, в том числе редко реализующиеся, значения погрешностей. Оценка «сверху» по второму методу согласно ГОСТ 8.009—84 и РД 50-453—84 допустима при наиболее ответственных измерениях, когда хотя бы маловероятное нарушение требований к точности измерений может привести к серьезным отрицательным техническим или экономическим последствиям или связано с угрозой здоровью и жизни людей, а также когда завышение требований к МХ СИ и связанные с этим дополнительные затраты не препятствуют применению таких СИ.

В остальных случаях, если при применении СИ данного типа допускается, чтобы погрешность измерений изредка превышала значение, рассчитанное по НМХ СИ, рекомендуется исходить из модели 1 и применять первый метод расчета.

На основе использования рекомендованных методов рассчитываются следующие характеристики погрешности СИ: математическое ожидание  $M[\Delta_{\text{СИ}}]$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma[\Delta_{\text{СИ}}]$  (СКО) погрешности СИ; нижняя  $\Delta_{\text{СИ.н}}$  и верхняя  $\Delta_{\text{СИ.в}}$  границы интервала, в котором с вероятностью  $P$  находится погрешность СИ.

Для расчета характеристик погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации используются НМХ типа СИ или конкретного экземпляра СИ, характеристики влияющих величин и входного сигнала.

Исходные данные для расчета первым методом.

*Нормируемые МХ СИ:* математическое ожидание  $M[\Delta_{\text{ос}}]$  и СКО систематической составляющей основной погрешности СИ;  $\sigma[\Delta_{\text{ос}}]$ ; предел  $\sigma_p[\Delta_{\text{о}}]$  допускаемого СКО случайной составляющей основной погрешности СИ; предел  $H_{\text{ор}}$  допускаемой вариации СИ при нормальных условиях, номинальная цена  $\mu_{\text{sf}}$  единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора; номинальная функция влияния  $\Psi_{\text{s.sf}}(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, p$  на систематическую составляющую  $\Psi_{\sigma.\text{sf}}(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, l$  на СКО случайной составляющей и  $\Psi_{\text{H.sf}}(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, k$  на вариацию СИ; одна из полных динамических характеристик СИ: номинальная переходная  $h_{\text{sf}}(t)$ , импульсная  $g_{\text{sf}}(t)$ , амплитудно-фазовая характеристики  $G_{\text{sf}}(j\omega)$ , номинальная передаточная функция  $G_{\text{sf}}(S)$ .

*Характеристики влияющих величин  $\xi_j$ :* значения влияющих величин или математическое ожидание  $M[\xi_j]$ , СКО  $\sigma[\xi_j]$ , наименьшее  $\xi_{\text{н}j}$  и наибольшее  $\xi_{\text{в}j}$  значения, соответствующие реальным условиям применения СИ,  $j=1, 2, \dots, p(l, k)$ .

*Характеристики входного сигнала  $x$ :* спектральная плотность  $S_x(\omega)$  или автокорреляционная функция  $R_x(\tau)$  входного сигнала СИ.

Исходные данные для расчета вторым методом.

*Нормируемые МХ СИ:* предел  $\Delta_{\text{ор}}$  допускаемых значений основной погрешности СИ; наибольшие допускаемые значения изменения  $e_p(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, p$  погрешности СИ, вызванные изменением влияющих величин или неинформативных параметров входного сигнала  $\xi_j$  в установленных пределах; номинальная АЧХ  $A_{\text{sf}}(\omega)$  СИ.

*Характеристики влияющих величин  $\xi_j$ :* значения  $\xi_j$  или наименьшие  $\xi_{\text{н}j}$  и наибольшие  $\xi_{\text{в}j}$ ,  $j=1, 2, \dots, p$  значения влияющих величин, соответствующих реальным условиям применения СИ.

*Характеристики входного сигнала  $x$ :* нижняя  $\omega_{\text{н}}$  и верхняя  $\omega_{\text{в}}$  границы спектра частот реального входного сигнала СИ.

Перечисленные НМХ указываются в НТД на СИ как характеристика любого экземпляра СИ данного типа. Вместо этих характеристик в качестве исходных данных могут использоваться индивидуальные МХ, определяемые в результате исследования конкретного экземпляра СИ. К ним относятся:  $\Delta_{\text{sm}}$  — наибольшая возможная по абсолютной величине, неисключенная систематическая

составляющая погрешности СИ, СКО случайной составляющей  $\sigma[\Delta]$ ; вариация СИ — Н; цена единицы наименьшего разряда кода цифрового измерительного прибора  $\mu$ ; функции влияния на систематическую составляющую погрешности СИ  $\Psi_s(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ ; на СКО случайной  $\Psi_\sigma(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, l$ ; на вариацию СИ  $\Psi_H(\xi_j)$ ,  $j=1, 2, \dots, k$ ; одна из полных динамических характеристик СИ.

Все исходные данные, используемые для расчета, должны быть приведены к одной и той же точке схемы измерений: входу или выходу СИ и выражены в единицах, обеспечивающих получение всех составляющих погрешности СИ в одних и тех же абсолютных или относительных единицах.

Рекомендации, содержащиеся в РД 50-453—84, целесообразно отобразить конкретными процедурами расчетов погрешности СИ в реальных условиях применения. Для упрощения расчетов каждая процедура представляется в виде алгоритма. Чтобы облегчить освоение методик, в качестве примеров применения алгоритмов приведены варианты расчетов, подробно рассмотренные в РД 50-453—84, приложение 2.

Первый метод расчета погрешности СИ в реальных условиях применения включает определение статистических моментов составляющих погрешности СИ. Сведения же о законах и параметрах распределения влияющих величин в инженерной практике, как правило, отсутствуют. Далее, сохраняя общность рассуждений, будем полагать, что характеристики влияющих величин задаются своими значениями, а функции влияния являются линейными

$$\Psi_{s, sf}(\xi_j) = K_{s, sf j}(\xi_j - \xi_{ref, j}).$$

Математическое ожидание статистической составляющей в общем случае вычисляется по формуле

$$M[\Delta_\xi] = M[\Delta_{os}] + \sum_{j=1}^n \Psi_{s, sf j}(\xi_j). \quad (3.1)$$

Здесь суммирование выполняется для  $n$  влияющих величин, значения которых в момент измерения отличаются от нормальных, установленных для данного СИ.

Если СИ с индивидуальными НМХ или если установлен предел  $\Delta_{osp}$  без указания  $M[\Delta_{os}]$  и нет оснований предполагать несимметричность распределения систематической составляющей, допускается пользоваться предположением  $M[\Delta_{os}] = 0$ .

Дисперсия статической составляющей

$$D[\Delta_\xi] = \sigma^2[\Delta_{os}] + \left\{ \sigma_p[\Delta_0] + \sum_{j=1}^l \Psi_{\sigma sf}(\xi_j) \right\}^2 + \frac{1}{12} \left[ H_{op} + \sum_{j=1}^k \Psi_{H sf}(\xi_j) \right]^2 + \frac{\mu_{sf}^2}{12}, \quad (3.2)$$

где  $l, k$  — числа учитываемых влияющих величин на СКО случай-

ной составляющей погрешности и вариацию СИ (для аналоговых СИ последнее слагаемое принимается равным нулю).

Если нормирован предел  $\Delta_{osp}$  без указания  $\sigma[\Delta_{os}]$  и нет оснований предполагать несимметричность и полимодальность распределения систематической составляющей погрешности, допускается принимать  $\sigma[\Delta_{os}] = \Delta_{osp} / \sqrt{3}$ .

В случае СИ индивидуальными НМХ принимается  $\sigma[\Delta_{os}] = \Delta_{sm} / \sqrt{3}$ .

Дисперсия  $D[\Delta_{dyn}]$  приведенной к выходу динамической составляющей погрешности аналогового СИ, который может быть представлен как линейный, вычисляется по формуле

$$D[\Delta_{dyn}] = 2 \int_0^{\infty} |G_{sf}(j\omega) - S_{sf}(j\omega_0)|^2 S_x(\omega) d\omega. \quad (3.3)$$

Если в качестве характеристики входного сигнала задана его автокорреляционная функция, то осуществляется переход к спектральной плотности

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (3.4)$$

Переход от других полных динамических характеристик к амплитудно-фазовой производится с помощью известных формул: от передаточной функции  $G_{sf}(S)$  заменой  $S$  на  $j\omega$ ; от импульсной

$$G_{sf}(j\omega) = \int_0^{\infty} g_{sf}(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (3.5)$$

от переходной характеристики

$$G_{sf}(j\omega) = j\omega \int_0^{\infty} h_{sf}(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (3.6)$$

Для цифровых СИ динамическая составляющая погрешности рассчитывается по РД 50-148—79.

Полученные значения используются для расчета следующих характеристик погрешности СИ по ГОСТ 8.009—84 в реальных условиях эксплуатации СИ:

$$M[\Delta_{си}] = M[\Delta_{\xi}], \quad (3.7)$$

$$\sigma[\Delta_{си}] = \sqrt{D[\Delta_{\xi}] + D[\Delta_{dyn}]}$$

Нижняя и верхняя границы интервала, где с вероятностью  $P$  находится погрешность СИ, определяются по формулам:

$$\Delta_{си.н} = M[\Delta_{си}] - K\sigma[\Delta_{си}], \quad (3.8)$$

$$\Delta_{си.в} = M[\Delta_{си}] + K\sigma[\Delta_{си}]. \quad (3.9)$$

Значение  $K$  зависит от вида закона распределения погрешности СИ и выбранного значения вероятности  $P$  и может быть опре-

делено по графику рис. 3.7. Заштрихованная область соответствует возможным значениям  $K$ . Если закон распределения погрешности СИ может быть отнесен к числу симметричных законов с невозрастающей плотностью по мере удаления от центра распределения, то в качестве значения  $K$  принимается  $K_{\text{ср}}$ . В практике возможен случай, когда  $P=0,95$ ,  $K_{\text{ср}}=1,95$ , погрешность лежит в пределах  $\pm 16\%$ , что вполне приемлемо.

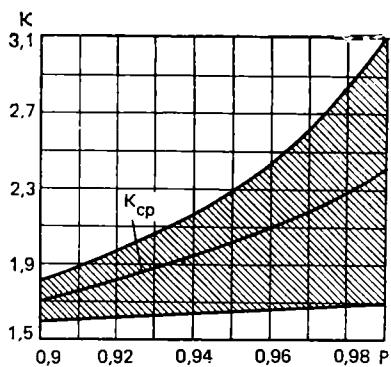


Рис. 3.7

На рис. 3.8 представлена функциональная схема расчета погрешности СИ в реальных условиях применения по первому методу. В блоках указаны ссылки на приведенные выше формулы, а для сравнительно редко встречающихся на практике случаев — на содержащиеся в РД 50-453—84 [с пометкой РД(...)]. Определение динамической составляющей погрешности СИ выделено в отдельную стандартную процедуру и описано блок-схемой рис. 3.9. Алгоритмы расчета совпадают с описанными выше. Процедуры сопровождаются примером применения (пример 1) с описанием пошагового их выполнения для случаев, подробно изложенных в РД 50-453—84, приложение 2.

Расчет погрешности СИ по второму методу немного проще и широко использовался до введения ГОСТ 8.009—84, однако дает, как указывалось выше, существенно завышенные требования к точности СИ.

Прежде всего определяются наибольшие по абсолютной величине возможные значения дополнительной погрешности СИ для каждой  $j$ -й влияющей величины

$$\Delta_{\text{сjm}} = \varepsilon_p(\xi_j) K_\varepsilon(\xi_j), \quad (3.10)$$

где из возможных принимается наихудший характер зависимости

$$K_\varepsilon(\xi_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } \xi_j = \xi_{\text{ref } j}; \\ 1, & \text{если } \xi_j \neq \xi_{\text{ref } j}, \end{cases} \quad (3.11)$$

если диапазон изменения  $\Delta\xi_{ej}$  влияющей величины, для которой нормирована  $\varepsilon_p(\xi_j)$ , равен диапазону рабочих условий применения СИ; или

$$K_\varepsilon(\xi_j) = \frac{|\xi_j - \xi_{j \text{ ref. } j}|}{\Delta\xi_{ej}}, \quad (3.12)$$

где  $\Delta\xi_{ej}$  соответствует лишь части диапазона рабочих условий. Если в результате дополнительного исследования определена функция влияния для конкретного экземпляра СИ, то расчет  $\Delta_{\text{сjm}}$  может производиться с этой функцией. В зависимости от исходных данных о влияющих величинах в качестве  $\xi_j$  используется либо





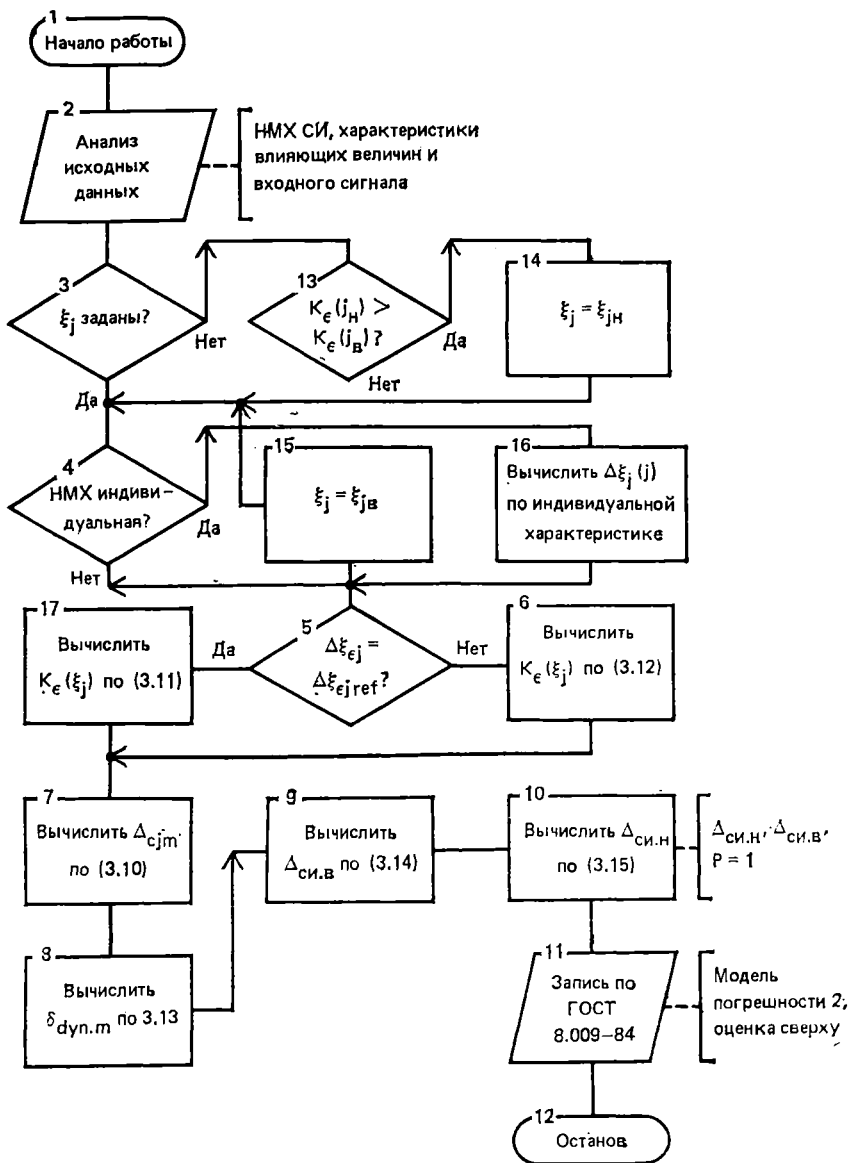


Рис. 3.10

Необходимо учитывать, что у большинства СИ так называемого узковедомственного назначения, нашедших применение в отрасли связи, МХ нормируются специфическим образом. Так, согласно ГОСТ 23854—79 «Измерители уровня. Общие технические требования и методы испытаний» у измерителей уровня (ИУ) аналоговых электрических сигналов в диапазоне частот каналов и



трактов ЕАСС нормируется основная погрешность или ее составляющие пределами  $\Delta_{ор}$  допускаемых значений в децибелах на частотах, указанных в стандартах или технических условиях (ТУ) на ИУ конкретного типа.

Составляющие основной погрешности ИУ нормируются следующим образом:

пределом  $\Delta_{ор.к}$  допускаемых значений основной погрешности калибровки для отметки шкалы 0 дБн аналоговых ИУ и конечного значения поддиапазона измерений цифрового ИУ на частоте калибровки прибора на пределе измерений, указанном в стандарте или ТУ на ИУ конкретного типа;

Таблица 3.3

Номер		Содержание и порядок выполнения шага	Результат выполнения
Шаг	Блок		
1	1	Начало работы	
2	2	Анализ исходных данных	Приведен выше
3	3	НМХ индивидуальные	Нет
4	4	$\Delta_{ор}$ нормирован?	Да
5	5	$M[\Delta_{ос}] = 0$	0
6	6	$\sigma^2[\Delta_{ос}] = \Delta^2_{ор.к} / 2\sqrt{3}$	33,5 мВ <sup>2</sup>
7	7	$\xi_j$ заданы статистически?	Да
8	8	Заданы только $\xi_{яj}$ и $\xi_{вj}$ ?	Да
9	9	$M[\xi_j] = \frac{\xi_{яj} + \xi_{вj}}{2}$	$M[\xi_1] = 30^\circ \text{C}$ $M[\xi_2] = 215 \text{ В}$
10	10	$\sigma[\xi_j] = \frac{\xi_{яj} + \xi_{вj}}{2\sqrt{3}}$	$\sigma[\xi_1] = 2,9^\circ \text{C}$ $\sigma[\xi_2] = 8,7 \text{ В}$
11	11	Функции $\Psi_{s.st}(\xi_j)$ линейные?	Да
12	12	Вычислить $M[\Psi_{s.st}(\xi_j)]$	$M[\Psi_{s.st}(\xi_1)] = 5 \text{ мВ}$ $M[\Psi_{s.st}(\xi_2)] = -2 \text{ мВ}$
13	13	Вычислить $D[\Psi_{s.st}(\xi_j)]$	$D[\Psi_{s.st}(\xi_1)] = 2,1 \text{ мВ}^2$ $D[\Psi_{s.st}(\xi_2)] = 12,1 \text{ мВ}^2$
14	14	Вычислить $M[\Delta_\xi]^*$	3 мВ
15	15	Вычислить $D[\Delta_\xi]^*$	123 мВ <sup>2</sup>
16	16	Вход в процедуру расчета динамической погрешности (рис. 3.9)	Вход в процедуру
17	A1	СИ — цифровое?	Нет
18	A2	R( $\tau$ ) задано?	Да
19	A3	Вычислить $s(\omega)$	$\frac{D_{и\alpha}}{\pi(\alpha^2 + \omega^2)}, \text{ мВ}^2/\text{рад}$
20	A4	Вычислить $D[\Delta_{дуп}]$	100 мВ <sup>2</sup>
21	A5	Возврат в исходную процедуру	В блок 16
22	17	Вычислить $\sigma[\Delta_{сн}]$	15 мВ
23	18	Определить $K(P)^*$	
24	19	Вычислить $\Delta_{сн.н}$	-26,3 мВ
25	20	Вычислить $\Delta_{сн.в}$	32,3 мВ
26	21	Результат и характеристики погрешности измерений по МИ 1317—86	См. выше
27	22	Останов. Конец расчета	Останов

Примечание. Вычисление величин \* следует производить по РД 50-453—84.

пределом  $\Delta_{ор.шк}$  допускаемых значений основной погрешности градуировки шкалы на оцифрованных отметках шкалы на частоте и пределе калибровки;

пределом  $\Delta_{ор.дел}$  допускаемых значений основной погрешности ступенчатой регулировки пределов измерений на частоте калибровки относительно предела калибровки.

Дополнительные погрешности ИУ нормируются в децибелах наибольшими допускаемыми изменениями погрешности ИУ, вызванными изменениями влияющих величин и неинформативных параметров сигналов:  $\Delta_{\xi_{п}}$ , дБ, — за счет изменения напряжения питания;  $\Delta_{\xi_{т}}$ , дБ, — на каждые  $10^{\circ}\text{C}$  при изменении температуры окружающего воздуха;  $\Delta_{\xi_{f}}$ , дБ, — за счет изменения частоты в пределах номинального диапазона относительно частоты калибровки.

Ясно, что НМХ ИУ соответствуют модели 2 погрешности СИ. При таком задании НМХ характеристики погрешности ИУ в реальных условиях эксплуатации зависят от измеряемого уровня и частоты сигнала. Если измеряются значения, близкие к уровню калибровки 0 дБн на пределе 0 дБн и на частоте калибровки, погрешность минимальна. Границы интервала, в котором с вероятностью  $P=1$  находится погрешность ИУ в реальных условиях эксплуатации, рассчитываются вторым методом по формулам (3.14) и (3.15), причем составляющие основной погрешности удобно учитывать как дополнительные от соответствующих влияющих величин — переключения пределов измерения, неточности градуировки шкалы и др.

Примеры использования рассмотренных методов расчета погрешности СИ в реальных условиях применения представлены в виде табл. 3.3, 3.4.

**Пример 1.** Расчет погрешности аналогового СИ по первому методу.

Т а б л и ц а 3.4

Номер		Содержание и порядок выполнения шага	Результат выполнения
Шаг	Блок		
1	1	Начало работы	
2	2	Анализ исходных данных	Приведены выше
3	3	$\xi_j$ — заданы?	Да
4	4	НМХ — индивидуальные?	Нет
5	5	$\Delta\xi_{\epsilon_j}$ совпадают с диапазоном рабочих условий?	Нет
6	6	Вычислить $K_{\epsilon}(\xi_j)$ по (3.12)	$K_{\epsilon}(\xi_1) = 1,5$ $K_{\epsilon}(\xi_2) = 1$
7	7	Вычислить $\Delta_{с1м}$ по (3.10)	$\Delta_{с1м} = 7,5$ мВ $\Delta_{с2м} = 10$ мВ
8	8	Вычислить $\delta_{дум.м}$ по (3.13)	0,05
9	9	Вычислить $\Delta_{сд.н}$ по (3.14)	— (37,5 + 0,05U) мВ
10	10	Вычислить $\Delta_{св.н}$ по (3.15)	(37,5 + 0,05U) мВ
11	11	Запись результатов по ГОСТ 8.009—84	
12	12	Останов. Конец расчета	Останов

Исходные данные.

Нормируемые метрологические характеристики СИ:

Пределы  $\Delta_{osp} = 10$  мВ;  $\sigma_p[\Delta] = 5$  мВ;  $N_{op} = 6$  мВ. Функции влияния температуры и напряжения питания номинальные

$$\Psi_{s, sf}(\xi_1) = K_{s, sf1}(\xi_1 - \xi_{ref1});$$

$$\Psi_{s, sf}(\xi_2) = K_{s, sf2}(\xi_2 - \xi_{ref2});$$

$$\Psi_{\sigma, sf}(\xi_1) = K_{\sigma, sf1}(\xi_1 - \xi_{ref1});$$

$$\Psi_{\sigma, sf}(\xi_2) = K_{\sigma, sf2}(\xi_2 - \xi_{ref2}),$$

где  $K_{s, sf1}(\xi_1) = 0,5$  мВ/°С;  $K_{s, sf2}(\xi_2) = 0,4$  мВ/В;  $K_{\sigma, sf1} = 0,1$  мВ/°С, а  $K_{\sigma, sf2} = 0,1$  мВ/В.

Нормальные значения влияющих величин  $\xi_{ref1} = 20^\circ\text{C}$  и  $\xi_{ref2} = 220$  В.

Номинальная амплитудно-частотная характеристика

$$G_{sf}(j\omega) = \frac{K_{sf}}{1 + j\omega T},$$

где  $K_{sf} = 1$  — номинальный коэффициент преобразования СИ при нормальном значении  $\omega_0 = 0$ ;  $T = 5$  мс — постоянная времени.

Характеристики влияющих величин

$$\xi_{n1} = 25^\circ\text{C}; \xi_{b1} = 35^\circ\text{C}; \xi_{n2} = 200\text{ В}; \xi_{b2} = 230\text{ В}.$$

Характеристики входного сигнала

$$R(\tau) = D_u e^{-\alpha(\tau)},$$

где  $D_u = 0,1$  В<sup>2</sup> — дисперсия измеряемого напряжения,  $\alpha = 0,2$  с<sup>-1</sup>.

Принимается, что  $P = 0,95$ .

**Пример 2.** Расчет погрешности СИ по второму методу.

Исходные данные.

Нормируемые метрологические характеристики СИ:

Предел допускаемых значений основной погрешности  $\Delta_{op} = 20$  мВ.

Наибольшее допускаемое изменение  $\epsilon_p(\xi_1)$  погрешности, вызванное отклонением температуры от нормального значения ( $20^\circ\text{C}$ ), составляет 5 мВ на каждые  $10^\circ\text{C}$ ;

изменение  $\epsilon_p(\xi_2)$ , вызванное отклонением напряжения питания от  $220$  В на каждые  $\pm 10\%$ , составляет 10 мВ;

номинальная АЧХ:

$$A_{sf} = \frac{K_{sf}}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}},$$

где  $K_{sf} = 1$  при  $\omega_0 = 0$ ;  $T = 5$  мс.

Характеристики влияющих величин:

$$\xi_{n1} = 25^\circ\text{C}; \xi_{b1} = 35^\circ\text{C}; \xi_{n2} = 200\text{ В}; \xi_{b2} = 230\text{ В}.$$

Характеристика входного сигнала — спектр частот  $0 \dots 10$  Гц (порядок расчета погрешности СИ по второму методу показан на рис. 3.10).

### 3.5. РАЗРАБОТКА И МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Важным условием обеспечения единства измерений является не только единообразие средств измерений, но и использование стандартных, прошедших метрологическую аттестацию МВИ. Примерами таких МВИ могут служить разделы ГОСТ 21655—87, содержащие методики измерений каналов и трактов магистральной первичной сети ЕАСС, различные руководства по проведению измерений и методические указания по поверке СИ Министерства связи СССР, НТД предприятий, являющиеся руководствами для технического персонала, выполняющего измерения. Разработка и метрологическая аттестация МВИ (исследование и регламентация) становятся важным направлением деятельности метрологов не только головных и базовых, но и производственно-технических и эксплуатационных предприятий связи. Материал по МО новых разработок и исследований — обязательный раздел технических и научных отчетов.

Стандартизация и аттестация МВИ регламентируется ГОСТ 8.010—72 «ГСИ. Общие требования к стандартизации и аттестации методик выполнения измерений», где установлено, что целью стандартизации и аттестации МВИ является регламентирование требований к методам, средствам и алгоритмам выполнения измерений, применение которых в определенных условиях обеспечит заданные значения показателей точности этих измерений.

Регламентируется МВИ государственными и отраслевыми стандартами, стандартами предприятий на типовые МВИ; аттестатами МВИ; соответствующими разделами стандартов технологических процессов, методов и средств поверки СИ, методов испытания и контроля продукции.

Метрологическая аттестация МВИ — исследования, направленные на определение значений показателей точности измерений, выполняемых в соответствии с данной методикой.

Аттестацию МВИ и оформление аттестатов проводят метрологические организации Госстандарта СССР и органы ведомственных метрологических служб. Аттестация проводится по программе, утвержденной руководителем организации, проводящей аттестацию. Об аттестации МВИ составляется технический отчет, утверждаемый руководителем организации, проводящей аттестацию. Аттестат на МВИ должен быть подписан лицами, непосредственно проводившими метрологическую аттестацию, и утвержден руководителем метрологической организации, утвердившим отчет об аттестации.

Требования к построению, содержанию и изложению НТД на МВИ регламентируется ГОСТ 8.467—82 «ГСИ. Нормативно-технические документы на методики выполнения измерений. Требования к построению, содержанию и изложению», который, в частности, устанавливает, что с учетом требований ГОСТ 8.010—72, НТД

на МВИ должен содержать вводную часть и разделы, расположенные в следующем порядке: СИ и вспомогательные устройства; метод (методы) измерений; требования безопасности; требования к квалификации операторов; условия выполнения измерений; подготовка к выполнению измерений; выполнение измерений; обработка результатов измерений; оформление результатов измерений. Причем допускается исключать или объединять некоторые разделы, при необходимости в НТД могут быть включены дополнительные разделы, поясняющие специфику МВИ. Конкретное содержание каждого из этих разделов и их редакция также регламентируется ГОСТ 8.467—82.

При рассмотрении МВИ необходимо строго разграничивать их с методами выполнения измерений. Методики выполнения измерений — это правила выполнения измерений, при соблюдении которых (учет требований к СИ, области применения, условиям и процедуре измерений) обеспечивается заданная в МВИ точность измерений. Метод же измерений — совокупность приемов использования принципов и СИ (ГОСТ 16263—70). Методы выполнения измерений являются основой для разработки МВИ. Любые МВИ являются результатом реализации определенных методов выполнения измерений для конкретной измерительной задачи.

Методики выполнения измерений делятся на рабочие и типовые. *Рабочие* МВИ устанавливают определенную последовательность действий, которые должен произвести оператор при подготовке и проведении измерений. *Типовые* МВИ содержат набор исходных требований, которыми должны руководствоваться разработчики рабочей МВИ. В типовой МВИ могут содержаться требования к точности измерений, к применению определенных типов СИ и определенных методов выполнения измерений. Рабочую МВИ надо разрабатывать, если: измерение производится методом непосредственной оценки, а в инструкции по эксплуатации СИ нет данных о показателях точности измерений или указаний по их расчету; измерения выполняют любым другим методом, для которого необходимо разработать алгоритм вычисления результатов измерения и показателей точности измерений; измерения можно выполнить по старым МВИ, но требуется улучшить технико-экономические показатели.

Разработка МВИ состоит из четырех этапов.

**Этап 1.** Анализ измерительной задачи. Он включает в себя: уточнение измеряемой величины для избежания различного толкования измеряемой величины оператором и потребителем измерительной информации (например, при измерении уровня уточняется уровень по мощности или напряжению); выбор формы представления погрешности измерений (согласно МИ 1317—86), решение о виде разрабатываемой МВИ — рабочая или типовая; составление технического задания на разработку МВИ.

**Этап 2.** Разработка проекта МВИ, оценка погрешности измерений.

**Этап 3.** Проверка соответствия погрешности измерений установленным требованиям и при необходимости повышение точности измерений.

Если в ходе проверки выясняется несоответствие погрешности установленным нормам, то изменяется МВИ, предусматривается применение более точных средств и методов измерений. И это делается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность.

**Этап 4.** Аттестация МВИ метрологической службой. Производится согласно ГОСТ 8.010—72 и представляет собой самостоятельное исследование. Принято считать удовлетворительным качеством оценивания доверительных границ и СКО, если их погрешность не превышает 20 и 30% полуразности оцениваемых доверительных границ и СКО соответственно.

Кроме разработки новых методик возникает также необходимость пересмотра и переаттестации действующих МВИ, в частности руководств по проведению измерений на сети. Существующие руководства в основном рассчитаны на оперирование МХ СИ, установленными до введения ГОСТ 8.009—84, и оценками «сверху» характеристик погрешностей измерений. Поэтому при внедрении новых СИ и использовании действующих руководств приходится осуществлять переход от МХ СИ, регламентированных в ГОСТ 8.009—84, к традиционным МХ. Производится это исходя из необходимости определения отдельных составляющих погрешности, входящих в выражение (3.14).

Интервал допускаемой основной погрешности

$$\pm \Delta_{ор} = \pm \left( \Delta_{ор} + K \sigma_p [\dot{\Delta}_0] + \frac{1}{2} N_{ор} \right)$$

Коэффициент  $K$  определяется по графику рис. 3.7 (при  $P = 0,96$   $K = 2$ ).

Наибольшее допускаемое изменение показания СИ  $\Delta_{ср}$ , вызываемое изменением  $\Delta\xi$  влияющей величины  $\xi$  в пределах рабочих условий применения СИ:

$$\pm \Delta_{ср} = \pm \left[ \frac{d\Psi(\xi)}{d\xi} \right]_{\max} \Delta\xi.$$

Здесь выбрано такое значение  $\xi$ , при котором скорость изменения функции влияния  $\Psi(\xi)$ , а следовательно и вносимая погрешность, максимальны.

В частности, если функция  $\Psi(\xi)$  — линейная функция  $\Psi(\xi) = A\xi$ , то искомая составляющая погрешности

$$\Delta_{ср} = A\Delta\xi.$$

В качестве традиционно нормируемых динамических характеристик обычно указываются либо частотные характеристики, либо время обновления показания СИ. Эти величины легко определяются по полному динамическим характеристикам СИ в предположении, что СИ — линейное звено. Так, в каком бы виде не нормировалась полная динамическая характеристика, используя из-

вестные выражения (3.4) — (3.6), всегда можно найти амплитудно-фазовую характеристику и записать ее в виде

$$G(j\omega) = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}.$$

Время установления  $t_r$  показания СИ до значения, отличающегося от своего нового установившегося значения на некоторую малую величину  $\nu_p$ , можно определить из уравнения

$$h(\infty) - h(t_r) = \nu_p,$$

где  $h(\infty)$  и  $h(t_r)$  — значения переходной характеристики СИ при  $t = \infty$  и  $t = t_r$ .

Таким образом, по МХ СИ, регламентированным в ГОСТ 8.009—84, достаточно просто определяются любые частные МХ. Надо иметь в виду, что в какой бы форме не нормировались МХ СИ и не определялись бы погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации, их нельзя отождествлять с характеристиками погрешности измерений. Помимо погрешности СИ, погрешность измерений в общем случае включает в себя методическую составляющую; составляющую от взаимодействия СИ с объектом измерений и составляющую, вносимую оператором при отсчете показаний. Каждая из этих составляющих погрешности тоже, в свою очередь, может быть представлена состоящей из нескольких составляющих. Так, инструментальную составляющую  $\Delta_{MI}$  принято рассматривать как объединение погрешности СИ в реальных условиях применения и составляющей погрешности  $\Delta_{int}$ , обусловленной взаимодействием СИ с объектом измерений. А погрешность СИ данного типа в зависимости от принимаемой первой или второй модели его погрешности в реальных условиях применения в соответствии с ГОСТ 8.009—84 включает в себя пять или три составляющие (см. § 3.4). Дальнейшая детализация структуры погрешности и конкретизация их значений целесообразна, вероятно, только применительно к конкретным МВИ, в которых реализуются различные методы измерений — непосредственной оценки или сравнения с мерой.

Методическая составляющая не зависит от свойств применяемых СИ, а зависит от свойств измеряемого объекта, процедуры его измерений и способа обработки результатов.

В качестве примера анализа роли методической погрешности рассмотрим часто встречающийся в технике связи вид математической обработки наблюдений — вычитание. Он широко применяется при определении затухания или усиления, как разности уровней, амплитудных и частотных характеристик, при определении зависимости свойств от измерений влияющих факторов и т. п. Погрешность измерения во всех этих случаях есть погрешность измерения разности

$$z = x_2 - x_1.$$

Математическое ожидание и дисперсия погрешности  $\Delta_z$  этой разности определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} M[\Delta_z] &= M[\Delta_{x_2}] - M[\Delta_{x_1}]; \\ D[\Delta_z] &= D[\Delta_{x_2}] + D[\Delta_{x_1}] + 2K\Delta_{x_1, \Delta_{x_2}} \end{aligned} \right\}$$

где  $\Delta_{x_1}$ ,  $\Delta_{x_2}$ ,  $\Delta_z$  — погрешности измерения величин  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $z$  соответственно;  $K\Delta_{x_1}$ ,  $K\Delta_{x_2}$  — взаимный корреляционный момент погрешностей  $\Delta_{x_1}$ ,  $\Delta_{x_2}$ .

Если в простейшем случае в качестве погрешностей принять основную погрешность СИ, тогда дисперсия

$$D[\Delta_z] = D[\Delta_{x_2}] + D[\Delta_{x_1}] - 2R_{\Delta 0}(\tau),$$

где  $\Delta_{x_1}$ ,  $\Delta_{x_2}$  — основная погрешность СИ в точках диапазона измерений  $x_1$  и  $x_2$  соответственно;  $R_{\Delta 0}(\tau)$  — автокорреляционная функция основной погрешности СИ;  $\tau$  — интервал времени, в течение которого значение  $x$  в процессе измерения изменилось от значения  $x_1$  до значения  $x_2$ .

Закономерно предположить, что функция  $R_{\Delta 0}(\tau)$  одна и та же в обоих точках диапазона, а сами значения  $x_2$  и  $x_1$  в процессе испытаний мало отличаются друг от друга.

Тогда можно записать

$$\left. \begin{aligned} M[\Delta_z] &= 0; \\ D[\Delta_z] &= 2[D[\Delta_x] - R_{\Delta 0}(\tau)] \end{aligned} \right\}$$

Перейдем к нормализованным функциям в соответствии с ГОСТ 8.009—84:

$$D[\Delta_z] = 2D[\Delta_x] [1 - \gamma_{\Delta 0}(\tau)], \quad (3.16)$$

где  $\gamma_{\Delta 0}(\tau) = [R_{\Delta 0}(\tau)]/D[\Delta_x]$  — нормализованная автокорреляционная функция основной погрешности СИ.

Из полученного выражения (3.16) следует, что, если изменение измеряемой величины происходит за время, меньшее интервала автокорреляции погрешности СИ, значение  $\gamma_{\Delta 0}(\tau)$  может быть достаточно близким к единице, а дисперсия погрешности измерений разности  $D[\Delta_z]$  — близкой к нулю. Поэтому учет автокорреляционной функции позволит вести оптимизацию процесса измерений и существенно уточнить оценку погрешности измерений. При разработке МВИ учет автокорреляционной функции представляется обязательным, если подвергаемые математической обработке результаты отдельных наблюдений получают последовательно во времени, например, при проведении испытаний СИ. Иначе допускается методическая погрешность.

Субъективные погрешности  $\Delta_{сб}$ , если не учитывать возможные грубые ошибки, равны погрешности считывания показаний  $\Delta_{отс}$ , определяемой разностью между значением измеряемой величины и показанием СИ.

Для цифровых измерительных приборов эта погрешность равна нулю, а для аналогового СИ считается распределенной равномерно в пределах половины или одной трети цены деления СИ,



если в инструкции по эксплуатации содержатся указания о необходимости тщательного получения отсчетов.

Структура погрешности, как указывалось, для каждой МВИ своя. Рассмотрим, как эта структура изменяется при переходе от одной МВИ к другой, отличающейся только реализуемым методом измерения. Предположим, что измеряется одно и то же значение одной и той же ФВ в одинаковых условиях. Для уменьшения погрешности измерений, кроме применения по возможности более точных СИ, усложняют МВИ для исключения или уменьшения отдельных составляющих погрешности. Наибольший эффект достигается, если погрешности применяемых СИ нормированы по ГОСТ 8.009—84. Знание структуры инструментальной погрешности позволяет уменьшать систематическую составляющую, например, путем введения поправки, случайную — проведением многократных наблюдений, вариацию — способом симметричных наблюдений. Часто это единственный путь повышения точности измерений и обеспечения контроля электрических норм с требуемой достоверностью при имеющихся на предприятии СИ. При автоматизации измерений аналогичные цели достигаются специальными программными и аппаратными средствами.

В электросвязи большинство измерений связано с измерением уровня сигнала. На рис. 3.11—3.24 в качестве примера приведены схемы, с помощью которых реализованы различные методы измерения уровня широкополосными ИУ, а также возможные структуры погрешностей, составленные известным способом [14]. На рис. 3.11 представлена схема измерения уровня методом непосред-

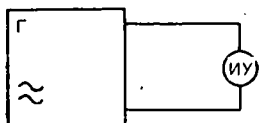


Рис. 3.11

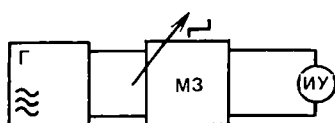


Рис. 3.14

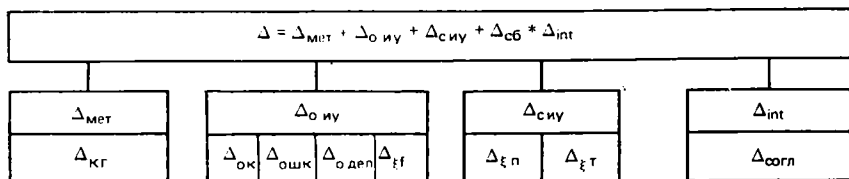


Рис. 3.12

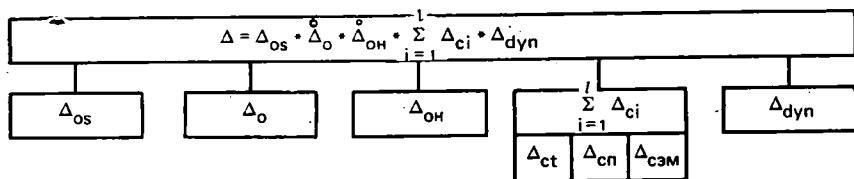


Рис. 3.13

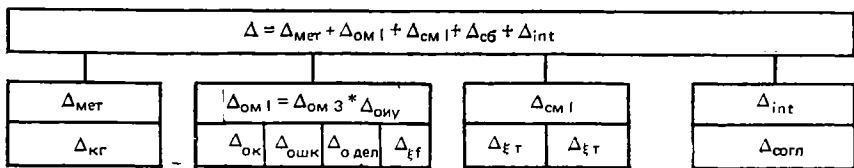


Рис. 3.15

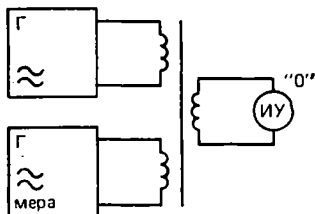


Рис. 3.16

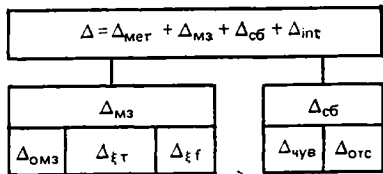


Рис. 3.17

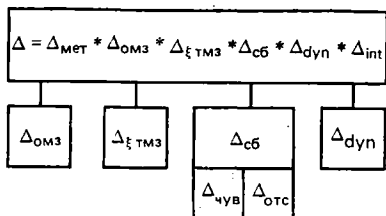


Рис. 3.18

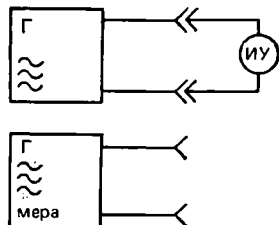


Рис. 3.19

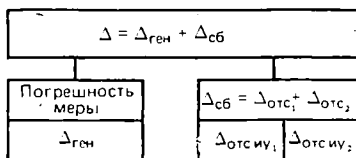


Рис. 3.20

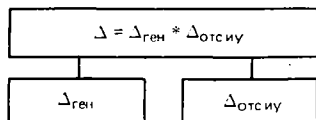


Рис. 3.21

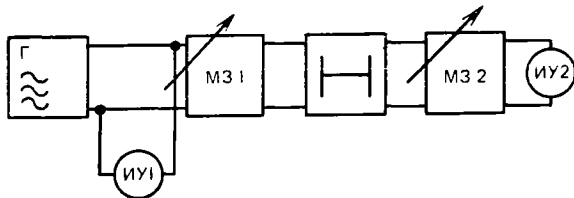


Рис. 3.22

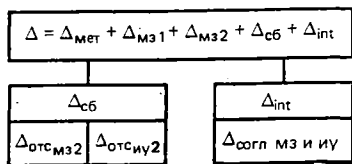


Рис. 3.23

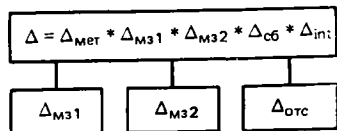


Рис. 3.24

венной оценки, на рис. 3.12 — составляющие погрешности измерений при нормировании погрешности ИУ традиционно, а на рис. 3.13 — структура погрешности ИУ, если НМХ указываются по ГОСТ 8.009—84. Используются также обозначения:  $\Delta_{\text{мет}}$  — методическая погрешность;  $\Delta_{\text{кр}}$  — погрешность за счет отклонения формы сигнала от гармонической;  $\Delta_{\text{согл}}$  — погрешность за счет неполного согласования при подключении ИУ;  $\Delta_{\text{чув}}$  — погрешность за счет наличия порога чувствительности нуль-индикатора (компаратора). Индексы ИУ, МЗ и ГЕН означают, что данная составляющая инструментальной погрешности относится к измерителю уровня, магазину затуханий и к измерительному генератору соответственно. Далее, на рис. 3.14 — схема, реализующая дифференциальный метод, а на рис. 3.15 — структура возможных погрешностей. На рис. 3.16 изображена схема измерения нулевым методом, а на рис. 3.17 и рис. 3.18 — структуры погрешностей при использовании традиционных НМХ и по ГОСТ 8.009—84. Схемой рис. 3.19 реализуется метод замещения, рис. 3.20 и рис. 3.21 отображают возможные структуры погрешностей при разных НМХ ИУ и магазина затуханий. На рис. 3.22 приведена одна из разновидностей схемы замещения, применяемая при измерениях затуханий, амплитудных и других характеристик, а на рис. 3.23 и рис. 3.24 — структуры соответствующих погрешностей при традиционном и по ГОСТ 8.009—84 нормировании МХ СИ. Из представленных вариантов структур погрешностей видно, что по мере усложнения МВИ, связанной с применением более сложных и трудоемких методов измерений, структура погрешности упрощается. Вероятно, уменьшается погрешность. Количественные оценки приписанных характеристик погрешностей измерений могут быть определены лишь в результате метрологической аттестации конкретной МВИ, реализующей один из представленных методов измерений.

### 3.6. ОЦЕНКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПО КЛАССУ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Для того чтобы заранее оценить погрешность, которую внесет данное СИ в конечный результат, пользуются предельными, гарантированными значениями погрешности для данного типа СИ. Предел допускаемой основной абсолютной погрешности  $\Delta$  может быть представлен одним из трех способов: постоянным для любых значений  $x$  числом, характеризующим аддитивную погрешность

$$\Delta = \pm a;$$

в виде двухчленной формулы, учитывающей как аддитивную, так и мультипликативную погрешности

$$\Delta = \pm (a + bx); \quad (3.17)$$

в виде уравнения

$$\Delta = f(x). \quad (3.18)$$

При сложной зависимости (3.18) допускается представлять погрешность в форме графика или таблицы.

Пределы допускаемой относительной погрешности для случая (3.17) при  $a=0$  в процентах выражаются формулой:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} 100 = \pm q,$$

а для случая (3.17) — формулой

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{X_k}{x} \right| - 1 \right) \right], \quad (3.19)$$

где  $X_k$  — больший по модулю из пределов измерений.

Коэффициент  $c$  — приведенная погрешность в конце диапазона измерений с учетом мультипликативной составляющей, а коэффициент  $d$  — приведенная погрешность при отсутствии мультипликативной составляющей, т. е. при  $x=0$  (3.17). Таким образом, при наличии у СИ и аддитивной, и мультипликативной составляющих погрешности его приведенная погрешность линейно возрастает от  $d=a/X_k$  в начале диапазона (при  $x=0$ ) до значения  $C=d+b$  в конце диапазона (при  $x=X_k$ ).

Предел допускаемой приведенной погрешности в процентах выражают формулой

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100 = \pm p,$$

где  $p$  — положительное число,  $X_N$  — нормирующее значение измеряемой величины.

Нормирующее значение принимается равным:

конечному значению шкалы  $X_k$  СИ, если нулевая отметка находится на краю или вне шкалы;

сумме конечных значений шкалы СИ (без учета знаков), если нулевая отметка находится внутри шкалы;

номинальному значению измеряемой величины, если таковое установлено;

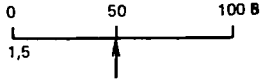
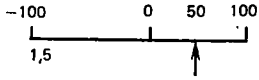
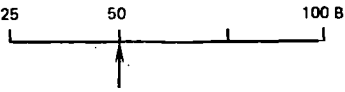

длине шкалы в миллиметрах, сантиметрах или условных делениях, если шкала имеет сужающиеся деления;

разности конечного и начального значений шкалы для СИ, шкала которых градуирована в единицах величины, имеющей условный нуль.

Согласно ГОСТ 8.401—80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования» для указания нормированных пределов допускаемых погрешностей используют числа ограниченного ряда. С использованием чисел определенного ряда разработаны условные обозначения классов точности СИ, наносимые на них и указываемые в технической документации.


Если предел допускаемой абсолютной погрешности постоянен и  $X_k$  выражено в единицах измеряемой величины, то класс точ-

Таблица 35

Обозначение класса точности		Форма выражения погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности		
В докумен- тации	На средстве измерений		абсолют- ный $\Delta$ , единиц из- мерений	относительный $\delta$ , %	приведен- ный $\gamma$ , %
Р	Р	<p>Приведенная: <math>\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100 = \pm p</math>, <math>X_N</math> — в единицах измеряемой величины. Шкала практически линейная или степенная</p> <p><math>X_N</math> — верхний предел измерений, <math>\gamma = 1,5\%</math>, <math>X_N = 100</math> В, <math>x = 50</math> В</p>	$\pm p \frac{X_N}{100}$	$\pm p \frac{X_N}{X}$	$\pm p$
	<p>Примеры: Класс точности 1,5</p> 	<p><math>X_N</math> — сумма модулей пределов измерений, <math>\gamma = 1,5\%</math>, <math>X_N = 100 + 100 = 200</math> В</p> <p><math>\gamma = 50</math> В</p>	$\pm 1,5$ В	$\pm 3\%$ $x = (50,0 \pm 1,5)$ В	$\pm 1,5\%$
	<p>Класс точности 1,5</p> 	<p><math>X_N</math> — больший из пределов измерений, <math>\gamma = 1,5\%</math>, <math>X_N = 100</math> В</p>	$\pm 3,0$ В	$\pm 6\%$ $x = (50 \pm 3)$ В	$\pm 1,5\%$
	<p>Класс точности 1,5</p> 	<p>Приведенная: <math>\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100 = \pm p</math>, <math>\gamma =</math></p>	$\pm 1,5$ В	$\pm 3\%$ $x = (50 \pm 1,5)$ В	$\pm 1,5\%$
			$\pm \delta \frac{x}{100}$	$\pm p \frac{X_N}{x}$	$\pm p$

Обозначение класса точности		Форма выражения погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности		
В докумен- тации	На средстве измерений		абсолют- ный $\Delta$ , единиц измере- ний	относительный $\delta$ , %	приведен- ный $\gamma$ , %
<b>Пример:</b> Класс точ- ности 1,0		$= \pm 1\%$ , $X_N = 10$ см, $x = 5$ см, $x = 100$ Ом	$\pm 2,0$	$\pm 2\%$  $x = (100 \pm 2)$ Ом	$\pm 1\%$
q		<b>Относительная:</b> $\delta = \frac{\Delta}{x} 100 = \pm q$	$\pm q \frac{x}{100}$	$\pm q$	$\pm q \frac{x}{X_N}$
<b>Пример:</b> Класс точ- ности 1,5		$\delta = \pm 1,5\%$ , $X_N = 100$ В, $x = 50$ В	$\pm 0,75$ В	$\pm 1,5\%$ $x = (50 \pm 0,8)$ В	$\pm 0,75\%$
c/d	c/d	<b>Относительная</b> $\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm \left[ c + d \left( \left  \frac{X_K}{x} \right  - 1 \right) \right]$ , $X_K$ — верхний предел измерения	$\pm \left( \frac{a+bx}{100} \right)$	$\pm \left[ c + d \left( \frac{X_K}{x} - 1 \right) \right]$	$\pm c$
<b>Пример:</b> Класс точ- ности 0 : 2/0,1 Класс точ- ности М Класс точ- ности С		$c = 0,2\%$ , $d = 0,1\%$ , $x = 33,3$ В, $X_K = 99,9$ В	$\pm 0,13$ В	$\pm 0,4\%$ $x = (33,3 \pm 0,2)$ В	$\pm 0,2\%$
	М	<b>Абсолютная</b> $\Delta = \pm a$ или $\Delta = \pm (a+bx)$ , а и b — положительные числа	Указывается в стандартах и ТУ на СИ конкретного типа		
	С	<b>Относительная</b> , по сложным формулам, графикам, таблицам			

ности указывают просто одним из чисел предпочтительного ряда (например, 0,5). Таким образом обозначают классы точности амперметров, вольтметров, ваттметров и большинства других однопредельных и многопредельных приборов с равномерной или степенной (с показателем степени не более двух) шкалой. Для приборов с резко неравномерной шкалой (например, степенной с показателем степени более двух)  $X_N$  выражают в единицах длины шкалы (например, омметры). При этом формальным признаком при обозначении класса точности служит поставленная под числом, указывающим класс точности, треугольная скобка, например

мер 

В этом случае при измерении, кроме значения измеряемой величины, обязательно должен быть записан отсчет  $x$  в единицах длины шкалы (мм, см, условные деления) и предел измерения  $X_k$  в тех же единицах длины шкалы, иначе впоследствии нельзя будет вычислить погрешность результата.

Если предел допускаемой относительной погрешности постоянен во всем диапазоне измерений, что бывает при чисто мультипликативной погрешности [в формуле (3.17)  $a=0$ ], число, обозначающее класс точности, обводится кружком. Например



означает, что  $\delta=0,5\%$ . Таким способом нормируют погрешности измерительных мостов, магазинов, масштабных преобразователей. При этом обычно указывают границы рабочего диапазона, для которых справедлив данный класс точности.

Обозначение класса точности в виде, например, 0,02/0,01, указывает, что погрешность прибора нормирована по двухчленной формуле с  $s=0,02\%$  и  $d=0,01\%$ . Таким способом указывают классы точности высокоточных потенциометров постоянного тока, цифровых вольтметров и других высокоточных приборов. Формальным отличительным признаком для них является то, что их класс точности согласно ГОСТ 8.401—80 обозначается не одним, а двумя числами, записываемыми через косую черту, т. е. в виде условной дроби  $s/d$ , в числителе которой указывается в процентах приведенная погрешность  $s$  в конце диапазона измерений, а в знаменателе — приведенная погрешность  $d$  в нулевой отметке диапазона.

Таким образом, обозначение класса прибора дает достаточно полную информацию для оценки пределов допускаемой погрешности результата измерения и погрешности СИ.

При оценке погрешности должны вычисляться абсолютная, относительная и приведенная погрешности, так как первая из них нужна для округления результата и его правильной записи, а остальные — для однозначной сравнительной характеристики точности результата измерения и погрешности СИ. Процедура оценки погрешности представлена в виде табл. 3.5.

### 3.7. ИСПЫТАНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИИ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ НОРМИРУЕМЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Простейшие расчеты погрешностей результатов измерений по паспортным данным СИ позволяют обходиться без использования теории вероятностей и математической статистики. В более сложных случаях, в том числе в большинстве задач контроля СИ на соответствие НМХ, без этого математического аппарата обойтись нельзя, так как погрешность приходится рассматривать как случайную величину, а следовательно, достоверная оценка погрешности может быть получена лишь на основе теории вероятностей. Поэтому ГОСТ 8.009—84 «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» и МИ 1317—86 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров», которые входят в систему государственных стандартов, обеспечивающих единство измерений, требуют статистического подхода при обработке экспериментальных данных в процессе контроля.

Сведения о НМХ, как правило, содержатся в НТД. Этими характеристиками пользуются потребители СИ и измерительной информации, разработчики СИ и информационно-измерительных систем, систем автоматического управления, проектировщики производственных процессов (измерительных процессов и процессов управления).

Принципиальная особенность регламентированных в ГОСТ 8.009—84 НМХ СИ заключается в том, что они позволяют определять достаточно достоверные оценки инструментальной составляющей погрешности измерений в реальных условиях эксплуатации СИ. Выражения оценок (т. е. статистических характеристик) погрешностей СИ даются в ГОСТ 8.009—84 в виде математических описаний, которые могут быть использованы как основа алгоритмов обработки экспериментальных данных при контроле и аттестации (поверке) СИ.

Исходные экспериментальные данные для определения статистических характеристик погрешности данного СИ (прибора, целой измерительной системы, отдельного измерительного преобразователя) получают проведением его испытаний. При испытаниях исследуемое и образцовое СИ подключают одновременно к источнику измерительного сигнала с плавно регулируемыми информативными параметрами. Далее шаг за шагом выполняют следующие операции в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 3.25.

Шаг 1. Выбирают на шкале контролируемого СИ числовую отметку.

Шаг 2. Получают статистический ряд показаний образцового СИ для выбранной числовой отметки контролируемого СИ путем





многократного повторения наблюдений, при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны меньших значений до значения  $x$ :

$$x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_n. \quad (3.20)$$

Шаг 3. Получают статистический ряд показаний образцового СИ для той же числовой отметки  $x$  контролируемого СИ, но при медленных непрерывных изменениях информативного параметра сигнала со стороны больших значений до значения  $x$ :

$$x''_1, x''_2, x''_3, \dots, x''_n. \quad (3.21)$$

Шаг 4. Рассчитывают реализации абсолютных погрешностей  $\Delta'_i$  для ряда (3.20) при  $i=1, \dots, n$ :

$$\Delta'_1 = x - x'_1,$$

$$\Delta'_2 = x - x'_2,$$

$$\Delta'_n = x - x'_n.$$

Шаг 5. Рассчитывают реализации абсолютных погрешностей для ряда (3.21) при  $i=1, \dots, n$ :

$$\Delta''_1 = x - x''_1$$

$$\Delta''_2 = x - x''_2,$$

· · ·

$$\Delta''_n = x - x''_n.$$

Шаг 6. Рассчитывают среднее значение погрешности  $\bar{\Delta}'$  для ряда (3.18) (первый центр группировки, обусловленный гистерезисом)

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta'_i.$$

Шаг 7. Рассчитывают среднее значение погрешности  $\bar{\Delta}''$  для ряда (3.21) (второй центр группирования, обусловленный гистерезисом)

$$\bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta''_i.$$

Шаг 8. Определяют оценку систематической составляющей инструментальной погрешности

$$\tilde{\Delta}_{\text{сн}} = 1/2 (\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}'').$$

Шаг 9. Оценивают характеристику случайной составляющей инструментальной погрешности от гистерезиса (вариацию)

$$\tilde{H} = |\bar{\Delta}' - \bar{\Delta}''|.$$

Шаг 10. Определяют дисперсию первого центра группирования

$$D' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta'_i - \bar{\Delta}')^2.$$

Шаг 11. Определяют дисперсию второго центра группирования

$$D'' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta''_i - \bar{\Delta}'')^2.$$

Шаг 12. Определяют оценку СКО погрешности

$$\bar{\sigma} [\Delta_{II}] = \sqrt{\frac{D' + D''}{2}}.$$

Шаг 13. Определяют интервал, симметричный относительно нулевого значения погрешности, в который попадает  $p$  реализаций погрешности из общего числа  $2n$  реализаций погрешности. Полученный интервал служит оценкой погрешности  $\Delta$  контролируемого средства измерений. Значения  $n$  и  $p$  регламентируются в НТД.

Шаг 14. Оценки, полученные на шагах 8, 9, 12 и 13, сравнивают с нормированными значениями характеристик контролируемого СИ.

В практике часто нормируют характеристики погрешности СИ, устанавливая пределы (положительный и отрицательный)  $\Delta_p$  допускаемой погрешности и предел  $H_p$  допускаемой вариации показаний СИ. В этих случаях оценку  $\tilde{\Delta}_p$  погрешности  $\Delta_p$  конкретного экземпляра СИ определяют при  $n=1$ :

при наличии вариации — как наибольшее по абсолютному значению из полученных экспериментально значений  $\Delta'_i$  и  $\Delta''_i$ ;

при отсутствии вариации (или если ее не учитывают) — как единственно полученное значение погрешности. Определенные оценки сравнивают с пределами допускаемых значений, указанных в НТД.

При определении индивидуальных НМХ шаг 14 не выполняется. Для сокращения объема вычислений число экспериментальных данных обычно не превышает 20. Данные расчеты можно проводить на микрокалькуляторах типа МК-54, МК-56, МК-52, МК-61, используя рекомендации, содержащиеся в п. 3.8.

### 3.8. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

При измерениях, выполняемых в порядке проведения научных исследований и метрологических работ (например, аттестации средств и методик измерений), применяются статистические оценки погрешности измерений (в МИ 1317—86 выделены в отдельную группу). Они отражают близость отдельного, экспериментально полученного результата измерения к истинному значению измеряе-

мой величины. При эксплуатации систем передачи согласно НТД требуется проводить прямые измерения с многократными наблюдениями, определять результаты и давать статистическую оценку погрешности измерений.

Методика выполнения прямых измерений с многократными независимыми наблюдениями и основные положения обработки результатов установлены ГОСТ 8.207—76 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения». Теоретические вопросы статистической обработки рассмотрены в различных учебных пособиях, однако непосредственные расчеты с использованием ГОСТ 8.207—76 или учебных пособий обычно вызывают затруднения из-за необходимости привлечения дополнительных данных. Рассмотрим инженерный способ решения этой задачи на примере измерения уровня, что часто выполняется в технике связи при определении остаточного затухания.

Обработка группы результатов из  $n$  измерительных наблюдений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  состоит из следующих операций:

исключения известных систематических погрешностей введением поправок для получения исправленных результатов наблюдений (если поправки известны);

вычисления среднего арифметического исправленных результатов наблюдений, которое принимается равным результату измерения

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (3.22)$$

вычисления оценки СКО результатов наблюдения согласно ГОСТ 11.004—74 в предположении, что случайная величина подчиняется закону нормального распределения

$$\tilde{\sigma}_{x_1} = M_k \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.23)$$

где  $M_k$  — коэффициент, значения которого приведены в табл. 3.6; вычисления оценки СКО результата измерения по формуле

$$\tilde{\sigma}_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}; \quad (3.24)$$

проверки гипотезы о том, что результаты наблюдений принадле-

Т а б л и ц а 3.6

$n-1$	2	3	4	5	6	7	8	9
$M_k$	1,128	1,085	1,064	1,051	1,042	1,036	1,032	1,028

жат нормальному распределению по ГОСТ 11.006—74 «Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим»;

вычисления доверительных границ случайной составляющей погрешности измерения, которые без учета знака определяются по формуле<sup>1</sup>

$$\dot{\Delta} = t(n, P) \tilde{\sigma}_x, \quad (3.25)$$

где  $t(n, P)$  — коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности  $P$  и числа результатов наблюдений  $n$  находят по табл. 3.7 (ГОСТ 8.207—76);

вычисления границ неисключенной систематической погрешности  $j$ -го результата наблюдения (согласно ГОСТ 8.207—76, п. 4.3)

$$\Delta_{sj} = \pm K \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_{si}^2}, \quad (3.26)$$

где  $\Delta_{si}$  — граница  $i$ -й учитываемой неисключенной систематической погрешности;  $K=1,1$  при  $P=0,95$ ;  $m$  — число суммируемых погрешностей.

В качестве  $\Delta_{si}$  принимаются пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей СИ или составляющих основной погрешности СИ.

Измерители уровня — специфические СИ, пределы допустимых основных погрешностей которых определяются суммой нескольких составляющих, причем при разных условиях — разных составляющих. Поэтому в общем случае результаты измерения одним и тем же ИУ могут оказаться неравноточными. Однако для одной серии наблюдений при измерении одного номинального значения уровня результаты измерений могут считаться равноточными. В этом случае в качестве предела допускаемой погрешности ИУ, учитываемой как неисключенная систематическая составляющая погрешности измерения уровня при многократных наблюдениях ввиду их близости, используется геометрическая сумма пределов допускаемых погрешностей при каждом наблюдении:

$$\Delta_s = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta_{sj}^2}, \quad (3.27)$$

Таблица 3.7

$n - 1$	3	4	5	6	7	8	9
$P = 0,95$	3,182	2,776	2,571	2,447	2,365	2,306	2,260
$P = 0,99$	5,841	4,604	4,032	3,707	3,50	3,355	3,250

<sup>1</sup> При  $n < 15$  проверка гипотезы не производится.

где  $\Delta_{sj}$  — предел допускаемой погрешности ИУ при  $j$ -м наблюдении;  $n$  — число наблюдений.

Вычисления доверительных границ погрешности результата измерений  $\Delta$ , которое при определенных условиях, оговоренных ГОСТ 8.207—76, производится по формулам:

$$\Delta = \begin{cases} \overset{\circ}{\Delta} & \text{при } \frac{\Delta_s}{\tilde{\sigma}_x} < 0,8, \\ \Delta_s & \text{при } \frac{\Delta_s}{\tilde{\sigma}_x} > 8; \\ t_\Sigma \tilde{\sigma}_\Sigma & \text{при } 8 < \frac{\Delta_s}{\tilde{\sigma}_x} > 0,8, \end{cases} \quad (3.28)$$

где

$$\tilde{\sigma}_\Sigma = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta s}^2 + \sigma_x^2}, \quad (3.29)$$

$$t_\Sigma = \frac{\overset{\circ}{\Delta} + \Delta_s}{\tilde{\sigma}_x + \sigma_{\Delta s}}, \quad (3.30)$$

$$\sigma_{\Delta s} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_{Si}^2}{3}}.$$

Если считать приемлемой в обоснованных случаях погрешность определения погрешности результата измерений до  $\pm 15\%$ , то суммирование неисключенной систематической и случайной составляющих погрешности можно производить по упрощенной формуле

$$\Delta = \pm \sqrt{\Delta_s^2 + \overset{\circ}{\Delta}^2}. \quad (3.31)$$

Расчет характеристик погрешности измерений при известных типах СИ основывается на использовании метрологических характеристик СИ, нормированных по ГОСТ 8.009—84, если таковые приведены. В этом случае сначала объединяют отдельно характеристики случайной и систематической составляющих погрешностей, затем находят пределы допускаемых погрешностей по соответствующим формулам.

В соответствии с МИ 1317—86 при представлении результатов и характеристик погрешности измерений указываются оценки нижней  $\tilde{\Delta}_l$  и верхней  $\tilde{\Delta}_h$  границ интервала, в котором погрешность измерений находится с вероятностью  $P$ , а также число наблюдений  $n$  и интервал времени, в течение которого они получены. Рекомендуемое значение вероятности (доверительной)  $P=0,95$ . При одинаковых числовых значениях (без учета знака)  $\tilde{\Delta}_l$  и  $\tilde{\Delta}_h$  указывается  $\pm \tilde{\Delta}$ .

Описанная выше процедура обработки результатов многократных наблюдений может быть выражена алгоритмом, блок-схема которого приведена на рис. 3.26. Каждый элемент процедуры выражает отдельный шаг обработки. Шаг 4 описывает стандартную процедуру исключения систематических погрешностей (исправле-

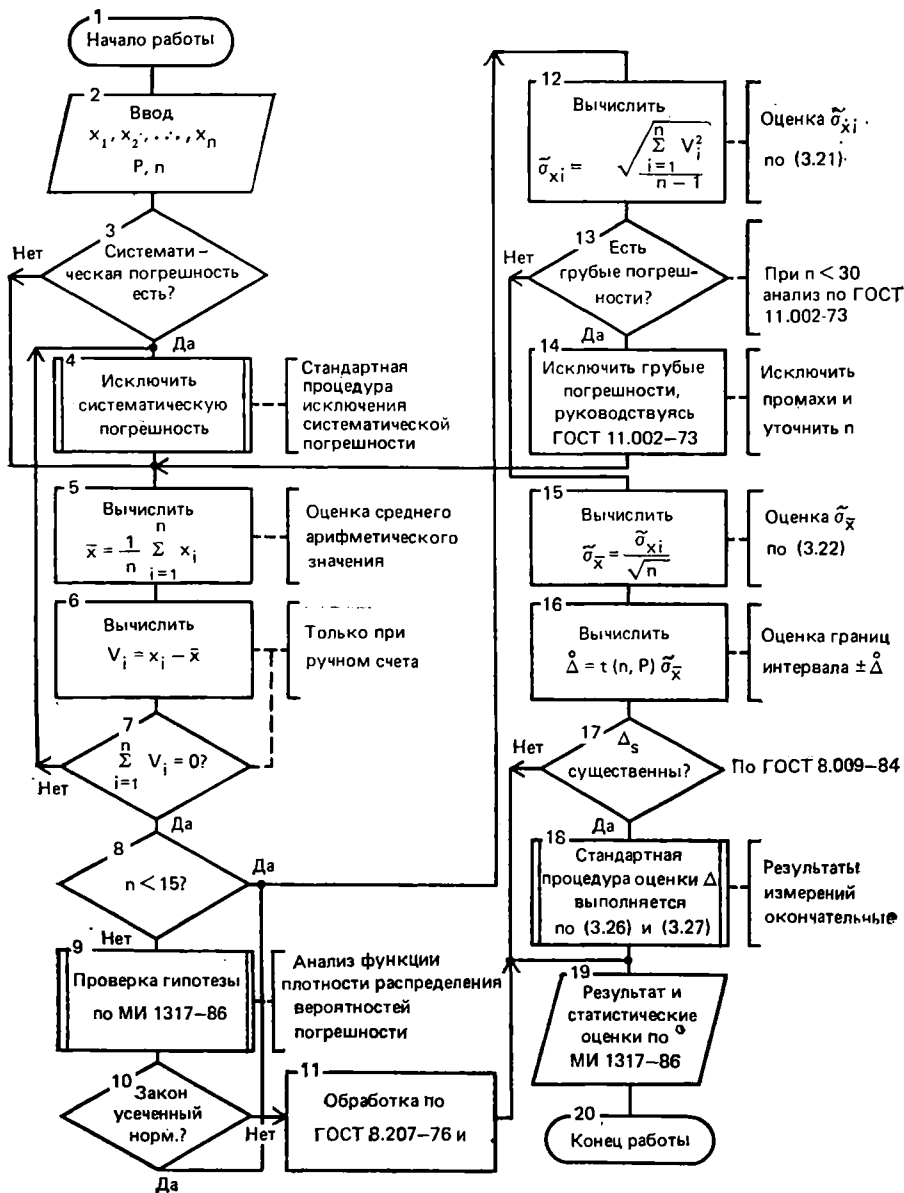


Рис. 3.26

ние результатов наблюдений), на шаге 9 проверяется гипотеза о принадлежности функции плотности распределения вероятностей погрешности измерений или ее составляющих к закону, близкому к нормальному усеченному по МИ 1317—86. Основанием для принятия этой гипотезы считается соблюдение следующих условий: имеются основания полагать, что реальная функция плотности распределения — функция симметричная, одномодальная, отличная от нуля на конечном интервале значений аргумента, и другая информация о плотности распределения отсутствует.

В тех случаях, когда нет основания полагать, что указанное условие выполняется, следует принимать какую-либо другую аппроксимацию. Принятая аппроксимация считается удовлетворительной при следующих условиях: существует возможность рассчитывать интервальные характеристики погрешности измерений по ее СКО; возможные значения погрешности расчета, обусловленные отличием принятой аппроксимации от реальной функции плотности распределения, лежат в пределах, допускаемых для решения данной конкретной задачи измерений.

При измерениях в процессе эксплуатации каналов и трактов функции плотности распределения вероятностей погрешности измерений и случайной ее составляющей, как правило, достаточно близко к нормальному усеченному закону. Блок 18 описывает стандартную процедуру суммирования и случайной составляющей погрешности измерений.

Этот алгоритм приведен на рис. 3.27. Статистическая обработка результатов наблюдений по алгоритму (см. рис. 3.26) обычно производится с помощью ЭВМ, устройств вычислительной техники, встраиваемых в средства измерений, и микрокалькуляторов. Расчеты  $\bar{x}$  и  $\sigma_{\bar{x}}$  по формулам (3.22) и (3.23) реализованы в виде встроенных функций в микрокалькуляторах МК-51, БЗ-70 и др., а также в калькуляторах зарубежного производства. Расчеты выполняются в соответствии с инструкцией по эксплуатации этих микрокалькуляторов. Возможно также применение программируемых калькуляторов БЗ-21, БЗ-34, а также МК-56 и др. При отсутствии калькулятора расчеты выполняются вручную поэтапно.

В качестве примера применения приведенных алгоритмов определим характеристики погрешности измерений уровня при многократных наблюдениях, результаты которых: 10; 9,5; 9,9; 9,7; 9,8; 9,6; 9,9; —0,2; 19,7 дБн.

Предел допускаемой основной погрешности, определенный по формуле (3.25)  $\Delta_L = \pm 0,2$  дБн. Число наблюдений 9, время проведения измерений 10 мин.

Применим, например, микрокалькулятор МК-51. В соответствии с рис. 3.26 выполняемые операции следующие:

Шаг 1. Включаем калькулятор и переводим в режим статистических расчетов нажатием кнопок F и РЕЖ. В правом верхнем углу загорается символ  $\sigma$ .



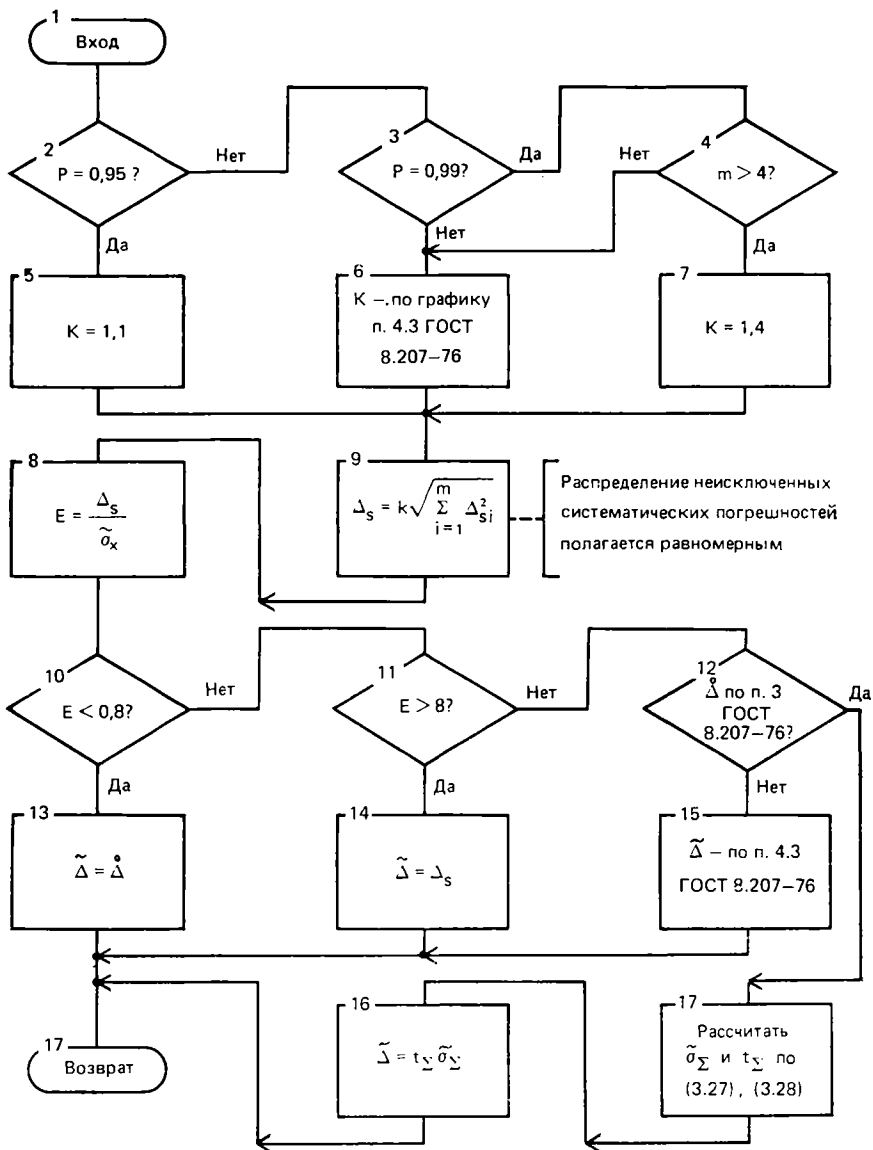


Рис. 3.27

Шаг 2. Вводим обрабатываемый ряд значений, полученных при отдельных наблюдениях  $L_{U1}, L_{U2}, \dots, L_{U9}$ , путем набора каждого значения  $L_{Uj}$ ,  $j=1, 2, \dots, 9$ , и нажатием кнопки П+. Проверяем число введенных результатов нажатием п. На табло загорается число 9. Все верно.

Шаги 3 и 4 здесь не выполняются, так как в задании отсутствуют сведения о систематических погрешностях.

Шаг 5. Вычисляется  $\bar{L}_U$  в соответствии с формулой (3.22) нажатием кнопки  $\bar{X}$ :  $\bar{L}_U = 9,77$  дБн.

Шаги 6 и 7. Выполняются только при ручном счете для самопроверки.

Шаг 8. Число наблюдений  $n=9$  меньше 15, поэтому переходим к шагу 12.

Шаг 12. Вычисляем  $\tilde{\sigma}_{Li}$  по (3.23) нажатием кнопки  $\sigma_{n-1}$  и умножаем на  $M_k$  (см. табл. 3.6).

$$\tilde{\sigma}_{Li} = \pm 1,042 \cdot 4,988 = \pm 5,19 \text{ дБн.}$$

Шаг 13. На этом этапе необходимо найти и исключить грубые погрешности. При  $n \geq 30$  грубые погрешности отбрасываются по критерию превышения ими значения  $3\tilde{\sigma}_{Li}$  по абсолютной величине (при  $n < 30$  проводится более сложный анализ) по ГОСТ 11.002—73. В рассматриваемом случае результаты наблюдений, содержащие грубые погрешности, могут быть выявлены без сложного анализа, так как видно, что последние два значения резко отличаются от остальных (примерно на 10 дБ), что вызвано, по видимому, ошибкой в указании положения переключателя делителя.

Шаг 14. Результаты восьмого и девятого измерительных наблюдений из обработки исключаются как промахи. При этом  $n=7$  и расчеты по шагам 5—12 повторяются.

Шаг 5.

$$\bar{L}_U = 9,77 \text{ дБн.}$$

$$\text{Шаг 12. } \tilde{\sigma}_{Li} = \pm 1,1 \cdot 0,18 \approx \pm 0,20 \text{ дБн.}$$

Шаг 15. Среднеквадратическое отклонение среднего арифметического согласно (3.24):

$$\tilde{\sigma}_L = \pm \frac{0,2}{\sqrt{7}} \approx \pm 0,075 \text{ дБн.}$$

Шаг 16. Для  $P=0,95$   $n=7$ , по табл. 3.7 находим  $t=2,45$ . По формуле (3.25):

$$\dot{\Delta}_L = 2,45 \cdot 0,075 = \pm 0,18 \text{ дБн.}$$

Шаг 17. Граница неисключенной систематической погрешности  $\tilde{\Delta}_s$  результата измерения вычисляется построением композиции распределений плотностей вероятностей неисключенных систематических погрешностей СИ, метода и погрешностей, вызванных другими источниками (эти вопросы рассмотрены подробно в связи с созданием и аттестацией методик выполнения измерений, см. § 3.5).

Полагаем, что неисключенная систематическая погрешность полностью определяется погрешностью ИУ в реальных условиях

применения. Пусть для простоты количественной оценки в рассматриваемом примере составляющие погрешности ИУ равны:  $\Delta_{S1} = \Delta_{S2} = \Delta_{S3} = \Delta_{S4} = 0,1$  дБн. Тогда средняя погрешность при всех наблюдениях:

$$\tilde{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \Delta_{Si}^2} \approx \pm 0,2 \text{ дБн.}$$

Шаг 18. Если оценку границ интервала, в которых погрешность измерений находится с заданной вероятностью, производить приблизительно по формуле (3.31), то

$$\tilde{\Delta} = \pm \sqrt{0,2^2 + 0,18^2} \approx \pm 0,27 \text{ дБн.}$$

При оценке границ в соответствии с ГОСТ 8.207—76 руководствуемся алгоритмом, показанным на рис. 3.27.

Шаг 2. При  $P=0,95$  — Да.

Шаг 5.  $K=1,1$ .

Шаг 9.  $\Delta_S = 1,1 \cdot 0,2 = \pm 0,22$  дБн.

Шаг 8.  $E=2,9$ .

Шаг 10. Нет.

Шаг 11. Нет.

Шаг 12. Да.

Шаг 17.

$$\sigma_{\Delta S} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_{Si}^2}{3}} = \pm \sqrt{\frac{0,04}{3}} \approx \pm 0,116 \text{ дБн;}$$

$$t_{\Sigma} = \frac{\tilde{\Delta} + \Delta_S}{\tilde{\sigma}_L + \sigma_{\Delta S}} = \frac{0,18 + 0,20}{0,075 + 0,116} \approx 1,99;$$

$$\tilde{\sigma}_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta S}^2 + \sigma_L^2} \approx \pm \sqrt{0,116^2 + 0,075^2} \approx \pm 0,138 \text{ дБн.}$$

Шаг 16. Оценка погрешности измерений с многократными наблюдениями по ГОСТ 8.207—76

$$\tilde{\Delta}_L = \pm t_{\Sigma} \sigma_{\Sigma} = \pm 1,99 \cdot 0,138 \approx \pm 0,275 \text{ дБн} \approx \pm 0,28 \text{ дБн.}$$

Как видим, уточнение полученной раньше оценки незначительное.

Шаг 17. Возврат в исходную программу обработки (см. рис. 3.26).

Шаг 19. Результат и характеристики погрешности измерений по МИ 1317—86:  $L=9,77$  дБн;  $\tilde{\Delta}_L = \pm 0,28$  дБн;  $P=0,95$ . Число наблюдений 7 в течение 10 мин. Условия измерений: температура окружающего воздуха  $+20^{\circ}\text{C}$ , частота сигнала 800 Гц<sup>1</sup>.

Следует помнить, что при решении измерительных задач на практике необходимо руководствоваться учтенными экземплярами ГОСТ, ТУ и паспортами средств измерений.

<sup>1</sup> Приведено в качестве примера записи.

#### 4.1. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

*Измерители уровней напряжения* — приборы, проградуированные в логарифмических единицах. Градуировка ИУ обычно осуществляется в абсолютных уровнях по напряжению, т. е. за нулевой уровень принимается 0,775 В среднеквадратического значения напряжения синусоидальной формы. Переход от измеренного абсолютного значения уровня по напряжению  $L_2$ , дБ, к величине напряжения осуществляется по формуле  $U = 0,775e^{0,05L_2}$ . Значение абсолютного уровня по напряжению совпадает со значением абсолютного уровня по мощности в данной точке при полном сопротивлении  $Z_x$ , равном активному сопротивлению 600 Ом. При других полных сопротивлениях  $Z_x$  значение уровня по мощности может быть найдено прибавлением к значению уровня по напряжению в данной точке поправки, равной  $10 \lg \frac{600}{|Z_x|}$

Измерители уровня напряжения кроме градуировки отличаются от вольтметров требованиями к входному устройству. Эти требования обусловлены двумя способами включения ИУ: 1) параллельно уже имеющемуся в цепи сопротивлению; 2) в качестве нагрузки, на которой измеряется уровень напряжения. В первом случае ИУ должен иметь возможно большее сопротивление, чтобы не изменить режим работы цепи и не дать большой погрешности при определении уровня, имевшего место на нагрузке до его подключения. Во втором случае входное сопротивление ИУ делается соответствующим стандартным сопротивлениям для цепей проводной связи: 600, 135 и 75 Ом. Обычно низкоомное входное сопротивление получается подключением с помощью тумблера параллельно входу ИУ резистора с соответствующим сопротивлением. Большое входное сопротивление обычно около 50 кОм.

Часто ИУ имеет две шкалы: одну, проградуированную в абсолютных уровнях напряжения для 600-омной цепи (нулю соответствует 0,775 В), другую для 135-омной (нулю соответствует 0,367 В) или же одну для 135-омной и вторую для 75-омной (нулю соответствует 0,274 В). Входное устройство ИУ, использующихся на воздушных и симметричных кабельных цепях, содержит обычно трансформатор, симметричный относительно земли.

В качестве преобразователей переменного напряжения в постоянное в ИУ применяются либо преобразователи пикового значения напряжения, либо двухполупериодные мостовые выпрямители, обеспечивающие получение средневыпрямленного значения напряжения. Переход к среднеквадратическим значениям осуще-

ствляется при градуировке шкалы. Удобнее, если в ИУ использован преобразователь, образующий сразу среднеквадратическое значение напряжения, но обычно такие преобразователи, имеющие квадраторы на полупроводниковых диодах, обладают значительными погрешностями. В настоящее время в качестве таких преобразователей успешно применяются преобразователи термоэлектрического типа. Они обладают тем преимуществом, что позволяют измерять уровни напряжения не только синусоидальной формы, т. е. их показания не зависят от содержания гармоник в измерительном сигнале.

Измерители уровня делятся на два типа: широкополосные и избирательные. *Широкополосные ИУ* не имеют элементов, обеспечивающих ограничение полосы частот. Они используются в случаях, когда необходимо оценить уровень какого-либо многочастотного сигнала, а также, когда сигнал представляет собой гармоническое колебание, практически не искаженное гармониками и помехами. *Избирательные ИУ* предназначены для измерения отдельных составляющих многочастотного сигнала, измерений в системах уплотнения в полосе телефонных каналов и частотных интервалах между каналами ТЧ без перерыва связи, измерений больших затуханий и т. п.

Широкополосные измерители уровня подразделяются по классу точности, рабочим диапазонам частот, пределам измерений, входным устройствам (симметричным или несимметричным относительно земли), чувствительности, типам применяемых детекторов.

Структурная схема типового измерителя уровня ИК-25-1 показана на рис. 4.1. Этот прибор обеспечивает измерение уровней напряжения в широкополосном режиме в диапазоне частот 0,5 ... 25 МГц и предназначен для проведения измерений в системах передачи организованных по коаксиальному кабелю. Сигнал поступает на вход либо непосредственно на attenuator, либо через выносное устройство. Выносное устройство обеспечивает получение высокого входного сопротивления. При его применении ак-

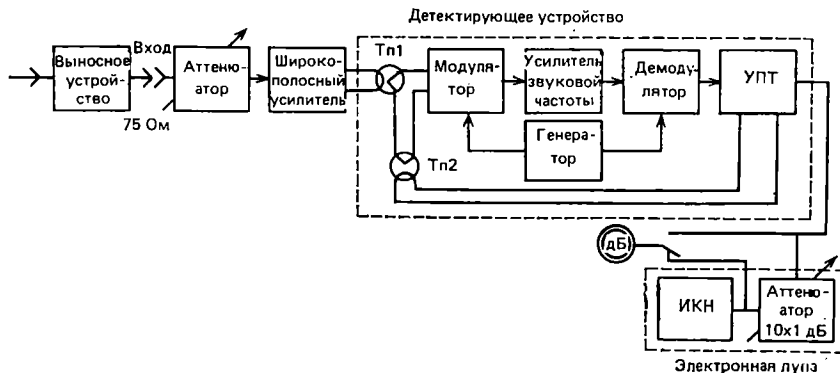


Рис. 4.1

тивная составляющая входного сопротивления  $R_{вх} = 50$  кОм, входная емкость 10 пФ. Если выносное устройство не используется, входное сопротивление равно 75 Ом. Применение аттенюатора и последовательно с ним включенного широкополосного усилителя позволяет измерять уровни по напряжению  $-60 \dots +10$  дБ при низкоомном входе и  $-50 \dots +25$  дБ при высокоомном входе.

Детектирующее устройство выделено в отдельный блок. Преобразование переменного напряжения в постоянное осуществляется с помощью вакуумного термопреобразователя Тп1. Применение термопреобразователя позволяет получать сигнал, пропорциональный среднеквадратическому значению измеряемого напряжения в широком диапазоне частот. В детектирующем устройстве применены следующие меры для повышения его температурной стабильности. Усиление сигнала, полученного с выхода Тп1, осуществляется преобразованием его в переменное с помощью модулятора и генератора. Переменное напряжение усиливается усилителем звуковой частоты, имеющим высокую температурную стабильность. Выделение исходного сигнала осуществляется в модуляторе, работающем по принципу синхронного детектора. Это обеспечивает высокую помехоустойчивость прибора при измерении малых уровней напряжения, близких к  $-60$  дБ. На выходе имеется усилитель постоянного тока, усиливающий сигнал и обеспечивающий отрицательную обратную связь, которая осуществляется с помощью термопреобразователя Тп2. ТермоЭДС этого преобразователя направлена встречно термоЭДС Тп1. Применение отрицательной обратной связи обеспечивает повышение стабильности коэффициента передачи всего детектирующего устройства. В рассматриваемом приборе предусмотрен режим повышенной разрешающей способности. Этот режим обеспечивается применением «электронной лупы». В этом режиме увеличивается коэффициент усиления выходного каскада УПТ. На стрелочный прибор одновременно с основным сигналом подается напряжение от источника компенсирующего напряжения ИКН, величина которого подбирается так, чтобы отметка 0 дБ приходилась на середину шкалы. Делитель напряжения  $10 \times 1$  дБ позволяет «растягивать» любой нормированный участок основной шкалы в пределах  $\pm 1$  дБ, при этом отсчет ведется по дополнительной (нижней) шкале, цена делений которой 0,05 дБ.

Измерители уровня избирательного типа характеризуются возможностью получения узкой полосы пропускания и «перемещения» ее по частотному диапазону. Избирательные ИУ часто конструктивно объединяются с широкополосными. В этом случае отмечается, что ИУ работает как в узкополосном, так и широкополосном режимах. Избирательные ИУ различаются по назначению. Так, например, имеются избирательные ИУ, предназначенные для измерения основной составляющей при относительно малых напряжениях помех и гармоник, ИУ для измерения основной составляющей, но при относительно больших напряжениях помех (иногда при отношении сигнал-помеха меньше единицы), ИУ для

измерения не только основной составляющей, но и любой другой составляющей спектра, отличающейся от основной по амплитуде в 1000 ... 2000 раз, ИУ для измерения только малых и определенных составляющих спектра в присутствии доминирующих сигналов.

Измерители уровня первого типа наиболее просты. Они выполняются иногда с однократным преобразованием частоты. Приборы второго типа значительно сложнее, осуществляются по схеме с несколькими преобразованиями частоты, содержат блоки подавления помех. Измерители уровня третьего типа имеют многократное преобразование частоты, в них принимаются меры по снижению собственных нелинейных искажений и увеличению избирательности. Приборы четвертого типа используются при измерении весьма малых нелинейных искажений по гармоникам или продуктам преобразования частоты в условиях, когда основные составляющие спектра устраняются с помощью специальных фильтров.

Избирательные ИУ характеризуются числом применяемых преобразований частоты и видом продуктов преобразований, используемых в качестве колебаний ПЧ. В современных высококачественных приборах число преобразований частоты иногда доходит до четырех. В качестве колебаний ПЧ используются как суммарная  $f_{\text{пр}} = f_r + f_c$ , так и разностная  $f_{\text{пр}} = f_r - f_c$  частоты, получаемые на выходе преобразователя частоты, здесь  $f_r$  — частота гетеродина,  $f_c$  — частота сигнала. Низкочастотное преобразование с использованием частоты  $f_r < f_{c \text{ min}}$  применяется только в индикаторах из-за существенного влияния зеркальных составляющих. Высокочастотное преобразование с  $f_r > f_{c \text{ max}}$  используется чаще. В первом случае ПЧ может быть равной  $f_{\text{пр}} = f_c \pm f_r$ , а во втором случае  $f_{\text{пр}} = f_r \pm f_c$ .

На рис. 4.2 приведены упрощенные структурные схемы избирательных ИУ. На рис. 4.2,а представлена схема ИУ с одной ступенью преобразования, а на рис. 4.2,б — с двумя. В первой ступени преобразования обычно используется частота гетеродина, превышающая частоту сигнала и  $f_{\text{пр}} = f_r - f_c$ . Это позволит избавиться от ряда паразитных составляющих. Многократное преобразование частот производится для повышения избирательности, а также, когда измерения необходимо производить в широкой полосе частот. Следует отметить, что избирательные ИУ требуют определенных навыков работы с ними. В определенных случаях в них могут появляться ложные показания. Для избежания возможных ошибок следует детально знакомиться с особенностями конкретной схемы ИУ и точно следовать рекомендациям заводской инструкции.

Наличие настраивающихся контуров и большого числа фильтров в ИУ избирательного типа с большим числом преобразований частоты не позволяет обеспечивать нижний предел рабочего диапазона менее 1 ... 2 кГц. Избирательные ИУ на рабочий диапазон от десятых долей герца выполняются без преобразования

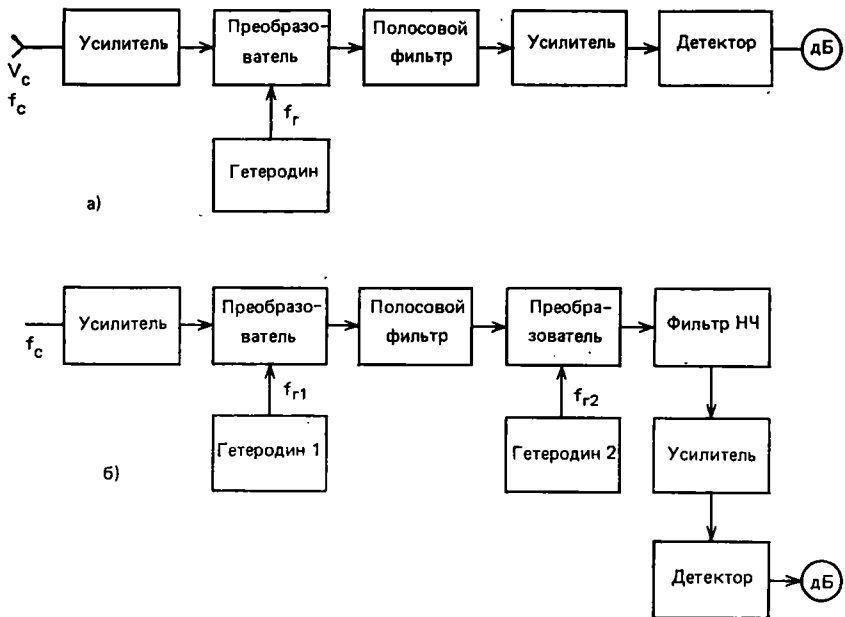


Рис. 4.2

частоты с контурами типа РС. Частотно-избирательные блоки выполняются по мостовым и двойным Т-образным схемам.

Структурная схема и конструкция современных избирательных ИУ достаточно сложны. В качестве примера на рис. 4.3 представлена структурная схема избирательного ИУ типа ИУ-2-2, работающего в полосе частот 0,01 ... 25 МГц. Прибор построен по гетеродинному принципу с четырехкратным преобразованием частоты, которое осуществляется с помощью преобразователей ПЧ-1—ПЧ-4. Требуемая избирательность достигается применением двух переключаемых электрохимических фильтров, настроенных на частоту 100 кГц с полосами 70 и 1740 Гц. Четвертый преобразователь снижает частоту со 100 до 10 кГц, что позволяет в качестве аттенюатора на такой низкой частоте использовать точные индуктивные делители.

Измеряемое напряжение поступает на первый преобразователь частоты ПЧ-1, где в результате взаимодействия с частотой 36...61 МГц, поступающей от генератора переменной частоты ГПЧ, формируется сигнал частоты 36 МГц. В результате взаимодействия этого сигнала с сигналом генератора фиксированной частоты ГФЧ 33,6 МГц на выходе второго преобразователя ПЧ-2 формируется напряжение ПЧ 2,4 МГц. Третья ПЧ 100 кГц образуется в ПЧ-3, куда от кварцевого генератора поступает частота 2,3 МГц. Гетеродинная частота для ПЧ-4 получается в результате деления частоты кварцевого генератора 2,3 МГц. В трактах ПЧ-3 и ПЧ-4 осуществляется основное усиление сигнала. Значение входного (измеряемого) сигнала изменяется с помощью входного аттенюатора (Атт) ступенями по 10 дБ от 0 до 50 дБ, и это устраняет перегрузку последующих каскадов тракта преобразования. Расширение пределов измерения до -110 дБ осуществляется в тракте четвертой ПЧ ступенчатым



делителем через 10 дБ от 0 до 60 дБ Атт ПЧ. Атт и Атт ПЧ управляются с помощью дешифратора ДШ. Сигнал после четвертого преобразования усиливается, детектируется и измеряется стрелочным прибором.

Прибор имеет дополнительную растянутую двустороннюю шкалу  $\pm 1$  дБ с нулем посредине, с разрешающей способностью 0,05 дБ (режим «Лупа»). В этом режиме используется делитель напряжения Д  $10 \times 1$  дБ на 10 дБ с переключением ступенями через 1 дБ, позволяющий переходить на этот режим при изменении сигнала в пределах 0...10 дБ на каждом из пределов 0... —110 дБ.

Калибровка прибора полуавтоматическая на частоте 100 кГц по внутреннему калибратору К.

В схему прибора введена система автоподстройки частоты по входному сигналу, что облегчает работу на узкой полосе при измерении сигнала, нестабильного по частоте. В этом случае сигнал (напряжение) ошибки, воздействующий на ГПЧ, вырабатывается в фазовом детекторе ФД, куда поступает эгалонная третья ПЧ 100 кГц.

Система установки и отсчета частоты состоит из генератора переменной частоты ГПЧ 36...61 МГц, генераторы фиксированной частоты ГФЧ 36 МГц, формирователя сигналов управления ФСУ, устройства управления частотой УУЧ, электронно-счетного частотомера, включающего в себя счетчик СЧ и устройство индикации УИ. Отсчет значения измеряемой частоты осуществляется по семиразрядному табло, входящему в УИ. Благодаря применению электронно-счетного частотомера ИУ может выполнять функции измерителя частоты сигнала.

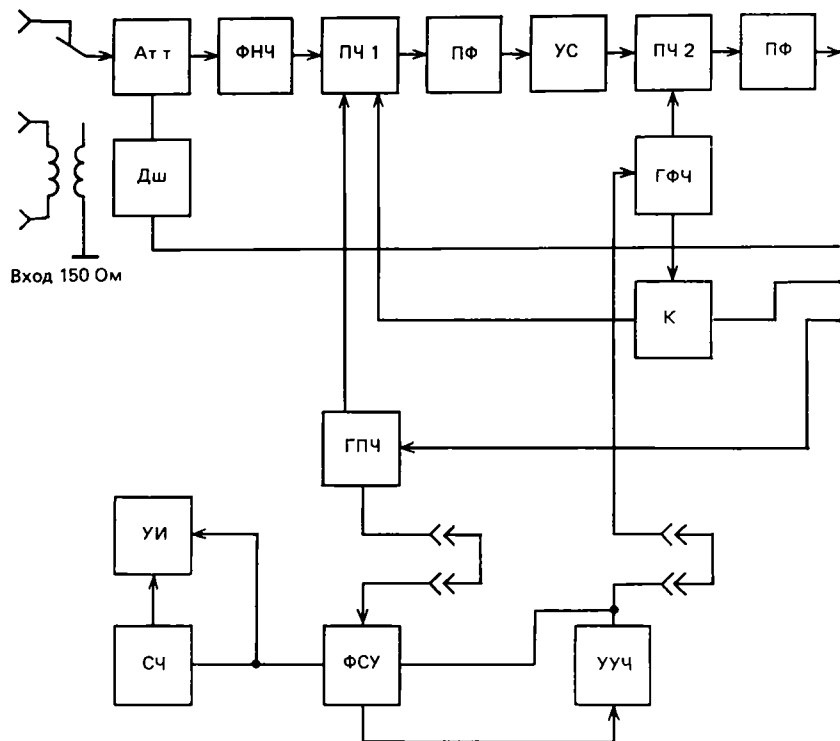
Основными параметрами избирательных приборов являются: рабочий диапазон частот, диапазон измеряемых уровней, класс точности, полоса пропускания, избирательность, защищенность от составляющих спектра с зеркальными частотами и составляющих с частотами, равными ПЧ, возможные ложные показания, собственные нелинейные искажения, неравномерность частотной характеристики и др.

Применение узкополосных фильтров позволяет существенно уменьшать уровень собственных помех ИУ и вследствие этого снижать нижний предел измеряемых уровней напряжений до —100 дБ (5 мкВ). Применение фиксированных частот и специальных методов детектирования позволяет осуществлять приборы с нижней границей измеряемых уровней напряжения до —160 дБ (5 нВ). Верхний предел измеряемых уровней напряжений обычно определяется применяемыми делителями напряжения. При использовании выносных устройств напряжение на входе не должно превышать 1,5...2 В (6...6,5 дБ).

Для иллюстрации современного уровня построения избирательного ИУ приведем основные технические и метрологические характеристики ИУ-2-2:

Диапазон частот, МГц . . . . .	0,01 ... 25
Диапазон измеряемых уровней на входе, дБ:	
низкоомном несимметричном . . . . .	—110 ... 0
низкоомном симметричном . . . . .	—100 ... 0
высокоомном несимметричном . . . . .	—100 ... 20
высокоомном симметричном . . . . .	—100 ... 0
Полоса пропускания . . . . .	70 и 1740 Гц
Избирательность прибора, дБ, для полосы 70 Гц при расстройке:	
на $\pm 80$ Гц . . . . .	$\geq 25$

Вход 75 Ом



на $\pm 140$ Гц	$\geq 40$
на $\pm 1,7$ Гц	$\geq 56$
на $\pm 4$ кГц	$\geq 60$
Основная погрешность настройки на частоту, Гц	$\leq \pm (2 \cdot 10^{-5}f + 30)$
Основная погрешность измерения уровней на частоте 100 кГц, дБ:	
на низкоомном несимметричном входе	$\pm 0,15$
на высокоомном симметричном входе	$\pm 0,3$
Неравномерность частотной характеристики, дБ	$\pm (0,2 - 0,15)$
Основная погрешность от переключения пределов измерений относительно значений для предела измерения 0 дБ, дБ:	
-10 ... -90 дБ	$\pm 0,2$
-100 ... -110 дБ	$\pm 0,4$
Вход прибора:	
<i>несимметричный:</i>	
низкоомный, сопротивление, Ом	75
затухание несогласованности, дБ	28
<i>симметричный:</i>	
низкоомный, сопротивление, Ом	150
затухание несогласованности, дБ	30
<i>высокоомный:</i>	
сопротивление, кОм	$\geq 4$
емкость, пФ	$\leq 15$
Затухание сигналов, дБ:	

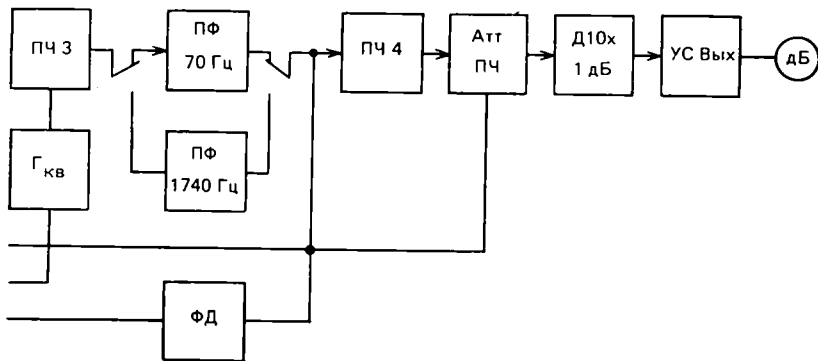


Рис. 4.3

зеркальных частот	≥ 60
промежуточных частот	≥ 70
Уровень шумов и ложных настроек (при закороченном входе), дБ	≤ 120

**Типы выпускаемых ИУ и особенности их применения.** Как видно из данных, приведенных для ИУ типа ИУ-2-2, существенное внимание при нормировании МХ уделяется входным цепям. Так происходит потому, что входные цепи определяют то влияние, которое оказывает прибор, подключаемый к измеряемой цепи. В связи с тем, что особенности построения входной цепи прибора при измерениях часто игнорируются, рассмотрим основные варианты входных устройств ИУ напряжения.

Во-первых, следует рассмотреть различие симметричного и несимметричного входных устройств. Схема входного устройства прибора несимметричного типа представлена на рис. 4.4, а. Здесь  $C$  — разделительный конденсатор достаточно большой емкости, обеспечивающий разделение цепей постоянного и переменного токов,  $R_1$  — активное сопротивление, имеющее возможно большое значение и обеспечивающее высокое входное сопротивление,  $R_2$  — активное сопротивление, обеспечивающее согласование входа ИУ с измерительной цепью.

Приборы с несимметричным (заземленным) входным устройством нельзя применять для проведения измерений в симметричных

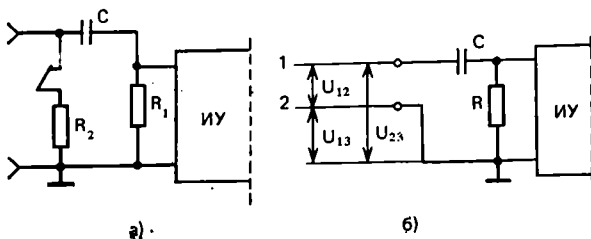


Рис. 4.4

а)

б)

цепях, например в двухпроводных линиях. Это иллюстрируется рис. 4.4,б, на котором показано подключение ИУ с несимметричным входом для измерения уровня напряжения на выходе симметричной линии. Очевидно, что при таком подключении один из проводов линии будет заземлен и ИУ измерит не уровень напряжения  $U_{12}$ , действующего между проводами, а напряжение между проводом 1 и землей, т. е.  $U_{23}$ .

Аналогичные явления возникают и при применении ИУ с несимметричным входным устройством, если не применять его заземления. В этом случае проявляется влияние емкостей относительно окружающих металлических предметов, земли, а также рук испытателя. Естественно, что описанные явления не имеют места при измерении на низких частотах, когда сопротивление паразитных емкостей оказывается достаточно большим.

Основным способом получения симметричного входа в технике проводной связи является применение входного трансформатора, который при соответствующей экранировке и симметрировании обеспечивает появление на выводах вторичной обмотки напряжения, пропорционального напряжению между проводами линии, симметричных относительно земли (рис. 4.5). Трансформатор при соответствующей нагрузке вторичной цепи обеспечивает достаточно высокое входное сопротивление, необходимое для подключения ИУ параллельно измеряемой цепи. Для использования ИУ в режиме, когда его входное сопротивление является нагрузкой линии, необходимо обеспечить согласование сопротивлений. В этом случае параллельно первичной обмотке трансформатора подключается с помощью тумблера К соответствующий резистор R. Вторичная обмотка трансформатора для упрощения схемы прибора обычно заземляется.

Применение входных трансформаторов существенно ограничивает частотный диапазон работы ИУ из-за снижения входного сопротивления.

К входному сопротивлению прибора предъявляются довольно жесткие требования. При параллельном подключении ИУ к нагрузке измерительной цепи его входное сопротивление должно быть возможно большим. Точное значение сопротивления здесь не имеет решающего значения. Поэтому в справочниках точное значение сопротивления высокоомного входа ИУ не указывается. Например, для измерителя уровня ИУ-2-2 дано: сопротивление

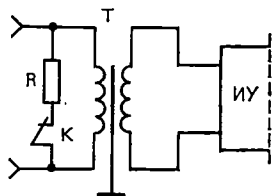


Рис. 4.5

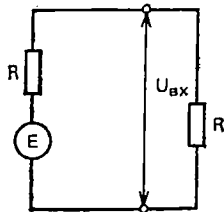


Рис. 4.6

высокоомного входа  $R \geq 4$  кОм. В том случае, когда ИУ является нагрузкой линии, необходимо точное согласование и к значению входного сопротивления ИУ предъявляются жесткие требования. Кроме того, входное сопротивление должно быть чисто активным. Однако на практике приходится ограничиваться некоторым минимально допустимым значением высокого входного сопротивления (как, например, для ИУ-2-2 сопротивлением 4 кОм) и вводить разумные допуски по модулю и углу для низкого входного сопротивления.

Необходимость установления допусков на значение низкого входного сопротивления вытекает из следующего. Допустим, что входное сопротивление прибора равно заданной величине  $R$ . Тогда при подключении прибора к цепи с ЭДС  $E$  и внутренним сопротивлением, также равном  $R$ , прибор покажет напряжение  $U_{вх}$  (рис. 4.6). Если же входное сопротивление прибора равно  $R \left(1 \pm \frac{m}{100}\right)$ , т. е., продолжая оставаться чисто активным, отклоняется от заданного номинального значения на  $m$  процентов, то напряжение на входе прибора будет  $U'_{вх}$ , причем оно относится к  $U_{вх}$  следующим образом:

$$\frac{U'_{вх}}{U_{вх}} = \frac{2(1 \pm m/100)}{2 \pm m/100} \cong 1 \pm \frac{m}{200},$$

и, следовательно, погрешность ( $\delta_R$ , %) из-за отклонения входного сопротивления прибора от номинального значения входного сопротивления примерно равна  $\delta_R \approx \frac{m}{2}$  %. Таким образом, допуск

по входному сопротивлению можно взять равным удвоенной допускаемой погрешности по напряжению. Однако эта рекомендация не учитывает наличия реактивной составляющей у входного сопротивления, из-за которой появится своя составляющая погрешности измерения, равная  $\delta_\phi$ . В этом случае  $\delta_R$  должна составлять только часть (например, 0,5 ... 0,7) общей допускаемой погрешности  $\delta_U$  за счет отклонения входного сопротивления от номинального значения. Таким образом, должно соблюдаться условие:

$$m \leq 2\delta_R, \text{ или } m \leq \delta_U.$$

Если принять ошибку из-за реактивной составляющей входного сопротивления равной 0,5 общей погрешности, то

$$U''_{вх}/U_{вх} = 1/\cos 0,5 \varphi_n \cong 1 + \delta_U/200,$$

где  $U''_{вх}$  — напряжение на входе прибора при наличии реактивной составляющей входного сопротивления. Соответственно должно соблюдаться условие для допустимого угла сдвига фаз

$$\varphi_n \leq 2 \arccos(1 - \delta_U/200),$$

что при погрешности  $\delta_U = 1$  % соответствует углу входного сопротивления в  $5^\circ$ .

Однако это допустимое значение угла может оказаться завышенным в том случае, когда ИУ подключается к цепи, внутреннее сопротивление которой тоже не является чисто активным. На практике встречаются случаи, когда внутреннее сопротивление цепи имеет угол, доходящий до  $\pm 45^\circ$ . Если допустить наиболее сложный случай, когда углы, соответствующие выходному сопротивлению цепи и входному сопротивлению ИУ, имеют разные знаки, то допуски следует уменьшить. Считаются допустимыми следующие значения углов входного сопротивления  $\varphi_n$ : для приборов класса точности 2,5  $\varphi_n = \pm 2^\circ 30'$ , класса точности 1,5  $\varphi_n = \pm 1^\circ 30'$  и класса точности  $\varphi_n = \pm 1^\circ$ . Таким образом, можно считать, что и допуск по модулю и углу низкого входного сопротивления не должен превышать по абсолютной величине класс точности прибора.

При высоких входных сопротивлениях реактивная составляющая, обусловленная входной емкостью прибора, также приводит к погрешности. Рекомендации по выбору отношения высокого входного сопротивления к низкому  $p(Z_B/Z_H)$  для приборов различных классов точности:  $4 - p > 17$ ;  $2,5 - p > 27$ ;  $1,5 - p > 45$ ;  $1 - p > 70$ .

При наличии входного трансформатора, используемого в схемах, симметричных относительно земли, высокое входное сопротивление и равномерная амплитудно-частотная характеристика довольно трудно обеспечиваются из-за паразитных свойств трансформаторов (емкостей, индуктивностей рассеяния, потерь в сердечнике, асимметрии и т. п.).

Подключение измерительных приборов не должно нарушать симметрию цепи относительно земли. Симметрия приборов относительно земли определяет защищенность приборов от продольных ЭДС, которые наводятся в линии и могут составлять несколько сотен вольт. При идеальной симметрии линии продольные ЭДС поступают на ИУ в одинаковой фазе и компенсируются. При нарушении синфазности ИУ измеряет разностное значение ЭДС. Влияние синфазных продольных ЭДС на процесс измерения и рабочий процесс можно устранить, приняв специальные меры по симметрированию цепей.

Значение асимметрии проводов относительно земли принято выражать величиной модуля отношения разности полных сопротивлений между первым проводом и землей  $Z_{13}$  и вторым проводом и землей  $Z_{23}$  к их полусумме

$$A_a = 2 \left| \frac{Z_{13} - Z_{23}}{Z_{13} + Z_{23}} \right| \cdot 100\%.$$

Нормирование асимметрии осуществляется с помощью параметра, называемого затуханием асимметрии переменному току, дБ, определяемого с помощью выражения

$$\alpha_a = 20 \lg 100/A_a.$$

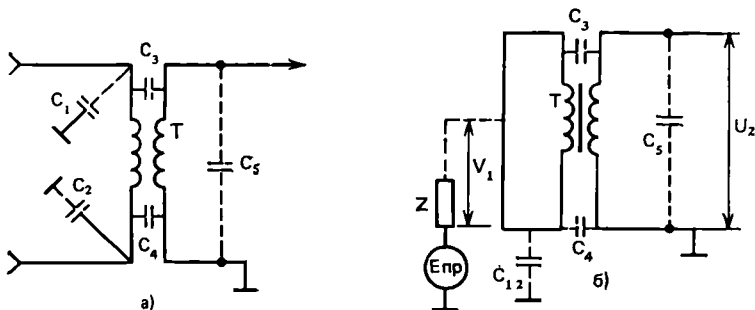


Рис. 4.7

Эквивалентная схема симметрирующего трансформатора, включенного на входе ИУ, показана на рис. 4.7,а. При высоком сопротивлении изоляции между обмотками и между обмотками и землей эквивалентные емкости  $C_1$ — $C_5$  определяют как присутствующую приборам асимметрию относительно земли, так и защищенность от продольных ЭДС. Асимметрию приборов относительно земли при симметричном устройстве первичной обмотки трансформатора и высоком сопротивлении изоляции между обмотками определяет в основном только соотношение между частичными емкостями  $C_1$  и  $C_2$ . Нарушение симметрии измеряемых объектов зависит также и от абсолютных значений этих частичных емкостей, вследствие чего подключение прибора к объекту измерения с помощью симметричных измерительных шнуров сказывается положительно на общую симметрию прибора, включенного совместно с шнуром.

Для защиты от продольных ЭДС наиболее существенное значение имеют эквивалентные частичные емкости между обмотками  $C_3$  и  $C_4$  и в некоторой степени внутренняя емкость  $C_5$ . При экспериментальной оценке защищенности оба вывода первичной обмотки рассматриваются как эквипотенциальные и в соответствии с этим закорачиваются. Эквивалентная схема входного устройства при испытании представлена на рис. 4.7,б, где  $E_{пр}$  — наведенная продольная ЭДС относительно земли, а  $Z$  — выходное сопротивление измеряемой цепи. Из рисунка видно, что емкость  $C_4$  только шунтирует цепь с наведенной продольной ЭДС на землю; емкость  $C_3$  образует цепь, по которой ток вызванный  $E_{пр}$  может пройти по вторичной обмотке и создать падение напряжения  $U_2$  и ложное показание ИУ. Для оценки защищенности входной цепи следует производить испытания измерительных приборов при закороченной первичной обмотке, как показано на рис. 4.7,б.

Для затухания асимметрий установлены нормы, при разработке которых учитывалось, что напряжение между проводами и землей, вызванное продольными ЭДС, наведенными за счет энергетических систем, может иметь значение 200 ... 250 В. Несмотря на то, что продольные ЭДС имеют частоту 50 Гц, нормы огова-

ривают для более высоких частот. Так, например, затухание асимметрии входа измерителя уровня низкой частоты (ИУ-НЧ), входящего в комплект приборов ИП-ТС, меньше 40 дБ.

**Влияние соединительных шнуров на погрешность измерения уровня.** В некоторых случаях на низких частотах и всегда на частотах, превышающих 1,5 МГц, входное устройство ИУ выполняется несимметричным относительно земли. Соединение прибора с объектом измерения осуществляется с помощью шнуров. Влияние соединительных шнуров становится все более заметным при увеличении частоты, так как начинают проявляться присущие им реактивные сопротивления. Особенно заметно влияние соединительных шнуров при частотах свыше 300 кГц, когда начинает дополнительно проявляться фазовая постоянная шнуров. Влияние шнуров проявляется двояко: изменяется входное сопротивление ИУ, изменяется коэффициент передачи, т. е. отношение напряжения на входе прибора к напряжению на входе шнура. Обычно влияние изменения входного сопротивления является доминирующим. Так, например, шнур длиной 1 м с  $Z_c = 75$  Ом имеет  $R = 0,05$  Ом, емкость  $C = 68$  пФ, индуктивность  $L = 0,4$  мкГн. Для такого шнура коэффициенты затухания и фазы, определенные из соотношений  $\alpha = R/2Z_c$  и  $\beta = \sqrt{LC}\omega$ , составляют  $\alpha = 0,006$  дБ и  $\beta = 0,033$  рад/МГц. Как видно из приведенных данных, влияние затухания, вносимого шнуром, можно практически не учитывать.

Если при проведении измерений удалось добиться согласования, то в шнурах наблюдается режим бегущей волны. В этом случае можно считать, что напряжения на входе и выходе шнуров практически одинаковы. При несогласованном включении необходимо учитывать свойства соединительного шнура как линии с распределенными постоянными. Учет влияния шнура на высоких частотах следует производить на основе известных формул для четырехполюсника:

$$U_1/U_2 = \operatorname{ch} \gamma l + Z_c/Z_2 \operatorname{sh} \gamma l, \quad (4.1)$$

$$Z_{вх} = \frac{(\operatorname{ch} \gamma l + Z_c/Z_2 \operatorname{sh} \gamma l)}{\operatorname{sh} \gamma l + Z_c/Z_2 \operatorname{ch} \gamma l} Z_c, \quad (4.2)$$

где  $U_1$  и  $U_2$  напряжения на входе и выходе шнура;  $Z_2$  — сопротивление нагрузки;  $\gamma = \alpha + j\beta$ .

Поскольку входное сопротивление ИУ значительно больше характеристического сопротивления шнура, т. е.  $Z_2 \gg Z_c$ , выражение (4.1) может быть приведено к виду  $U_1/U_2 \approx \operatorname{ch} \gamma l$ . Если учесть, что  $\alpha \approx 0$ , то:

$$U_1/U_2 \approx \operatorname{ch} j \beta l \approx \cos \beta l. \quad (4.3)$$

Из соотношения (4.3) видно, что при  $\beta l = \pi/2$ ,  $\cos \beta l = 0$  и на выходе шнура образуется пучность напряжения, причем  $U_2$  во много раз превысит  $U_1$ . На рис. 4.8 приведены графики зависимости относительной погрешности  $U_1 - U_2/U_1 100\%$  от частоты для шнуров длиной 1 и 1,5 м. Как видно из графиков, до частот



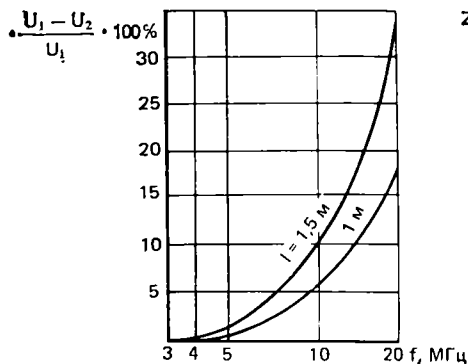


Рис. 4.8

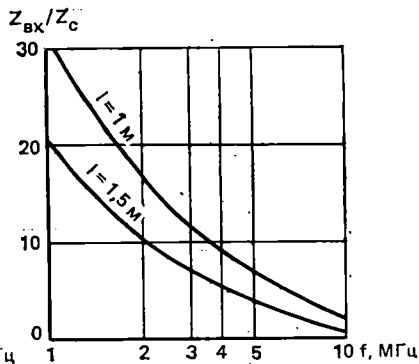


Рис. 4.9

1,5... 2 МГц влияние шнуров на отношение напряжений на их входе и выходе мало. Этот вывод справедлив для сравнительно коротких шнуров. Если их длина более 3 м, влияние фазовой постоянной проявится на частотах менее 1 МГц.

Изменение входного сопротивления в зависимости от частоты может быть оценено с помощью соотношения (4.2). При условии  $Z_2 \gg Z_c$  оно принимает вид

$$Z_{вх} = Z_c \operatorname{cth} \gamma l = -j Z_c \operatorname{ctg} \beta l. \quad (4.4)$$

При подключении ИУ параллельно нагрузке сопротивление ИУ должно быть в 10—15 раз (и более) выше характеристического сопротивления цепи. На рис. 4.9 представлен график зависимости  $Z_{вх}/Z_c = \Psi(f)$  для кабелей длиной 1 и 1,5 м с  $Z_c = 75$  Ом, с погонной емкостью  $C_{[1м]} = 68$  пФ и  $L_{[1м]} = 0,4$  мкГн. Как следует из графиков, подключать ИУ с высоким входным сопротивлением через соединительные шнуры можно практически на частотах менее 2 МГц. При увеличении длины шнура, а также при измерениях в 600-омных цепях допустимая частота сигнала снижается до 0,3... 0,5 МГц.

**Технические требования, предъявляемые к ИУ.** Измерители уровня обозначаются: *широкополосные* — ИУ-1, *избирательные* — ИУ-2 и *универсальные* — ИУ-3.

Диапазон частот, на который рассчитан ИУ, должен соответствовать диапазонам частот каналов и трактов ЕАСС, для которых рассчитан ИУ. Допускается расширение диапазонов частот относительно номинальных, если это требуется при настройке соответствующих каналов и трактов. Метрологические характеристики нормируются для диапазонов частот каждого из каналов и трактов в том случае, если они зависят от частоты.

Градуировка ИУ допускается как в абсолютных уровнях по напряжению в децибелах (относительно напряжения 0,7746 В), так и по мощности (относительно 1 мВт). Измерители уровня могут быть рассчитаны также для измерения других параметров

каналов и трактов ЕАСС: затухания несогласованности, затухания асимметрии и т. д. Измерители уровня, предназначенные для измерения нескольких параметров, должны иметь несколько шкал, проградуированных в соответствующих единицах, либо снабжаться пересчетными таблицами. Метрологические характеристики нормируются с учетом влияния соединительных шнуров, предназначенных для работы с этими приборами. Измерительные шнуры ИУ выполняются из гибкого кабеля длиной не менее 1,5 м. Электрические соединители должны соответствовать гнездам, применяемым в аппаратуре ВЧ систем передачи, для работы с которой предназначены ИУ.

При выходе уровня измеряемого сигнала за пределы диапазона измерений цифровых ИУ должна обеспечиваться соответствующая сигнализация. Для аналоговых ИУ значение ступени переключателя пределов должно выбираться из ряда: 0,01; 0,1; 1; 5; 10 дБ. Для цифровых измерителей уровня значение ступени внешнего переключателя пределов измерений должно быть равно или больше 10 дБ и, как правило, кратно 10 дБ. Конечное значение шкалы аналоговых ИУ должно быть равно  $\pm 1$  дБ. Начальное значение шкалы аналоговых ИУ выбирается из ряда:  $-5$ ,  $-10$ ,  $-15$ ,  $-20$  дБ. В ИУ может применяться дополнительная двусторонняя шкала с нулевой отметкой посередине и конечными значениями, выбираемыми из ряда:  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1$ ;  $\pm 1,5$ ;  $\pm 2$  дБ. Для цифровых измерителей уровня значение единицы счета младшего разряда индикации должно быть не более 0,1 дБ.

*Основная погрешность ИУ* или ее составляющие согласно ГОСТ 23854—79 должны нормироваться пределом допускаемых значений в децибелах на частотах, указанных в ТУ на ИУ конкретного типа. К составляющим основной погрешности ИУ относятся: погрешность калибровки, погрешность ступенчатой регулировки пределов измерения, погрешность на оцифрованных отметках шкалы аналоговых ИУ или погрешность, зависящая от показаний цифровых ИУ. Основную погрешность нормируют в виде составляющих, когда ее значение превышает  $\pm 0,2$  дБ.

*Дополнительные погрешности ИУ* нормируются в децибелах пределом допускаемой погрешности при изменении напряжения питания и пределом допускаемой погрешности на каждые  $10^\circ\text{C}$  при изменении температуры окружающего воздуха в рабочих условиях помещения.

*Неравномерность частотной характеристики ИУ* следует нормировать в номинальном диапазоне частот ИУ относительно частоты калибровки или частоты, указанной в стандартах или ТУ на ИУ конкретного типа. Если ИУ предназначен для различных каналов и трактов ЕАСС, имеющих рабочие диапазоны частот в пределах нормируемого диапазона, то нормирование следует выполнять также в каждом из этих диапазонов.

Приборы ИУ-2 и ИУ-3 в избирательном режиме должны позволять проводить измерения при наличии на входе одновременно с измеряемым сигналом помехи, шумовой уровень которой эк-

вивалентен загрузке канала или тракта, для работы на которых предназначен прибор; и синусоидальной помехи, уровень которой соответствует уровню контрольной или измерительной частоты, присутствующей в канале (тракте).

Для ИУ-2 и ИУ-3 нормируются следующие характеристики избирательных свойств. Ширина полосы пропускания, Гц (кГц), на уровне 3 дБ в пределах, указанных в стандартах или ТУ на ИУ конкретного типа. Избирательность — в виде значения затухания при соответствующих расстройках относительно средней частоты настройки.

Для полос пропускания, соответствующих измерению невзвешенного шума в полосе канала ТЧ (3100 и 1740 Гц), избирательность следует нормировать при расстройках 1,7, 4,24 кГц и более. Для полос пропускания, используемых для измерений без прерыва связи в свободных участках спектра частот ВЧ систем передачи, избирательность следует нормировать при расстройках, обеспечивающих необходимое подавление мешающих сигналов: остатки несущих частот, информационные сигналы, контрольные измерительные частоты и т. п.

Неравномерность частотной характеристики полосы пропускания нормируют относительно максимального показания ИУ. Затухание нелинейности ИУ-2 и ИУ-3 нормируют в виде значения разности показаний ИУ на частоте сигнала, подаваемого на вход с нормированным уровнем, и частотах, кратных частоте основного сигнала. Допускается нормирование затухания нелинейности ИУ по комбинационным составляющим при условии подачи на вход ИУ двух- или трехчастотного сигнала с нормированным уровнем.

*Затухание побочных спектральных составляющих* (промежуточных, зеркальных, комбинационных) ИУ-2 и ИУ-3 нормируют в виде разности показаний на частоте сигнала, подаваемого на вход, и частотах, соответствующих промежуточной, зеркальной или частоте комбинационной составляющей.

*Уровень собственных шумов* нормируется в виде показаний ИУ или отклонения стрелки в миллиметрах в рабочем диапазоне частот, или отсутствии сигнала на входе.

Основная погрешность настройки на частоту ИУ-2 и ИУ-3 в избирательном режиме нормируется пределом допускаемых значений в абсолютных или относительных значениях частоты. Дополнительные погрешности настройки на частоту нормируются в абсолютных или относительных значениях частоты пределом допускаемой дополнительной погрешности при изменении напряжения питания и пределом допускаемой погрешности на каждые 10° С при изменении температуры окружающего воздуха в рабочих условиях применения.

*Нестабильность показаний* ИУ-2 и ИУ-3 в избирательном режиме во времени в нормальных условиях применения нормируются в виде предела отклонения показаний за время, выбираемое из ряда: 5, 15, 30 мин, 1 ч.

Время установления показаний ИУ не должно превышать 10 с. Для аналоговых ИУ без термопреобразователей и термосопротивлений время установления показаний не должно превышать 4 с. Для цифровых ИУ указывается время измерений при внутреннем запуске.

Номинальные значения входных сопротивлений ИУ при работе на согласованную нагрузку должны соответствовать номинальным значениям входных и выходных сопротивлений каналов и трактов, для которых предназначены ИУ. Отклонение полных входных сопротивлений от номинальных значений задают в виде коэффициента отражения ( $\Gamma$ ) или затухания несогласованности ( $\alpha$ ) в рабочем диапазоне частот:

$$\text{В процентах } \Gamma = \left| \frac{Z - Z_n}{Z + Z_n} \right| \cdot 100;$$

$$\text{В децибелах } \alpha = 20 \lg \left| \frac{Z + Z_n}{Z - Z_n} \right|,$$

где  $Z$  — входное сопротивление прибора;  $Z_n$  — номинальное входное сопротивление прибора.

При работе на несогласованную нагрузку (при параллельном подключении к измеряемому объекту) нормируются значения активного сопротивления и шунтирующей емкости или значение полного сопротивления на одной либо нескольких частотах. Допускается нормирование параметров, характеризующих реакцию объекта с известным значением входного сопротивления и коэффициента отражения, вызываемую подключением ИУ (снижение уровня сигнала в измеряемом канале или тракте).

Измерители уровня могут иметь как симметричный, так и несимметричный вход относительно земли (либо тот и другой). Для симметричного входа затухание асимметрии должно быть не менее 43 дБ.

Для ИУ, в которых предусмотрена калибровка с помощью встроенного калибратора, указывается максимально допустимый интервал времени между проведением калибровки в нормальных условиях применения.

В ИУ-2 и ИУ-3 предусматриваются выходы по одной или нескольким ПЧ с выходным сопротивлением не более 10...20 Ом или при согласованном подключении приборов 75 (50), 150 Ом. При наличии выхода на псофометр выходное сопротивление должно быть 600 Ом.

Методы испытаний измерителей уровня. Испытания проводятся в нормальных условиях. Климатические испытания ИУ, предназначенных для работы в измерительных комплектах, допускается проводить вне комплекта.

Основную погрешность или ее составляющие определяют сравнением показаний испытываемого ИУ с показаниями образцового измерительного прибора по схеме рис. 4.10,а при низкоомном входе и рис. 4.10,б при высокоомном входе. В качестве об-

разцового измерительного прибора может быть использован вольтметр или ИУ с симметричным или несимметричным входом. На рис. 4.10 Г — измерительный генератор, В — образцовый измерительный прибор, дБ — магазин затуханий, УВ — выносное устройство,  $R_n$  — нагрузка магазина затуханий.

Измерения проводят на пределе измерений, для каждой оцифрованной отметки шкалы аналоговых ИУ и для тех показаний в пределах поддиапазона цифровых ИУ, которые указаны в стандартах или ТУ на ИУ конкретного типа.

Измерения для определения погрешности ступенчатой регулировки пределов измерения проводят для отметки шкалы «0 дБ» аналоговых ИУ и для конечного значения поддиапазона на всех пределах (поддиапазонах) измерения цифровых ИУ.

При использовании вольтметра в качестве образцового измерительного прибора для определения искомой погрешности необходимо пересчитать показание вольтметра в вольты в уровень по напряжению, после чего погрешность в децибелах определяют по формуле

$$\Delta L = L_{ИУ} + L_{мз} - L_0, \quad (4.5)$$

где  $L_0(U_0)$ , дБ (В), — показание образцового измерительного прибора, или значение, пересчитанное по формуле  $L_0 = 20 \lg \frac{U_0}{0,7746}$ ;  $L_{ИУ}$  — показание испытуемого прибора, соответствующее номинальному значению,  $L_{мз}$  — затухание, установленное на магазине затуханий.

При отсутствии в схеме магазина затуханий может быть использована формула

$$\Delta L = 20 \lg \frac{U_0}{U_{ИУ}} \quad (4.6)$$

или

$$\Delta L = \left(1 - \frac{U_{ИУ}}{U_0}\right) 8,69, \quad (4.7)$$

где  $U_0$ , В, — показание образцового вольтметра; расчетное значение напряжения, соответствующее номинальному показанию испытуемого ИУ. Формулу (4.7) применяют при определении погрешности менее 1 дБ. Измерения проводят на одной или нескольких частотах, указанных в стандартах и ТУ.

Схемы, представленные на рис. 4.10,а и рис. 4.10,б, могут быть использованы для измерения неравномерности частотной характеристики. Неравномерность оценивается по изменению показаний образцового измерительного прибора или магазина затуханий. Изменение показаний при одновременном поступлении на вход прибора измеряемого сигнала и помехи определяют с помощью схемы, приведенной на рис. 4.11. При определении влияния синусоидальной помехи полосовой фильтр в этой схеме может отсутствовать. Измерение осуществляется при высокоомном входном сопротивлении ИУ на всех заданных полосах пропускания. От генератора  $\Gamma_1$  (при отключенном генераторе  $\Gamma_2$ ) подают через магазин затухания  $\text{дБ}_1$  сигнал, соответствующий измеряемому. Значения частот и уровни должны быть установлены в стандартах или ТУ на ИУ конкретного типа. Затем подключают генератор  $\Gamma_2$ . Сигнал, подаваемый с его выхода через магазин затуханий  $\text{дБ}_2$ , соответствует помехе. Значения (диапазон) частот, уровни помех, полоса пропускания фильтра берутся из соответствующих стандартов или ТУ. С помощью магазина затуханий добиваются первоначального показания ИУ. Изменение показаний в децибелах определяют по формуле  $\Delta L = (a_1 - a_2)$ , где  $a_1$  — значение затухания, установленное на магазине затуханий  $\text{дБ}_1$ , без помехи;  $a_2$  — значение, установленное на магазине затухания  $\text{дБ}_2$ , при наличии помехи.

Характеристики избирательных свойств ИУ определяют с помощью схемы рис. 4.12. Для определения ширины полосы пропускания ИУ настраивают на частоту, установленную на генераторе в соответствии со стандартами и ТУ, затем уменьшают на 3 дБ затухание, установленное на магазине затуханий, и расстройкой генератора находят частоты, при которых показания ИУ равны первоначальному. Разность этих частот, определяемых по частотомеру Ч, равна измеряемой полосе. Аналогично определяют ширину полосы пропускания на уровне 0,5 дБ. Неравномерность частотной характеристики в полосе пропускания определяют по разности показаний ИУ, соответствующих максимуму и минимуму в пределах полосы.

Избирательность ИУ проверяют изменением частоты генератора относительно частоты настройки, которая указана в стандартах и ТУ, поддерживая при этом выходной уровень генератора постоянным. Контроль уровня осуществляется с помощью вольтметра В. Изменяя затухание магазина (или переключая пред-

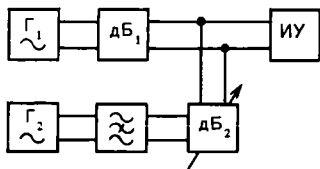


Рис. 4.11

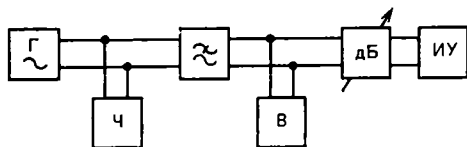


Рис. 4.12

лы измерения ИУ), добиваются того же показания ИУ. Избирательность определяют по разности значений затухания до и после расстройки. Измерения проводят для каждой полосы в начале, середине и конце рабочего диапазона частот.

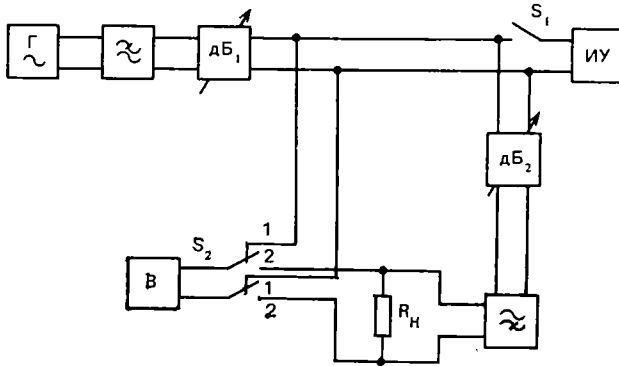
Затухание нелинейности ИУ можно проверить, используя схему рис. 4.10,а или 4.10,б. От генератора через измерительный фильтр на вход прибора подают сигнал частотой  $f$ . Уровни, номинальные значения частот, режим работы ИУ указаны в стандартах или ТУ. Затем прибор последовательно настраивают на частоты  $f$ ,  $2f$  и  $3f$  или  $f$ ,  $f/2$ ,  $f/3$ . Пользуясь переключателем пределов ИУ, измеряют уровни этих сигналов. Разность показаний на частоте  $f$  и  $2f(f/2)$ ,  $3f(f/3)$  соответственно дает искомое значение затуханий нелинейности ИУ.

Затухание по комбинационным продуктам определяют аналогичным образом, но на вход ИУ подают сигналы от двух или трех генераторов.

Уровень собственных шумов ИУ определяют при замкнутом на коротко входе или включенной экранированной нагрузке, эквивалентной номинальному входному сопротивлению тракта или канала, для измерения характеристик которых предназначен ИУ. Проверку осуществляют на самом чувствительном пределе, а для ИУ-2 и ИУ-3 в избирательном режиме на всех полосах пропускания плавной перестройкой по всему диапазону частот. Измерение производят снятием показаний проверяемого ИУ.

Затухание побочных спектральных составляющих проверяют с помощью схемы рис. 4.12. Затухание ПЧ проверяют подачей на вход ИУ поочередно сигналов ПЧ (измеряемых частотомером Ч), которые находятся в диапазоне рабочих частот ИУ. Разность между уровнем сигнала ПЧ на входе ИУ и показанием прибора, настроенного на частоту, отличную от частоты сигнала на входе ИУ, дает искомое затухание по ПЧ. Затухание зеркальных или комбинационных частот определяют подачей на вход ИУ сигнала от генератора и настройкой ИУ на соответствующую зеркальную частоту или частоту комбинационного продукта. Частоты и их номинальные значения должны быть указаны в стандартах или ТУ на ИУ.

При нормировании затухания нелинейности, вносимой в измеряемый тракт при подключении ИУ, измерение производят по схеме рис. 4.13. Затухания, вводимые на магазинах  $дБ_1$  и  $дБ_2$ , должны быть не менее 10 дБ. Вход испытуемого ИУ должен быть установлен высокоомным. Затухание нелинейности измерительного генератора совместно с фильтром нижних частот должно быть не менее чем на 10 дБ выше заданного вносимого затухания. Затухание фильтра верхних частот на частоте первой гармоники сигнала определяют возможностью измерения прибором В необходимого уровня второй и третьей гармоник в присутствии сигналов первой гармоники. Избирательным прибором В с высокоомным входом измеряют уровень сигнала (первой гармоники) в положении 1 переключателя  $S_2$ , а затем уровня второй и треть-



ей гармоник в положении 2 переключателя  $S_2$ . Сравнение затухания нелинейности при отключенном и подключенном ИУ характеризует значение вносимой нелинейности.

Основная и дополнительные погрешности настройки на частоту определяются по схеме рис. 4.12 сравнением частоты сигнала генератора, определяемой по частотомеру, и частоты настройки, определяемой по отсчетному устройству ИУ. При достаточно высокой точности установки частоты измерительного генератора отсчет частоты можно производить по его шкале и частотомер может отсутствовать.

Нестабильность показаний ИУ во времени определяют на частотах, указанных в стандартах по схеме рис. 4.10. Отсчеты показаний производятся после установления рабочего режима ИУ не более чем через 1, 3, 6 и 12 мин. Нестабильность в децибелах определяют по формуле  $\Delta L = L_{\max} - L_{\min}$ , где  $L_{\max}$ ,  $L_{\min}$  — максимальное и минимальное показания ИУ за время определения нестабильности.

Входное сопротивление ИУ следует проверять с помощью мостов полных сопротивлений переменного тока или установок, предназначенных для измерения затухания несогласованности, по схеме рис. 4.14 на ряде фиксированных частот. Вначале при замкнутом переключателе  $S$  устанавливают по эталонному прибору уровень напряжения  $L_1$ , затем переключатель  $S$  размыкают, уровень сигнала генератора повышают до получения того же значения  $L_2$  на испытуемом ИУ, что и при первом измерении, и запи-

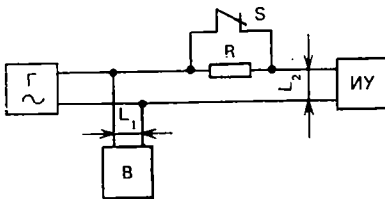


Рис. 4.14

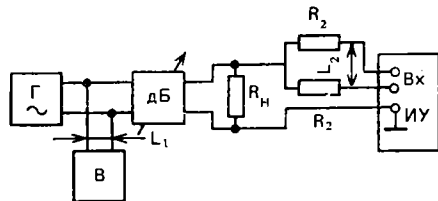


Рис. 4.15



сывают значение уровня  $L''_1$ . Входное сопротивление определяют по формуле

$$Z = \frac{U'_1}{U''_1 - U'_1} R,$$

где  $U'_1$  и  $U''_1$  — напряжения, соответствующие измеренным уровням  $L'_1$  и  $L''_1$ ;  $R$  — известное сопротивление.

Если высокоомное входное сопротивление ИУ нормировано снижением уровня сигнала в измеряемом объекте при подключении ИУ, то его определяют при подключении ко входу ИУ резистора с сопротивлением, равным половине входного сопротивления тракта, для измерения которого предназначен ИУ. На этот резистор подают сигнал от генератора с высокоомным выходом или через развязывающие резисторы и его уровень измеряют образцовым измерительным ИУ при подключении и отключении ИУ.

Затухание асимметрии симметричного входа проверяют по схеме рис. 4.15 на ряде фиксированных частот и при входных сопротивлениях, указанных в стандартах или ТУ на ИУ конкретного типа. Сопротивление резисторов  $R_1$  и  $R_2$  равно  $R = R_n/2$  и должно иметь погрешность не более 0,5% ( $R_n$  — номинальное входное сопротивление канала или тракта, для измерения которого предназначен ИУ). При этом разность сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_2$  должна быть не более 0,1%  $R$ . Затухание асимметрии определяют по формуле  $A = (L_1 - a_{мз} - L_2)$ , где  $L_1$  и  $L_2$  — уровни в точках, показанных на рис. 4.15,  $a_{мз}$  — затухание, введенное магазином.

Допускаемое отношение максимального значения входного сигнала к среднеквадратическому проверяют, если в стандартах или ТУ на ИУ указан тип детектора, отличающийся от линейного. На вход ИУ (см. рис. 4.10) поочередно подают синусоидальный сигнал или сигнал в виде односторонних прямоугольных импульсов с равными среднеквадратическими значениями и заданной частотой. При этом отношение амплитуды прямоугольных импульсов к амплитуде синусоидального сигнала должно быть равно заданному значению допускаемого отношения максимального значения входного сигнала к среднеквадратическому ( $K$ ), умноженному на коэффициент 0,707, а отношение длительности импульса к длительности периода повторения определяют по формуле

$$\alpha = 0,5 \left( 1 - \frac{\sqrt{K^2 - 4}}{K} \right).$$

Разница показаний для этих двух сигналов не должна превышать основной погрешности измерения уровня напряжения.

В качестве измерительного сигнала может быть использован прерывающийся синусоидальный сигнал с частотой, указанной в стандартах или ТУ на ИУ конкретного типа. Для данного сигнала

ла отношение длительности импульса к длительности периода определяется по формуле

$$\alpha = 2/K^2.$$

**Основные типы ИУ, выпускаемые промышленностью и находящиеся в эксплуатации:**

1. Измеритель уровня ИУ-НЧ. Прибор входит в состав комплекта измерительных приборов ИП-ТЧ для диапазона частот 30 Гц ... 15 кГц. Этот комплект предназначен для настройки и измерений в процессе эксплуатации и производства каналов ТЧ, каналов вещания и звукового сопровождения телевидения в диапазоне 30 ... 15000 Гц.

Измеритель уровня ИУ-НЧ работает в широкополосном и избирательном режимах. Диапазон измеряемых уровней в широкополосном режиме  $-70 \dots +20$  дБ, в избирательном  $-110 \dots +20$  дБ. Основная погрешность измерения уровня  $\leq \pm 0,2$  дБ. Вход прибора симметричный, входное сопротивление: низкоомное  $-600$  Ом, высокоомное  $-20$  кОм. Затухание асимметрии входа  $> 40$  дБ. Погрешности измерения затухания асимметрии до 50 дБ не более  $\pm 1,5$  дБ, несогласованности до 35 дБ не более  $\pm 1$  дБ.

2. Измеритель уровня ИУ-К-120. Прибор входит в комплект приборов ИПК-120, предназначенный для проведения настроечных и эксплуатационных измерений в системе передачи К-120. В селективном режиме прибор работает на следующих частотах: 63,2; 308; 564; 815,2; 1051,2; 1304; 1364 кГц. В широкополосном режиме частотный диапазон от 10 до 2000 кГц. Диапазон измерений в селективном режиме от  $-60$  до  $-10$  дБ, в широкополосном от  $-30$  до  $+20$  дБ. Погрешность измерения уровня в зависимости от положения переключателя пределов измерения  $\pm 0,2$  дБ и от изменения частоты  $\pm 0,3$  дБ. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в селективном режиме в полосе пропускания  $\pm 300$  Гц относительно номинального значения частоты настройки  $\leq \pm 0,2$  дБ. Избирательность при расстройках на  $+4$ ,  $-8$  кГц и выше  $\geq 70$  дБ.

3. Измерители уровня ИУИ-25 и ИУ-25. Они входят в комплект измерительного пульта ИП-10/25, предназначенного для проведения измерений в системах передачи, организованных с применением коаксиального кабеля.

Измеритель уровня избирательный ИУИ-25 работает в диапазоне частот 0,05 ... 25 МГц. Диапазон измеряемых уровней  $-100 \dots 0$  дБ при низкоомном входе и  $-80 \dots +20$  дБ при высокоомном входе. Полосы пропускания составляют 300 ... 3100 Гц. Избирательность при расстройке на  $\pm 24$  кГц для полосы 300 Гц  $\geq 72$ , для полосы 3100 Гц  $\geq 62$  дБ. Входные сопротивления 50 кОм и 75 Ом. Основная погрешность измерения уровня напряжения на отметке 0 дБ на частоте калибровки 200 кГц  $\leq \pm 0,3$  дБ.

Измеритель уровня широкополосный ИУ-25 работает в диапазоне 0,05 ... 25 МГц. Пределы измерения уровней напряжения  $-70 \dots +25$  дБ. Основная погрешность измерения уровней на отметке 0 дБ на частоте 1 МГц  $\leq \pm 0,2$  дБ.

4. Измеритель уровня фиксированных частот ИУФЧ-4 и широкополосный измеритель уровня ИУ-10. Эти приборы входят в состав комплекта приборов для измерений в НУП систем передачи К-300, К-1920. Комплект предназначен для работы в полевых условиях при температуре окружающей среды от  $-30$  до  $+50^\circ\text{C}$ .

Измеритель уровня ИУФЧ-4 работает на частотах 60, 308, 1056, 1364, 1395, 2704, 5974, 8544, 9500 кГц. Диапазон измерения уровней напряжения — 65 ... 0 дБ на высокоомном и —85 ... —20 дБ при низкоомном входах. Основная погрешность измерения уровня  $\leq \pm 0,2$  дБ. Входное сопротивление высокоомное  $> 5$  кОм, низкоомное 75 Ом. Полоса пропускания прибора по уровню 3 дБ  $\leq 600$  Гц. Основная погрешность установки частоты  $\leq \pm 100$  Гц.

Измеритель уровня ИУ-10 имеет диапазон частот 0,06 ... 10 МГц. Диапазон измерения уровней —40 ... +10 дБ при высокоомном и —50 ... 0 дБ при низкоомном входах. Основная погрешность измерения  $\leq \pm 0,12$  дБ. Неравномерность частотной характеристики  $\leq \pm 0,2$  дБ. Входное сопротивление высокоомное  $> 5$  кОм, низкоомное 75 Ом.

Оба прибора могут питаться от внутренних батарей.

5. Измеритель уровня фиксированных частот ИУФЧ-3 и широкополосный измеритель уровня ИУ-25П. Эти приборы входят в комплект для измерений в НУП систем передачи К-1020, К-3600 (КИП-20).

Измеритель уровня ИУФЧ-3 имеет рабочие частоты 308, 768, 4896, 9216, 18 432. Диапазон измерений —55 ... —20 дБ. Полоса пропускания на уровне 3 дБ  $\leq 800$  Гц. Основная погрешность измерения уровней напряжения  $\leq \pm 0,12$  дБ. Входное сопротивление  $> 10$  кОм.

Измеритель уровня ИУ-25П имеет диапазон 0,25 ... 25 МГц. Диапазон измерения от —40 ... 0 дБ при погрешности,  $\leq \pm 0,12$  дБ. Входное сопротивление  $> 3$  кОм.

## 4.2. ИЗМЕРЕНИЕ ПОМЕХ

Посторонние электрические колебания, которые появляются в каналах и групповых трактах МСП, называются *помехами*. В зависимости от вида помех строятся СИ для их оценки. Помехи можно подразделить на совпадающие и несовпадающие. *Совпадающими помехами* называются такие, которые по своему характеру совпадают с полезным сигналом. При телефонной связи такой помехой является внятный переходной разговор. Совпадающие помехи считаются недопустимыми, поэтому они сводятся к минимуму либо превращаются в несовпадающие помехи допустимой величины.

*Несовпадающими помехами* называют такие, которые по своему характеру не совпадают с передаваемым сигналом. К таким помехам относятся флуктуационные, импульсные, периодические и другие виды помех. Эти помехи, в свою очередь, могут быть подразделены на помехи внешние и внутренние. Внешние помехи обусловлены мешающим воздействием внешних источников: сетей электропитания, грозовых разрядов, промышленных установок, механических воздействий на аппаратуру и т. п. Внутренние помехи: тепловые, возникающие в проводниках и усилительных элементах; помехи от нелинейных переходов, возникающие из-за нелинейности в групповых трактах.

В каналах, организованных с помощью коаксиальных кабелей, возникают в основном внутренние помехи из-за слабого влияния внешнего поля. В каналах, организованных с помощью

симметричных кабелей, наблюдаются как внутренние, так и внешние помехи. И наконец, в каналах, организованных по воздушным цепям, помехи в основном происходят от внешних источников.

Допустимый уровень помех каждого вида различен. Для измерений параметров, характеризующих помехи, пользуются разной методикой измерений. Особенно важны при измерениях помех учет весовых коэффициентов, с которыми они воспринимаются слуховым аппаратом человека, а также учет свойств воспроизводящих устройств аппаратуры (например, электроакустических свойств телефонных аппаратов).

Мешающее действие помех раньше всего было обнаружено в телефонных каналах. Исследование показало, что ухо человека неодинаково оценивает помехи разной частоты. При оценке мешающего действия синусоидальных составляющих помех их сравнивают с мешающим действием гармонического колебания 800 Гц при измерении в телефонном канале или 1000 Гц — в вещательном канале. Оценка заметности помех осуществлялась экспертным методом. Для обеспечения одинакового мешающего действия помехи частотой  $f$  и гармонического колебания частотой 800 Гц их напряжения должны быть различными, т. е.  $U_{800} = P_f U_f$ . Коэффициент  $P_f$  служит для оценки степени мешающего действия помехи относительно колебания с частотой 800 Гц. Величина  $P_f$  называется *псофометрическим коэффициентом напряжения* данной частоты. Таблицы псофометрических коэффициентов для телефонных и вещательных каналов были впервые рекомендованы МККГТ (ранее МККФ) еще в 1934 г. В дальнейшем эти таблицы уточнялись.

*Псофометрическое напряжение*  $U_{\text{псоф}}$  — напряжение помех, действующее на активном сопротивлении 600 Ом и измеренное с учетом неодинакового воздействия напряжений различных частот на качество телефонной или вещательной передачи, т. е. с учетом весовых коэффициентов. Псофометрическое напряжение для телефонной передачи равно

$$U_{\text{псоф}} = \frac{1}{P_{800}} \sqrt{\sum (P_f U_f)^2}, \quad (4.8)$$

где  $U_f$  — среднеквадратическое значение отдельных частотных составляющих помех;  $P_f$  — псофометрический коэффициент,  $P_{800}$  — псофометрический коэффициент для частоты сравнения 800 Гц. Для частоты 800 Гц  $P_{800} = 1$ . Показание прибора в этом случае определяется соотношением  $U_{\text{псоф}} = \sqrt{\sum (P_f U_f)^2}$ .

Для измерения псофометрического напряжения в состав прибора необходимо включить частотно-избирательный фильтр, коэффициент передачи которого для любой частоты в пределах 0,3...3,4 кГц равен  $P_f$ . Значения псофометрических коэффициентов для различных частот представлены в табл. 4.1.

Помимо фильтра прибор должен содержать квадратичный детектор. Шкалу псофометра обычно градуируют в милливольтмах (мВ псоф).

Таблица 4.1

f, Гц	300	400	500	600	700	800	900	1000
P <sub>f</sub>	0,295	0,484	0,661	0,794	0,902	1,000	1,072	1,22

Продолжение табл. 4.1

1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
1,072	1,000	0,955	0,905	0,861	0,824	0,791	0,760

Продолжение табл. 4.1

1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600
0,732	0,708	0,689	0,670	0,652	0,634	0,617	0,598

Окончание табл. 4.1

2700	2800	2900	3000	3100	3200	3300	3400
0,580	0,562	0,543	0,525	0,501	0,473	0,444	0,412

Наряду с психофотметрическим напряжением шум характеризуют *психофотметрической мощностью*, выделяемой на сопротивлении 600 Ом. Эту мощность часто выражают в психофотметрических пиковаттах (пВт психоф).

Психофотметрическая мощность (пВт) может быть определена из формулы

$$P_{\text{психоф}} = \frac{U_{\text{психоф}}^2}{R} = \frac{\sum (P_f U_f)^2}{600} 10^6. \quad (4.9)$$

Психофотметрический уровень помех по мощности (дБ психоф) определяется из выражения

$$L_{\text{психоф}} = 10 \lg P_{\text{психоф}}. \quad (4.10)$$

Большинство психофметров при отключенном взвешивающем фильтре позволяют измерять и обычное среднее квадратическое значение напряжения или мощности шума. В каком соотношении находятся эффективное и психофотметрическое значения напряжений, мощности и уровня? В общем случае однозначного ответа

на этот вопрос нет, все зависит от спектрального распределения помехи в диапазоне частот 0,3 ... 3,4 кГц. В частном случае, когда помеха имеет сплошной спектр с равномерным распределением в указанной полосе частот, это отношение может быть определено. Белый шум аппроксимирует шум, получаемый в канале связи. Интересующие нас величины для белого шума пропорциональны полной площади под весовой функцией. Поскольку функция табулирована (графически она представлена на рис. 4.16), операцию интегрирования можно заменить суммированием значений, приведенных в табл. 4.1

$$U_{\text{псоф}} = \frac{U}{n \sqrt{\sum_{f=300}^{3400} P_f^2}},$$

где  $n$  — число значений  $P_f$ . При использовании значений табл. 4.1  $U_{\text{псоф}} = 0,75U$ . При оценке псофометрической мощности можно пользоваться соотношением  $P_{\text{псоф}} = 0,56P$ . Псофометрический уровень оказывается на 2,5 дБ ниже обычного уровня, определяемого для равномерного шума, т. е.  $L_{\text{псоф}} = 10 \lg P_{\text{псоф}} = 10 \lg 0,56P = L - 2,5$  дБ.

Исследования, проведенные МККТТ, показали, что пороговая мощность помех, соответствующая едва заметному их проявлению, составляет 100 000 пВт (псоф) в точке с нулевым измерительным уровнем.

Структурная схема псофометра изображена на рис. 4.17. Входное сопротивление прибора изменяется подключением резистора с сопротивлением 600 Ом. Входное устройство трансформаторного типа обеспечивает получение симметричного входа. С помощью переключателей  $S_2$  и  $S_3$  в состав прибора включается либо псофометрический фильтр  $\Phi П_1$  (для телефонного канала), либо  $\Phi П_2$  (для вещательного канала), либо эквивалентное звено ЭЗ. Последнее звено включается при измерении интегральных помех и имеет затухание, одинаковое с затуханием псофометрических фильтров на средних частотах. Детектор обеспечивает квадратичное детектирование. При подведении к псофометру гармонических напряжений с частотами 800 или 1000 Гц показания прибора соответствуют среднеквадратическому значению напряжения на входе прибора.

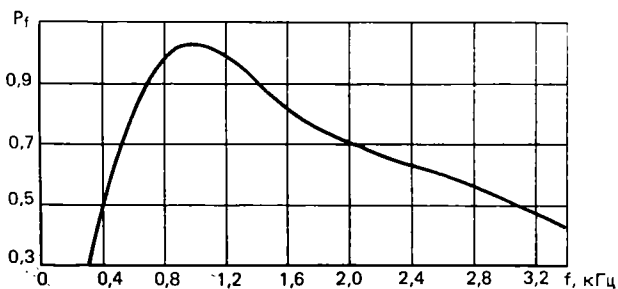


Рис. 4.16

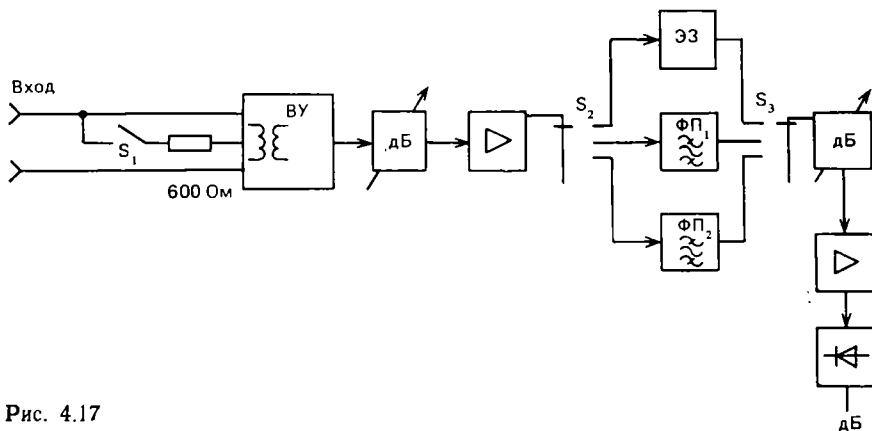


Рис. 4.17

Псофометры обычно обеспечивают измерение напряжений в пределах 0,05 мВ ... 3 В. Так, измеритель шумов ИШС-НЧ позволяет измерять помехи в диапазоне 0,1 мВ ... 3 В (−90 ... +10 дБ). При необходимости можно подключать к измеряемой цепи псофометр совместно с ИУ (например, избирательный измеритель уровня ИУИ-25 имеет гнездо, позволяющее подключить псофометр к его оконечному усилителю).

При измерении псофометрической ЭДС в канале ТЧ оба его конца должны быть замкнуты на резисторы с сопротивлением, равным характеристическому сопротивлению линии. Поскольку при измерении псофометрического напряжения входное сопротивление псофометра должно быть 600 Ом, то для согласования применяется переходной симметрирующий трансформатор. При этом псофометрическая ЭДС будет равна удвоенному значению псофометрического напряжения. В тех случаях, когда характеристическое сопротивление канала не равно 600 Ом и он замкнут на согласованное сопротивление, следует производить пересчет приведенного напряжения по формуле  $U'_{\text{псоф}} = U_{\text{псоф.изм}} \sqrt{600/Z_c}$ . Схема подключения псофометра к линии показана на рис. 4.18.

Напряжение шума измеряют в ЧНН с интервалом 1 мин. Показания отсчитываются за период 5 с. При измерениях фиксируют средний уровень помехи и не учитывают отдельные резкие отклонения стрелки псофометра. На основании полученных результатов измерений вычисляют мощности, соответствующие измеренным направлениям, и определяют среднее арифметическое значение псофометрической мощности шума за 1 ч.

Средний уровень невзвешенного шума (за 1 ч) в канале ТЧ измеряют в ЧНН при полной нагрузке системы передачи. Измерения проводят в четырехпроводной части канала (в точке номинального

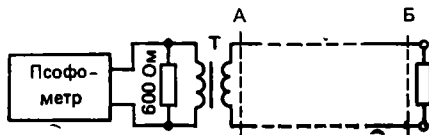


Рис. 4.18

Таблица 4.2

Частота, кГц	0,05	0,1	0,3	0,5	0,8	2	3,4	4
Относительное затухание (по отношению к частоте 800 Гц), дБ	63	40	1,7	1	0	1	1,7	22

относительного уровня 4 дБм0) в обоих направлениях передачи прибором с квадратической характеристикой детектирования и временем интеграции 200 мс при включенном псофометрическом фильтре. Прибор подключается 600-омным входом через измерительный фильтр 300...3400 Гц к выходу канала ТЧ. На вход канала должен быть подключен резистор с сопротивлением 600 Ом. Частотная характеристика измерительного фильтра ТЧ должна удовлетворять данным табл. 4.2. Затухание фильтра на частоте 800 Гц должно быть не более 0,5 дБ.

Измеренное среднее напряжение невзвешенного шума для простого канала ТЧ эталонной цепи протяженностью 2500 км не должно превышать 6,4 мВ (—46 дБм0, или 25000 пВт0 в точке нулевого относительного уровня). При протяженности канала ТЧ, не равной 2500 км, допустимую мощность шумов необходимо определять из суммы двух слагаемых: мощности шумов линейного тракта (из расчета  $\frac{3 \text{ пВт/км}}{0,56}$ ) и мощности невзвешенного шума, вносимого оборудованием преобразования оконечных станций  $P_{\text{невзв}} = \frac{P_{\text{псофф}}}{0,56}$ , где 0,56 — псофометрический коэффициент мощности для типового канала ТЧ.

Средний уровень шумов (за 1 ч) в предгрупповом тракте измеряют в ЧНЗ при полной загрузке системы передачи. Измерения выполняют в обоих направлениях передачи в точке номинального относительного уровня (по мощности) —14 дБм0 при нагрузке входа тракта на противоположном конце (в точке номинального относительного уровня —36 дБм0) на резисторе с сопротивлением 600 Ом.

Перед измерением шумов необходимо проверить номинальное значение остаточного усиления предгруппового тракта. Напряжение шумов измеряют широкополосным ИУ (с квадратичным детектором) и измерительным фильтром на полосу 12...24 кГц с затуханием в полосе не пропускания более 61 дБ. Измерения выполняют в течение любого часа с интервалом между измерениями 1 мин (показания следует отсчитывать за период 5 с). На основании полученных результатов измерений определяют среднечарифметическое значение уровня шума на 1 час. Норма  $L_{\text{ш}} = -41$  дБм0 в точке нулевого относительного уровня соответствует мощности шума ~83000 Вт на эталонной цепи предгруппового тракта протяженностью 2500 км. Допустимый уровень



невзвешенного шума, дБ, в точке нулевого относительного уровня при протяженности связи  $l$  определяют из выражения

$$L_{\text{ш доп}(0)} = 10 \lg (P_{\text{доп}(0)} 10^{-9}). \quad (4.11)$$

Допустимый уровень шума, дБ, в точке измерения с учетом затухания измерительного фильтра определяют из выражения

$$L_{\text{ш доп}(0)} = 10 \lg (P_{\text{доп}(0)} 10^{-9}) + L + \Delta a_{\text{ф}}, \quad (4.12)$$

где  $L$ , дБ, — номинальный относительный уровень в точке измерения;  $\Delta a_{\text{ф}}$ , дБ, — затухание измерительного фильтра в полосе пропускания.

Средний уровень шумов (за 1 ч) в первичном сетевом групповом тракте измеряют в ЧНЗ при полной нагрузке системы передачи, включая работу канала телевидения. Измерения выполняют в обоих направлениях передачи в точке номинального относительного уровня (по мощности) — 23 дБм0 при нагрузке входа тракта на противоположном конце (в точке номинального относительного уровня — 36 дБм0) на резисторе сопротивлением 150 Ом. Перед измерением шумов необходимо проверить номинальное значение остаточного усиления первичного сетевого группового тракта в соответствии с существующими нормами.

Напряжение шумов измеряют широкополосным ИУ с помощью измерительных фильтров с полосой пропускания 60 ... 108 кГц с относительным затуханием в полосе непропускания более 60 дБ. На основании результатов измерений определяют среднеарифметическое значение уровня шума за 1 ч. Норма  $L_{\text{ш}} = -35$  дБм0 в точке нулевого относительного уровня соответствует мощности шума  $P_{\text{ш}} = 330\,000$  пВт на эталонной цепи протяженностью 2500 км. Допустимый уровень шума в точке измерения с учетом затухания измерительного фильтра определяют из выражения (4.11).

Средний уровень шумов (за 1 ч) во вторичном сетевом групповом тракте измеряют в ЧНН при полной нагрузке системы передачи. Измерения выполняют в обоих направлениях передачи в точке номинального относительного уровня — 23 дБм0 при нагрузке входа тракта на противоположном конце (в точке номинального относительного уровня — 36 дБм0) на резисторе с сопротивлением 75 Ом. Перед измерением необходимо проверить номинальное значение остаточного усиления вторичного сетевого группового тракта.

Напряжение шумов измеряют широкополосным ИУ с помощью измерительных фильтров с полосой пропускания 312 ... 552 кГц с относительным затуханием в полосе непропускания более 60 дБ. Измерения выполняют в течение любого часа с интервалом между измерениями 1 мин (показания необходимо отсчитывать за период 5 с). При измерениях фиксируют средний уровень помехи. На основании полученных результатов измерений определяют среднеарифметическое значение уровня шума за 1 ч.

Уровни селективных помех, вызываемых остатками токов групповых несущих, а также групповых и линейных контрольных частот внутри рабочего спектра тракта, измеряют избирательным ИУ.

Аналогичным образом измеряют средний уровень шумов в третичном сетевом групповом тракте. Отличие заключается в применении измерительных фильтров с полосой пропускания 812 ... 2044 кГц с относительным затуханием в полосе пропускания 60 дБ.

При измерениях уровня шума в сетевых трактах можно применять фильтры ФНЧ-25-1 и ФВЧ-25-1.

Фильтр нижних частот ФНЧ-25-1 имеет диапазон частот 0,05 ... 25 МГц. Рабочее затухание в полосе пропускания не более 1 дБ; рабочее затухание в полосе задерживания более 60 дБ; затухание несогласованности более 20 дБ; входное и выходное

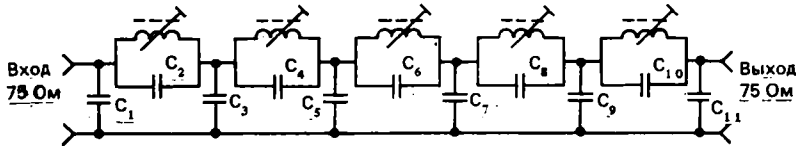


Рис. 4.19

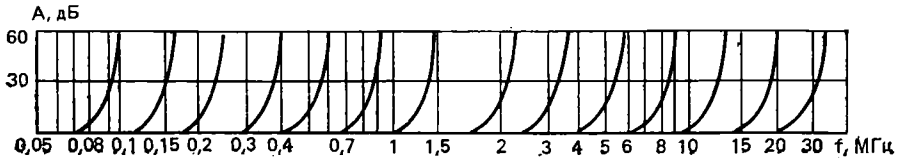
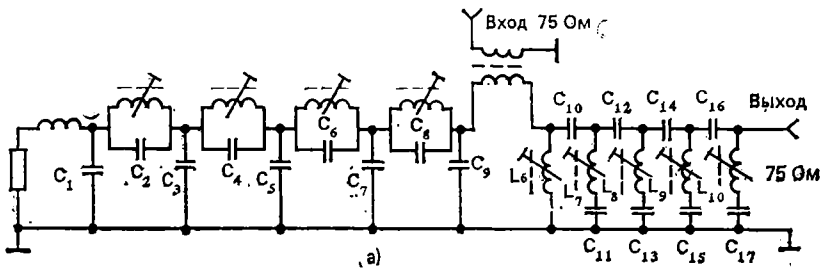
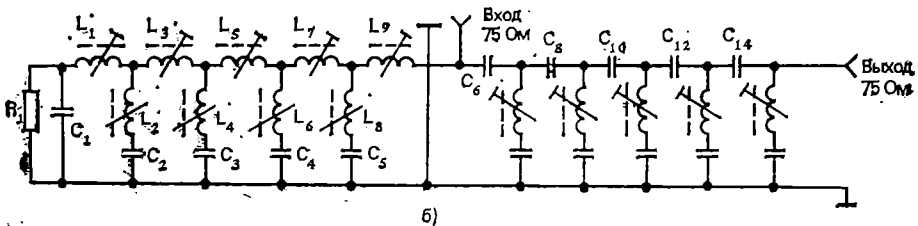


Рис. 4.20



а)



б)

Рис. 4.21

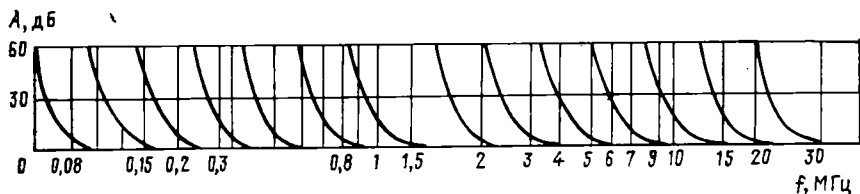


Рис. 4.22

сопротивления 75 Ом. Прибор состоит из 14 фильтров нижних частот, выполненных по неуравновешенной схеме (рис. 4.19). Для обеспечения постоянного входного сопротивления в заданном диапазоне частот каждой ступени фильтры нижних частот включены совместно с сопряженными фильтрами верхних частот. Характеристики рабочего затухания ФНЧ-25-1 представлены на рис. 4.20. Переключение фильтров клавишное.

Фильтр верхних частот ФВЧ-25-1 состоит из 14 фильтров, переключаемых с помощью клавиш. Фильтры выполнены по неуравновешенной схеме. Для обеспечения постоянства входного сопротивления в заданном диапазоне частот включены в каждой ступени сопряженные фильтры нижних частот. Принципиальная схема фильтра изображена на рис. 4.21 (на рис. 4.21,а — фильтры 1—8 ступеней, а на рис. 4.21,б — фильтры 9—14 ступеней). Частотные характеристики фильтров представлены на рис. 4.22.

### 4.3. ИЗМЕРЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ КАНАЛА ТЧ

В канале ТЧ действуют помехи разного происхождения. При передаче по линейному тракту сигнал подвергается воздействию *аддитивной* помехи. Аддитивная помеха существует вне зависимости от передаваемого сигнала. К ней относятся собственные помехи линии, входных цепей усилителей, помехи от линейных переходов, атмосферные и внешние помехи. Другим видом помех являются помехи *мультипликативные*, возникающие лишь при наличии сигнала. К их числу следует отнести помехи, обусловленные нелинейностью промежуточных усилителей линейного тракта (нелинейные помехи).

При передаче речи помехи маскируют слабые звуки и тем самым снижают ее разборчивость. Помеха, спектр которой совпадает со спектром передаваемого речевого сигнала, является особенно неприятной, так как в паузе может прослушиваться в виде постороннего разговора, отвлекающего внимание абонента. Такую помеху называют внятным переходным разговором.

Мешающее действие помехи определяется не только ее уровнем и спектральным составом, но и уровнем сигнала. То есть мешающее действие помехи не может быть однозначно определено при отсутствии сведений об уровне полезного сигнала. Общепринято оценивать мешающее действие помехи с помощью измерения отношения сигнал-помеха или при логарифмических единицах —

разности уровней сигнала и помехи:  $a = 10 \lg (P_c/P_n) = L_c - L_n$ . Величина  $a$  определяет помехозащищенность канала. Влияние помех можно оценить также по напряжению или мощности помех на выходе канала, т. е. в точке с известным относительным уровнем. Удобно эту оценку производить в точке нулевого относительного уровня, так как эти значения легко пересчитать для точки с любым относительным уровнем.

Для определения защищенности от внятного переходного влияния между каналами ТЧ на ближнем и дальних концах измеряют напряжения, наведенные в канале при подаче тока измерительной частоты во влияющий канал. Измерения выполняют в четырехпроводном тракте в обоих направлениях передачи. Вход подверженного влиянию канала и выход влияющего канала при измерениях должны быть нагружены на резисторы с сопротивлением 600 Ом.

Предварительно во всех измеряемых каналах проверяют номинальное значение остаточного усиления канала. Затем поочередно на входы влияющих каналов подают сигнал частотой 800 Гц с уровнем  $-13$  дБм, а на выходе канала, подверженного влиянию, в точке номинального относительного уровня  $+3$  дБн измеряют влияющий сигнал на частоте 800 Гц.

Для определения защищенности от внятных переходных влияний между направлениями передачи и приема одного и того же канала ТЧ измеряют уровень на выходе тракта приема на ближнем конце при подаче сигнала с измерительной частотой в тракт передачи того же канала. При этом тракты передачи и приема на противоположном конце должны быть нагружены на резисторы с сопротивлением 600 Ом. Защищенность определяют по результатам измерений из следующего выражения

$$a_{\text{впв}} = 20 \lg \frac{U_c}{U_{\text{впв}}} \quad \text{или} \quad a_{\text{впв}} = L_c - L_{\text{впв}},$$

где  $U_c(L_c)$ , мВ (дБм), уровень (напряжение) на выходе канала;  $U_{\text{впв}}(L_{\text{впв}})$ , мВ (дБм) — измеренный уровень (напряжение) внятного переходного влияния.

Измерения следует выполнять в часы минимальной загрузки системы передачи.

Для измерения напряжений продуктов паразитной модуляции в каналах ТЧ, вызванных модуляцией несущих частот и сигнала помехами, возникающими в цепях питания (в оборудовании преобразования и линейном тракте), на вход четырехпроводного тракта и измеряемого канала от измерительного с 600-омным выходом подают сигнал с частотой 800 Гц с измерительным уровнем  $-13$  дБм (защищенность генератора от продуктов паразитной модуляции должна быть не менее 78 дБ). На выходе четырехпроводного тракта этого же канала (в точке номинального относительного уровня  $+4$  дБм) избирательным ИУ или анализатором напряжений вначале измеряют напряжение основного сигнала, а затем напряжения продуктов паразитной модуляции

на частотах ( $800 \pm 50$  Гц;  $(800 \pm 100)$  Гц (при этом плавно изменяют настройку анализатора на частоту и находят четко выраженный максимум). Для измерений следует использовать анализатор напряжений, обеспечивающий подавление частот, отстоящих от измеряемой частоты на  $\pm 50$  Гц не менее чем на 87 дБ. Перед измерением проверяют номинальное значение остаточного усиления канала. Защищенность канала ТЧ от продукта паразитной модуляции в децибелах определяют по формуле  $a_{\text{пм}} = 20 \lg U_c / U_{\text{пм}}$ , где  $U_c$ , мВ, — напряжение основного сигнала в точке номинального относительного уровня 4 дБм;  $U_{\text{пм}}$ , мВ, — напряжение продукта паразитной модуляции в этой же точке.

Измерения следует выполнять в часы наименьшей нагрузки систем передачи. Длительность передачи токов с измерительными уровнями более  $-10$  дБм0 должна быть не более 6 с.

Основные узлы аппаратуры каналообразования и линейного графта обладают нелинейными свойствами, поскольку их параметры зависят от приложенного напряжения и протекающего тока. К таким узлам относятся усилители, преобразователи частоты, электрические фильтры на ферромагнитных сердечниках и др. Нелинейные свойства этих узлов групповых трактов и каналов связи систем передачи с ЧРК приводят к нелинейному взаимодействию отдельных составляющих спектров сигналов, в результате чего возникают нелинейные искажения и взаимные помехи каналов. Если нелинейные искажения самих сигналов, передаваемых по отдельным каналам, могут быть практически незаметными, то помехи, возникающие из-за нелинейного взаимодействия их спектральных составляющих, даже при незначительной нелинейности оказывают существенное влияние.

Наличие в многоканальном сигнале контрольных частот из-за нелинейности приводит к появлению внятных переходных помех.

Усилители, предназначенные для усиления группового сигнала, имеют малую нелинейность благодаря применению отрицательной обратной связи. Однако за порогом перегрузки усилителя имеется ярко выраженный перегиб амплитудной характеристики, и, если усиливается сигнал, имеющий характер случайного процесса со случайным распределением мгновенных напряжений, следует учитывать кратковременные превышения сигналом уровня перегрузки.

При измерении помехозащищенности канала ТЧ от помех нелинейного происхождения необходимо использовать измерительный сигнал, максимально приближающийся по своим статистическим свойствам к реальному многоканальному сигналу.

Усилитель низкой частоты в каналообразующем оборудовании должен правильно «обрабатывать» сигнал одного абонента при максимальной громкости. Для этого усилитель проектируется с учетом пик-фактора, т. е. отношения пиковой мощности сигнала среднеквадратической. Кроме того, принимается во внимание, что средние мощности сигналов от разных абонентов тоже различны. Это определяет как разброс пиковых значений сигналов

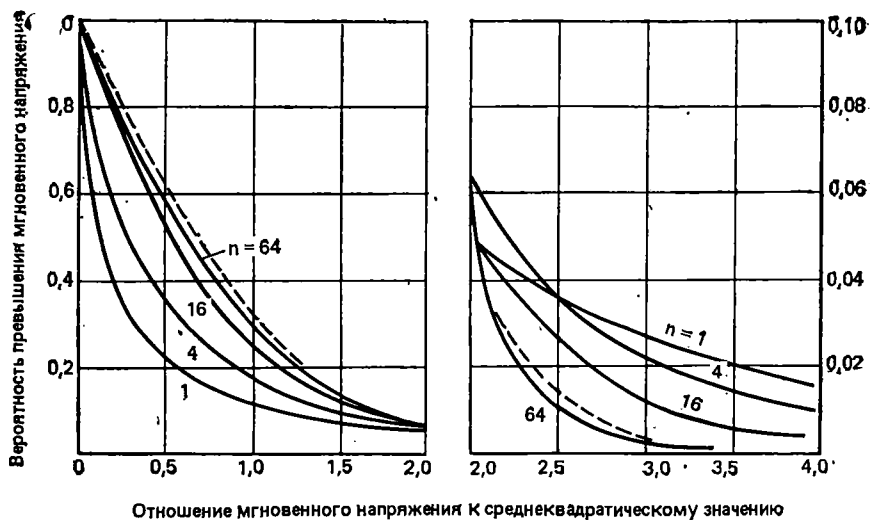


Рис. 4.23

в разных каналах, так и средних мощностей. Разброс средних мощностей учитывают при определении среднего значения мощности, приходящейся на канал при расчетах средней загрузки многоканальной системы.

Пик-фактор многоканального сигнала зависит не только от пик-фактора в каждом канале, но и от числа активных каналов, поскольку все каналы бывают редко загружены одновременно. На рис. 4.23 показано распределение вероятностей превышения мгновенного напряжения для 1, 4, 16 и 64 активных каналов ТЧ при телефонном сигнале в зависимости от отношения мгновенного напряжения к среднеквадратическому. Как следует из графиков, сигнал имеет больший пик-фактор при меньшем числе каналов. Для сравнения на рис. 4.23 показано штриховой линией гауссовское распределение. Видно, что распределение при 64 каналах ТЧ весьма близко к гауссовскому.

На рис. 4.24 показаны графики зависимости превышения пик-фактора от числа активных каналов для 0,1 и 1% времени. Гра-



Рис. 4.24

фики получены из рис. 4.23. Из графиков видно, что, например, для одного канала в течение 1% времени пик-фактор превышает 13 дБ, а в течение 0,1% времени — 18,5 дБ. Для 100 каналов пик-факторы уменьшаются до 8,5 и 10,6 дБ. Отсюда ясно, что оценка параметров многоканального оборудования может быть осуществлена для существенно меньшего значения пик-фактора. Это обстоятельство следует учитывать и при выборе измерительного сигнала.

**Коэффициенты активности многоканальных систем и средний уровень мощности многоканального сигнала.** Канал ТЧ является активным только в течение фактической передачи речевого сигнала, а также во время коротких пауз в разговоре, между словами и слогами. Канал неактивен в течение большей части времени установления соединения, во время пауз в разговоре, во время разговора другого абонента. Разные исследователи, проводившие измерения коэффициента активности на реальных линиях, пришли к одному выводу, что коэффициент активности может быть принят равным 0,25. Соотношение между номинальным числом каналов системы  $N$  и числом активных каналов  $n$  показано на рис. 4.25. Из рис. 4.25 видно, что при большом числе каналов коэффициент активности следует принять равным 0,27, однако МККТТ рекомендует коэффициент активности 0,25, поскольку следует ожидать превышение этого значения лишь не более 1% времени. Коэффициент активности 0,25 рекомендуется МККТТ для числа каналов от 240 и выше. Для систем, загруженных преимущественно цифровыми или телеграфными сигналами, коэффициент активности принимается равным 1.

В нашей стране в многоканальных системах связи уровень средней мощности сигналов в групповых трактах, отнесенной к одному каналу ТЧ, различен. Например, уровень средней мощности на канал ТЧ в системе К-1920 составляет в точке нулевого измерительного уровня  $L_{к(0)} = -14,2$  дБм0 (38 мкВт), в системе К-300  $L_{к(0)} = -14$  дБм0 (40 мкВт). Загрузка группового тракта системы сигналами различного вида должна осуществляться так, чтобы не превышался расчетный уровень средней мощности на

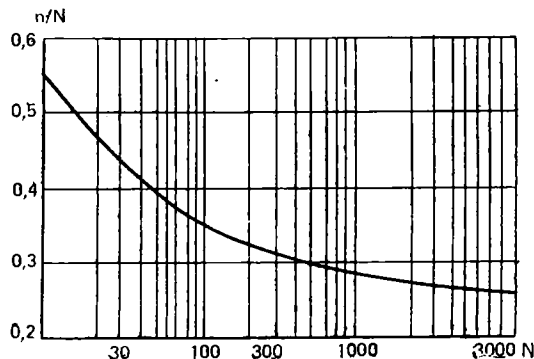


Рис. 4.25

один канал ТЧ и распределение мощности сигнала по спектру было по возможности более равномерным. В общем случае уровень средней мощности  $L_{м(0)}$ , дБм0, многоканального сигнала в точке с нулевым измерительным уровнем для систем с числом каналов  $N$  более 240 определяется выражением

$$L_{м(0)} = L_{к(0)} + 10 \lg N. \quad (4.13)$$

**Имитация сигнала многоканальных систем передачи белого шумом.** Ранее было показано, что значительная часть помех системы зависит от уровня загрузки, так как от нее, в свою очередь, зависит степень нелинейных искажений. Таким образом для оценки качества функционирования аппаратуры необходимо имитировать загрузку каналов. Загрузку канала удобно имитировать с помощью белого шума. Белый шум, во-первых, имеет однородный энергетический спектр и, во-вторых, распределение по закону Гаусса. Таким образом, белый шум может использоваться в качестве модели многоканального сигнала при числе каналов  $N \geq 240$ .

При имитации номинального уровня загрузки многоканального тракта мощность белого шума следует определять с помощью уравнения (4.13). При числе каналов  $N < 240$  многоканальный сигнал существенно отличается от сигналов с гауссовским распределением. В международной практике для  $12 < N < 240$  загрузка белым шумом выбирается на основе соотношения  $L_{ш(0)} = -1 + 4 \lg N$  дБм0. Широко используется загрузка белым шумом для моделирования многоканального сигнала, образованного цифровыми и телеграфными сигналами. При  $N > 12$  уровень средней мощности белого шума в этом случае определяется соотношением  $L_{ш(0)} = -10 + 10 \lg N$  дБм0.

Белый шум с уровнями мощности, выбранными на основе приведенных соотношений, является удовлетворительной моделью номинального уровня загрузки только в том случае, если полоса частот белого шума ограничена так же, как и полоса частот системы передачи. Обычно спектр шума ограничивают, пропуская сигнал от генератора через последовательно включенные фильтры нижних и верхних частот.

Загрузив тракт белым шумом, имитирующим обычный многоканальный сигнал, необходимо измерить результирующие помехи. Эти измерения заключаются в поочередном включении ряд полосовых заграждающих фильтров, средние частоты которых находятся в пределах спектра белого шума. Эти фильтры создают на входе испытательный сигнал, от которого свободны отдельные, так называемые «тихие», каналы. При отсутствии нелинейных искажений эти каналы должны быть свободны от помех такого рода. На практике на выходе этих каналов имеются как собственные помехи, так и продукты, связанные с нелинейными искажениями. На выходе приемного устройства с помощью узкополосного ИУ, настроенного на частоту полосового заграждающего фильтра, измеряются помехи и продукты нелинейных ис



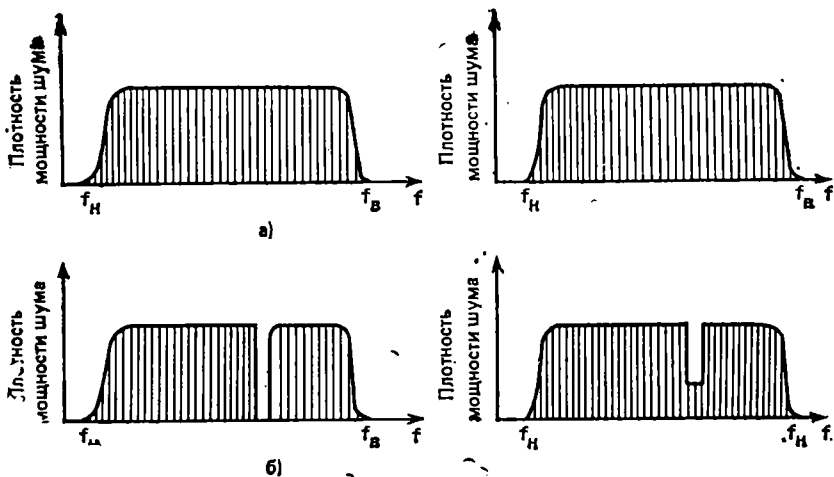


Рис. 4.26

кажений (рис. 4.26). Из спектра белого шума с помощью фильтров НЧ и ВЧ формируется спектр, ширина которого занимает полосу, равную полосе частот тракта передачи (рис. 4.26,а). Этим испытательным сигналом нагружается аппаратура. На приемной стороне шум имеет место в любом из каналов. Если из совокупности имеющихся каналов выбрать один, назовем его контрольным, то в нем можно измерить уровень шума  $L_1$ . Повторим эксперимент, удалив из исходного спектра белого шума с помощью фильтра участок спектра, соответствующий контрольному каналу (рис. 4.26,б). На приемной стороне в незагруженном «тихом» канале появятся помехи, уровень которых  $L_2$  может быть измерен тем же узкополосным измерителем. Под помехозащищенностью в данном случае понимается логарифмическое отношение мощности шума в измерительном канале при полной загрузке белым шумом измеряемого тракта к мощности помех в этом канале при загрузке белым шумом всего тракта, за исключением измерительного канала.

Структурная схема измерительной аппаратуры, в которой реализован описанный метод, изображена на рис. 4.27. Измерительный сигнал от генератора шума после усиления поступает последовательно на два фильтра — НЧ и ВЧ. Усилитель необходим для компенсации затухания, вносимого фильтрами в полосе пропускания. Фильтры с помощью переключателей  $\Pi_1$ — $\Pi_4$  могут участвовать в формировании исходного спектра либо могут быть отключены. Нужная пара фильтров НЧ и ВЧ выбирается в зависимости от типа системы передачи, на которой происходят измерения. Эти фильтры позволяют формировать исходный спектр испытательного сигнала в полосе от  $f_H$  до  $f_B$  (см. рис. 4.26). С помощью переключателей  $\Pi_5$  и  $\Pi_6$  можно включить полосовой фильтр, который устранил спектральные компоненты шума в конт-

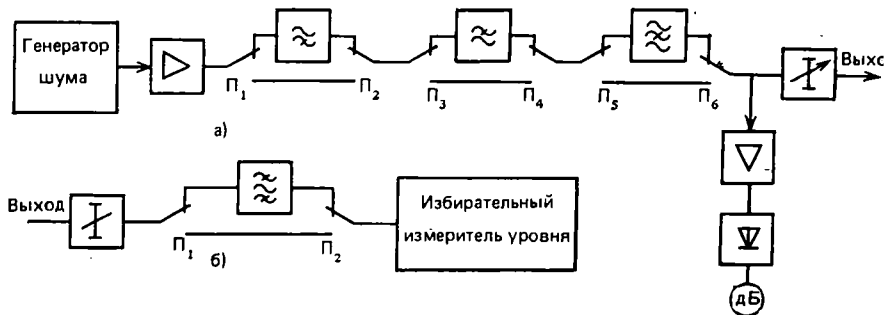


Рис. 4.27

рольном канале. Уровень выходного сигнала контролируется с помощью широкополосного ИУ. Необходимый уровень на выходе устанавливается с помощью аттенюатора.

Приемное устройство состоит из входного аттенюатора, полосового пропускающего фильтра и широкополосного измерителя уровня. С помощью аттенюатора добиваются одинаковых показаний измерителя уровня при включенном и выключенном полосовом заграждающем фильтре. Разность затуханий аттенюатора и определяет помехозащищенность.

Собственные помехи в канале, уровень мощности которых не зависит от загрузки, можно оценить, отключив шумовой генератор. Разность между помехозащищенностью и защищенностью от собственных помех позволяет судить об уровне помех от нелинейных искажений.

Помехозащищенность канала ТЧ следует измерять не только при номинальном уровне мощности загрузки. На практике возможны отклонения как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Поэтому измеряют помехозащищенность, изменяя уровень мощности загрузки степенями по 1 или 2 дБ в пределах, по крайней мере, на 10 дБ ниже и на 6 дБ выше номинального уровня. При этом строят график функции помехозащищенности от уровня мощности загрузки. Кривые помехозащищенности строятся для ряда измерительных каналов. Эти каналы должны быть расположены в начале, середине и конце частотного спектра измеряемого тракта. Таким образом, измерения необходимо провести не менее чем в трех каналах, а при возможности в пяти и большем числе каналов, в зависимости от емкости системы.

Типичная кривая помехозащищенности  $A$ , дБ, снятая экспериментально, показана на рис. 4.28. Эта кривая получена измерением в достаточно широком диапазоне уровней. При малом уровне мощности загрузки система линейна, и с увеличением уровня на 1 дБ значение помехозащищенности увеличивается на 1 дБ. Нелинейные помехи при этом отсутствуют, а единственным источником помех являются собственные помехи измерительного канала. При дальнейшем повышении уровня мощности загрузки

помехозащищенность увеличивается медленнее, чем уровень шумового сигнала на входе тракта, что объясняется появлением дополнительных помех из-за нелинейности системы. Когда нагрузка становится избыточной, нелинейные помехи начинают преобладать над собственными, а помехозащищенность начинает уменьшаться. При значительном превышении уровня мощности номинального значения помехозащищенность уменьшается по линейному закону.

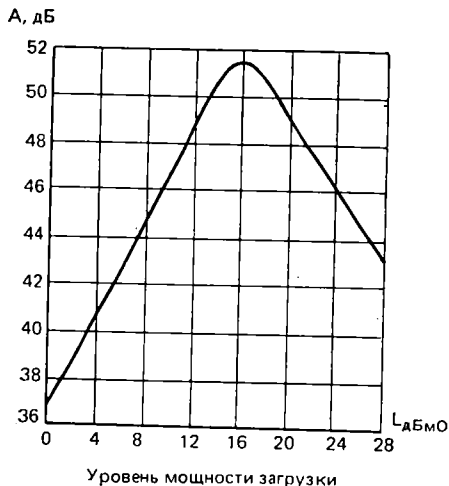


Рис. 4.28

Наиболее часто метод шумовой загрузки используется для контроля линейного тракта от входа до выхода. При сдаче в эксплуатацию и техническом обслуживании системы, соединяющей два пункта А и В, применяются два метода измерения тракта. Первый метод требует применения измерительной установки на обоих концах системы. Измерения в направлении от А к В осуществляются с помощью передающего устройства, установленного в пункте А, и приемника, установленного в пункте В; измерения в обратном направлении с помощью передающего устройства в пункте В и приемного устройства в пункте А. Для проведения измерений необходимы два оператора, имеющие служебную связь между пунктами А и В, осуществляемую не по измеряемому тракту. При данном методе измерения определяются характеристики отдельно для каждого направления передачи.

Второй метод, основанный на применении шлейфа, допускает применения одной установки для загрузки белым шумом. Измерение производит один оператор. Выход тракта в точке В соединяется с входом тракта обратного направления. При этом общие характеристики системы для направлений А—В и В—А измеряются с помощью белого шума при приемной и передающей частях аппаратуры, установленных в точке А. Такие измерения считаются достаточными при сдаче системы в эксплуатацию, поскольку если параметры системы, соединенной шлейфом, соответствуют требованиям эксплуатации, то можно ожидать, что требованиям соответствуют и характеристики каждого направления передачи. Однако при определении мест повреждений, возникающих в процессе эксплуатации, предпочтение следует отдать первому методу.

Рассмотренные методы измерений рассчитаны на применение в однополосных четырехпроводных системах передачи. К ним относятся большинство отечественных систем передачи. Однако в системе К-120 используется двухпроводная цепь, по которой сиг-

налы в двух направлениях передаются в разных полосах частот. Аналогично строятся системы передачи по подводным кабелям. При испытании таких систем белый шум одновременно передается от пункта В в высокочастотной полосе и от пункта А в низкочастотной полосе.

На входы тракта в обоих оконечных пунктах подается белый шум с низкочастотным спектром, который переносится в высокочастотный спектр направления В—А в пункте В, а затем в низкочастотный спектр в пункте А. Белый шум в направлении А—В проходит обе оконечные станции без преобразования. Таким образом, оконечные станции и линейный тракт испытываются с помощью передачи белого шума в низкочастотной полосе одновременно в обоих направлениях, причем в пункте В шумовой сигнал предварительно переносится в высокочастотный спектр. Таким же образом проверяются оконечные станции при соединении их шлейфом до установки.

Для того чтобы отдельно проверить помехозащищенность оборудования направления А—В на оконечной станции В, необходимо организовать нестандартные шумовые измерительные каналы. С этой целью в приемную часть измерительного оборудования дополнительно включают полосовые пропускающие фильтры и гетеродины с частотами в высокочастотном спектре, эквивалентными частотам полосно-заграждающих фильтров в низкочастотном спектре. Аналогичные измерения в пункте А: в передающую часть измерительного оборудования добавляются полосовые заграждающие фильтры с частотами в высокочастотном спектре, эквивалентными частотам каналов шумового приемника в низкочастотном спектре. Это дает возможность измерить помехозащищенность оборудования направления А—В на оконечной станции А. Поскольку в направлении А—В никаких преобразований частоты не требуется, то измерения оборудования данного направления передачи осуществляются обычными методами.

Методом загрузки канала белым шумом может быть испытано и преобразовательное оборудование. При этом для шлейфовых измерений все входы преобразовательного оборудования должны быть загружены некоррелированным белым шумом, т. е. необходимо применение нескольких шумовых генераторов. Так, например, для проверки преобразовательного оборудования первичных групп к пяти различным входам подключается пять генераторов шума с полосами частот от 60 до 108 кГц. Выход тракта вторичной группы подключается ко входу тракта приема, после чего помехозащищенность каждой первичной группы оценивается с помощью приемной части измерительной аппаратуры. Для оценки оборудования преобразования вторичных групп также требуется иметь пять генераторов шума, а для измерения оборудования преобразования третичных групп — три генератора шума.

Средние частоты свободных промежутков («щелей») в спектре испытательного сигнала, предназначенного для оценки тракта

конкретной системы передачи, как правило, соответствуют частотам определенных каналов ТЧ в зависимости от частотного плана. Это позволяет помехозащищенность трактов приема одной или нескольких ступеней группового преобразования измерять подачей на вход соответствующего тракта приема первичной, вторичной, третичной и т. д. групп шумовой загрузки от одного генератора шума. При этом разность уровней при выключенном и включенном полосовом заграждающем фильтре определяется непосредственно с помощью псофометра или измерителя помех, подключенных к выходу того канала ТЧ, полоса частот которого соответствует частоте «щели».

Методом загрузки белым шумом могут быть испытаны отдельные узлы многоканальных систем. Как правило, помехозащищенность узлов выше общей помехозащищенности системы. В этом случае может оказаться, что помехозащищенность испытываемого узла соизмерима с помехозащищенностью самой измерительной установки. Тогда необходима коррекция результатов измерений. Для коррекции результатов необходимо соединить приборы измерительной установки «на себя» (т. е. подключить передатчик непосредственно к приемнику). На выходе передающей части измерительной установки устанавливается уровень сигнала, требуемый для испытания узла, и измеряется собственная помехозащищенность установки. Фактическая помехозащищенность испытываемого узла вычисляется прибавлением поправки к величине помехозащищенности, полученной при измерении. Поправка может быть определена с помощью графика, представленного на рис. 4.29. Как видно из приведенного графика, поправка определяется в зависимости от разности между измеренной и собственной помехозащищенностью.

Рассмотрим пример использования графика поправок. Собственная помехозащищенность измерительной установки при проверке «на себя» оказалась равной 72 дБ, а помехозащищенность испытываемого узла составила 65 дБ. Разности в 7 дБ на графике рис. 4.29 соответствует поправка 1 дБ. Таким образом, фактическая помехозащищенность испытываемого узла составляет  $65 + 1 = 66$  дБ.

**Основные характеристики измерительной аппаратуры для метода шумовой загрузки.** Измерительная аппаратура для реализации метода шумовой загрузки строится на основе рекомендаций выработанных МККР и МККТТ. Эти рекомендации разрабатывались и уточнялись начиная с 1956 г. За это время развивались и сами системы передачи, улучшались их качественные показатели, ужесточались требования к характеристикам аппаратуры. Кроме того, постепенно совершенствовался метод шумовой загрузки, увеличивалась его точность. В 1966 г. МККР выработал уточненные Рекомендации 399-1, принятые в Осло в 1966 г. Рекомендация G 228 МККТТ, принятая в 1968 г., включила в себя Рекомендацию 399-1. Эти рекомендации действуют в настоящее время.

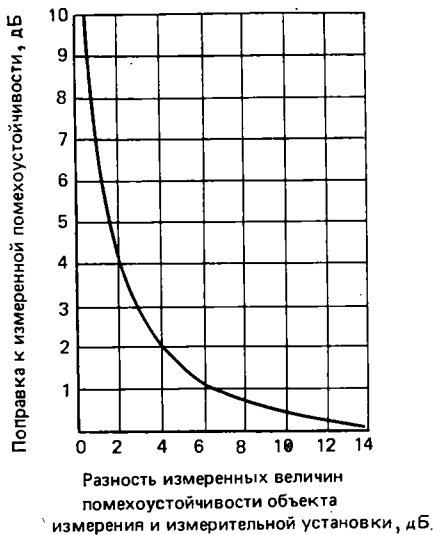


Рис. 4.29

номинальной частоты среза более чем на 20%. Затухание фильтров нижних частот должно быть не менее 20 дБ на частотах, отстоящих от номинальной частоты среза более чем на 10%, и не менее 25 дБ на частотах, отстоящих от частоты среза более чем

Таблица 4.3

Емкость системы, число каналов ТЧ	Границы полосы, занятой каналами ТЧ, кГц	Эффективные частоты среза фильтров, ограничивающих полосу, кГц		Частоты имеющихся измерительных каналов, кГц
		нижних частот	верхних частот	
60	60...300	60±1	300±2	70, 270
120	60...552	60±1	552±4	70, 270, 534
300	60...1300	60±1	1296±8	70, 270, 534, 1248
	64...1296			
600	60...2540	60±1	2600±20	70, 270, 534, 1248, 2438
	64...2660			
960	60...4028	60±1	4100±30	70, 270, 534, 1248, 2438, 3886
	64...4024			
900	316...4188	316±5	4100±30	534, 1248, 2438, 3886
1260	60...5536	60±1	5600±50	70, 270, 534, 1248, 2438, 3886, 5340
	60...5564			
1200	316...5564	316±5	5600±50	534, 1248, 2438, 3886, 5340
1800	312...8120	316±5	8160±76	534, 1248, 2438, 3886, 5340, 7600
	312...8204			
	316...8204			
2700	312...12336	316±5	12360±100	534, 1248, 2438, 3886, 5340, 7600, 11700
	316...12388			
	312...12388			

Частоты фильтров, ограничивающих полосу частот шумового сигнала и измерительных каналов по Рекомендации 399-1 МККР, приведены в табл. 4.3.

Как видно из табл. 4.3, в некоторых системах можно включить до семи измерительных каналов. В таблице приведены допустимые отклонения номинальных эффективных частот среза. Под номинальной эффективной частотой среза понимается частота среза гипотетического фильтра, имеющего идеально прямоугольную характеристику среза и пропускающего шум с той же мощностью, что и реальный фильтр. Затухание фильтров верхних частот должно быть не менее

25 дБ на частотах, отстоящих от

на 20%. В пределах полосы частот, ограниченной частотами крайних измерительных каналов, неравномерность суммарной частотной характеристики фильтров верхних и нижних частот не должна превышать 0,2 дБ. Общая частотная характеристика последовательно включенных фильтров нижних и верхних показана на рис. 4.30. Здесь  $f_a$  и  $f_6$  — частоты соответственно нижнего и верхнего измерительных каналов.

Полосовые заграждающие фильтры для частот ниже 3886 кГц выполняются на LC-элементах, для частот выше данной частоты используются пьезоэлектрические фильтры. Для полосовых фильтров в зависимости от частоты задается полоса задерживания по четырем или пяти уровням затухания, как это показано на рис. 4.31. Точные значения частот и затуханий по Рекомендации 399-1 МККР представлены в табл. 4.4.

Факторы, определяющие точность измерения помехозащищенности методом шумовой загрузки. Имеется много факторов, влияющих на точность измерения помехозащищенности. Их можно разделить на несколько групп. К первой группе следует отнести факторы, определяемые параметрами передающей части измерительной аппаратуры и установленных в ней фильтров. Ко второй группе относятся факторы, определяемые параметрами приемника измерительного устройства. Третьим и наиболее значительным фактором являются ширина полосы измерительного канала и влияние АРУ передающей части измерителя на погрешность измерения помехозащищенности. На эту погрешность влияют, кроме того, уровень загрузки, порядок нелинейных искажений. Для

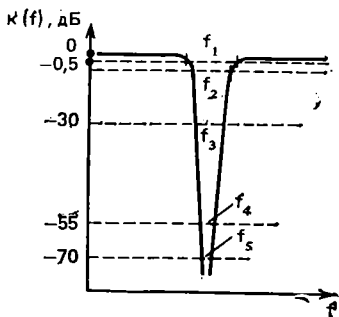
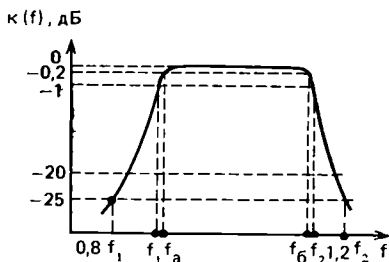


Рис. 4.31

Рис. 4.30

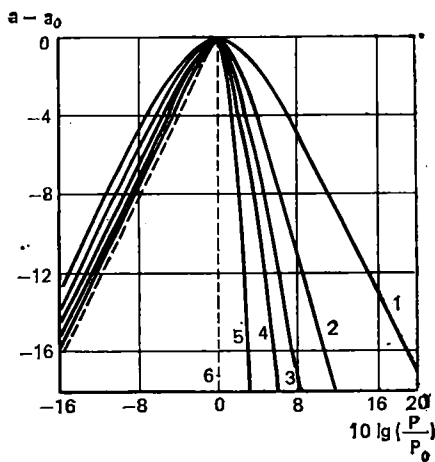


Рис. 4.32

Таблица 4.4

Центральная частота $f_c$ , кГц	Полоса, кГц, относительно $f_c$ , в которой затухание должно быть не менее			Полоса, кГц, относительно $f_c$ , вне которой затухание не должно превышать	
	70 дБ $f_5$	55 дБ $f_4$	30 дБ $f_3$	3 дБ $f_2$	0,5 дБ $f_1$
70	$\pm 1,5$	$\pm 2,2$	$\pm 3,5$	$\pm 12$	
270	$\pm 1,5$	$\pm 2,3$	$\pm 2,9$	$\pm 8$	
534	$\pm 1,5$	$\pm 3,5$	$\pm 7$	$\pm 15$	
1248	$\pm 1,5$	$\pm 4$	$\pm 11$	$\pm 35$	
2438	$\pm 1,5$	$\pm 4,5$	$\pm 19$	$\pm 60$	
3886	$\pm 1,5$	$\pm 15$	$\pm 30$	$\pm 110$	
		$\pm 1,8$	$\pm 3,5$	$\pm 12$	$\pm 100$
5340	$\pm 1,5$	$\pm 2,2$	$\pm 4$	$\pm 14$	$\pm 140$
7600	$\pm 1,5$	$\pm 2,4$	$\pm 4,6$	$\pm 16$	$\pm 200$
11700	$\pm 1,5$	$\pm 3$	$\pm 7$	$\pm 20$	$\pm 300$

оценки влияния различных факторов следует рассмотреть особенности кривой помехозащищенности. Форма кривой помехозащищенности определяется порядком преобладающих в системе нелинейных искажений. Нормализованные кривые помехозащищенности представлены на рис. 4.32. Здесь графики показывают снижение помехозащищенности относительно ее максимального значения  $a - a_0$ , а уровень загрузки указан в децибелах относительно уровня  $L_0$ , соответствующего максимальной помехозащищенности. На рис. 4.32 изображены теоретические нормализованные кривые помехозащищенности для систем с преобладанием нелинейных искажений 2, 3, 4, 5 и 10-го порядков. Эти кривые получены из соотношения

$$a - a_0 = 10 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right) - 10 \lg \left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^\gamma + (\gamma - 1) \right] + 10 \lg \gamma, \quad (4.14)$$

где  $a - a_0$  — отклонение помехозащищенности от ее максимального значения  $a_0$ , соответствующего уровню мощности сигнала загрузки в децибелах относительно уровня, при котором помехозащищенность максимальна —  $L_0 = 10 \lg (P/P_0)$ ;  $\gamma$  — преобладающий порядок нелинейных искажений в системе (2-й, 3-й и т. д.).

Нормализованная кривая помехозащищенности может быть разбита на три зоны. Первая — линейная зона, в пределах которой на помехозащищенность при изменении загрузки влияют только собственные помехи. Вторая зона, расположенная в окрестности максимального значения, характерна влиянием как нелинейных, так и собственных помех. В третьей, нелинейной, зоне собственными помехами можно пренебречь по сравнению с помехами из-за нелинейных искажений.

В линейной зоне  $(P/P_0)^\gamma \ll (\gamma - 1)$ . Учитывая это неравенство, из (4.14) имеем:

$$a - a_0 = 10 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right) + 10 \lg \left( \frac{\gamma}{\gamma - 1} \right). \quad (4.15)$$



Это соотношение хорошо согласуется с результатами измерений на реальном канале, так как при увеличении уровня загрузки на 1 дБ помехозащищенность возрастает на 1 дБ.

Точка максимальной помехозащищенности может быть найдена дифференцированием уравнения (4.14) и решением его относительно 0. Для точки максимальной помехозащищенности мощность собственных помех в  $(\gamma-1)$  раз больше мощности нелинейных помех. В системе с преобладанием нелинейных помех 2-го порядка ( $\gamma=2$ ) максимальная помехозащищенность будет наблюдаться при равенстве мощностей нелинейных и собственных помех.

В нелинейной зоне  $(P/P_0)^\gamma \gg (\gamma-1)$ . С учетом этого неравенства из выражения (4.14) имеем

$$a - a_0 = 10 \lg \gamma - (\gamma - 1) 10 \lg (P/P_0). \quad (4.16)$$

Из выражения (4.16) следует, что в нелинейной зоне увеличение мощности сигнала загрузки на 1 дБ снижает помехозащищенность на  $(\gamma-1)$  дБ. Этот вывод позволяет определять порядок преобладающих в системе нелинейных искажений при любом уровне мощности сигнала в любой точке нелинейной зоны. Например, если при увеличении уровня мощности сигнала загрузки на 1 дБ помехозащищенность падает на 2 дБ, преобладает нелинейность 3-го порядка. Это позволяет делать важные выводы о состоянии канала, а также устанавливать требования к точности поддержания входного уровня измерительного сигнала, поскольку в линейной зоне погрешность измерения помехозащищенности пропорциональна погрешности установки входного уровня, а в нелинейной зоне она увеличивается в  $\gamma-1$  раз.

**Оценка погрешности измерения помехозащищенности.** Как следует из рис. 4.32, помехозащищенность зависит от уровня шума на выходе передающего устройства измерителя. Точность установки уровня мощности шума определяется классом точности измерителя мощности передающей части прибора и выходного аттенюатора. Прямое влияние на точность измерения помехозащищенности оказывает неравномерность спектральной плотности мощности шума, так как первоначально измеряемый уровень мощности шума в измерительном канале при выключенном полосно-заграждающем фильтре зависит от этого параметра. Общая погрешность, вносимая передающим устройством измерителя, может быть определена из соотношения

$$\delta_{a1} = \pm \sqrt{\delta_{att1}^2 + \delta_{нд1}^2 + \delta_i^2} \quad (4.17)$$

для линейной зоны, и из соотношения

$$\delta_a = \pm \sqrt{(\gamma - 1)^2 (\delta_{att1}^2 + \delta_{нд1}^2) + \delta_i^2} \quad (4.18)$$

для нелинейной зоны. Здесь  $\delta_{a1}$  — погрешность измерения помехозащищенности;  $\delta_{att1}$  — погрешность аттенюатора;  $\delta_{нд1}$  — погрешность измерителя шума;  $\delta_i$  — неравномерность спектральной

плотности мощности в полосе частот на выходе передающей части измерителя.

Влияние параметров приемного устройства на погрешность измерения зависит от применяемого метода измерения. При использовании метода компенсации, т. е. восстановления на индикаторе приемника первоначального уровня, единственным источником погрешности является неточность установки затухания аттенюатора, по которому производится отсчет значения помехозащищенности. Если же часть значения помехозащищенности отсчитывается по шкале индикатора, то должна быть учтена его погрешность. Погрешности, возникающие в приемной части измерительного устройства, могут быть учтены следующим образом. При измерении помехозащищенности методом компенсации  $\delta_{a2} = \delta_{att2}$ .

При измерении помехозащищенности с отсчетом по аттенюатору и индикатору

$$\delta_{a2} = \pm \sqrt{\delta_{att2}^2 + \delta_{инд2}^2}, \quad (4.19)$$

где  $\delta_{a2}$  — погрешность измерения помехозащищенности, возникающая в приемном устройстве;  $\delta_{att2}$  — погрешность аттенюатора;  $\delta_{инд2}$  — погрешность индикатора приемной части измерителя.

На основании приведенных соотношений общая погрешность измерения помехозащищенности с учетом приемной и передающей части измерительного устройства составит:

$$\delta_a = \pm \sqrt{\delta_{att1}^2 + \delta_{инд1}^2 + \delta_i^2 + \delta_{att2}^2 + \delta_{инд2}^2} \quad (4.20)$$

для линейной зоны и

$$\delta_a = \pm \sqrt{(\gamma - 1)^2 (\delta_{инд1}^2 + \delta_{att1}^2) + \delta_i^2 + \delta_{att2}^2 + \delta_{инд2}^2} \quad (4.21)$$

для нелинейной зоны.

#### 4.4. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

Для измерения показателей качества многоканальных ЦСП, использующих ИКМ с временным разделением каналов, необходимо применение методов и средств измерений, учитывающих специфику ИКМ. Специфика определяется характером преобразований передаваемого сигнала: его *дискретизацией во времени, квантованием по уровню* и *кодированием* на передающем конце и обратным цифроаналоговым преобразованием на приемном конце, а также применяемым законом комбинирования. В соответствии с этим параметры каналов и трактов с ИКМ можно разделить на две группы.

К *первой* группе относятся параметры, одноименные для систем передачи с ИКМ и систем передачи с ЧРК и измеряемые в основном одинаковыми методами. К этим параметрам относятся

амплитудная характеристика, амплитудно-частотная характеристика, остаточное затухание, внятные переходные влияния, шумы незанятого канала. В то же время дискретизация и квантование сигнала вызывает ряд специфических особенностей и при измерении этих традиционных параметров, без учета которых погрешности измерений могут существенно возрастать. В основном это предъясвляет ряд дополнительных требований к параметрам используемых измерительных сигналов.

К *второй* группе относятся параметры, специфические для цифровых систем передачи с ИКМ и измеряемые специальными методами. В основном к ним относятся:

отношение сигнал-шум квантования, необходимость измерения которого связана с нелинейным характером операции квантования сигнала, вызывающей появление шума квантования;

уровень перегрузки, определяющий верхнюю границу динамического диапазона сигнала, так как операция кодирования строго определяет число разрешенных уровней квантования и максимальное значение уровня квантования, при превышении которого сигнал ограничивается, что ведет к появлению шумов перегрузки;

вероятность ошибок, обычно оцениваемая с помощью коэффициента ошибок, т. е. частоты появления ошибок при приеме цифрового сигнала, является важнейшим интегральным показателем качества ЦСП и определяется отношением сигнал-шум на входе регенератора (приемника);

фазовое дрожание цифрового сигнала (джиттер), характеризующее нарушение строгой периодичности следования цифровых посылок, вызываемое неидеальностью системы синхронизации устройств ЦСП и приводящее к увеличению вероятности ошибок.

Ниже рассматриваются методы и средства измерения этих специфических параметров ЦСП.

#### 4.5. ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ-ШУМ КВАНТОВАНИЯ

При аналого-цифровом преобразовании сигнала значение его отсчета округляется до ближайшего разрешенного уровня квантования. Это округление приводит к появлению погрешности преобразования сигнала погрешности квантования или, иначе, шума квантования. Значение шума квантования (ШК) и отношения сигнал-шум квантования (ОСШК) зависят от характеристики преобразования квантователя и применяемого закона компрессирования, обеспечивающего сжатие динамического диапазона уровней сигнала.

Оценим значения измеряемых параметров ШК и ОСШК. На рис. 4.33 приведены линейная характеристика квантования (4.33,а) с постоянным шагом  $h$  и соответствующая погрешность квантования  $\Delta$  (4.33,б). При достаточно большом числе уровней

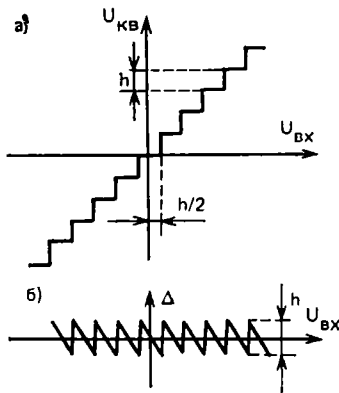


Рис. 4.33

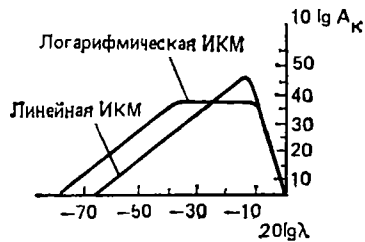


Рис. 4.34

квантования  $N$  можно считать, что ШК имеет равномерное распределение с плотностью вероятности

$$P(\Delta) = \begin{cases} 1/h, & |\Delta| \leq h/2, \\ 0, & |\Delta| > h/2. \end{cases}$$

Тогда дисперсия ШК

$$D = \int_{-h/2}^{+h/2} \Delta^2 P(\Delta) d\Delta = h^2/12,$$

а ОСШК

$$A_k = D_s/D = 12 D_s/h^2,$$

где  $D_s = \sigma_s^2$  — дисперсия сигнала.

Полагая, что размах шкалы квантования ограничен пороговыми значениями  $\pm U_n$ , получаем формулу для расчета ОСШК при линейном квантовании

$$A_k = 3\lambda^2 N^2,$$

где  $\lambda = \sigma_s/U_n$  — коэффициент загрузки квантователя, конкретное значение которого определяется типом входного сигнала. Переходя к логарифмическому масштабу, получаем:

$$10 \lg A_k = 6 B + 20 \lg \lambda + 4,8,$$

где  $B = \log_2 N$  — число бит для кодирования  $N$  уровней. Для гармонического сигнала  $\lambda = 1/\sqrt{2}$  и  $20 \lg \lambda = -3$  дБ, для речевого сигнала (РС)  $20 \lg \lambda = -12$  дБ (пикфактор РС — 12 дБ).

На рис. 4.34 показана зависимость ОСШК от уровня РС при  $B=8$  и линейном квантовании, а также при использовании логарифмического закона компрессии, который обеспечивает хорошее постоянство ОСШК в более широком диапазоне входных уровней, что позволяет ограничиться значением  $B=8$ . В нас-

тоящее время в ЦСП применяются два приблизительно равноценных логарифмических закона компандирования ( $\mu$  и  $A$ ):

$$y = \frac{\ln(1 + \mu x)}{\ln(1 + \mu)},$$

$$y = \frac{Ax}{1 + \ln A}, \quad 0 \leq x \leq 1/A,$$

$$y = \frac{1 + \ln Ax}{1 + \ln A}, \quad 1/A \leq x \leq 1,$$

где  $x = U_{вх}/U_{н}$  и МККТТ рекомендует значения  $\mu = 255$  и  $A = 87,6$ .

В соответствии с Рекомендацией МККТТ G711 в каналах ТЧ применяется закон компандирования  $A = 87,6/13$ , который представляет собой 13-сегментную кусочно-линейную аппроксимацию приведенного закона  $A$ . При этом законе число сегментов для каждой полярности сигнала равно 7 (рис. 4.35). Число бит в соответствии с Рекомендацией МККТТ G732  $B = 8$ , а в каждом  $i$ -м сегменте число шагов квантования  $N_i = 2^{B-k} = 16$ . Данное преобразование эквивалентно тому, что значение отсчета, попавшего в  $i$ -й сегмент, квантуется на 16 уровней с шагом  $h_i$ .

В общем случае для ОСШК можно записать

$$A_k = \sum_i P_i D_{si} / \sum_i P_i D_i,$$

где  $P_i$  — вероятность попадания значения отсчета в  $i$ -й сегмент;  $D_{si}$  и  $D_i$  — дисперсии значений сигнала и шума квантования для  $i$ -го отсчета.

Для дисперсии ШК  $D_i$ , полагая равномерное распределение внутри сегмента, получаем:

$$D_i = h_i^2/12,$$

где  $h_i = U_{i \max}/32$  — шаг квантования для  $i$ -го сегмента;  $U_{i \max}$  — значение верхнего уровня напряжения для  $i$ -го сегмента.

Для дисперсии сигнала  $D_{si}$ , обозначая  $S_i = \alpha U_{i \max}$ , где  $1/2 \leq \alpha \leq 1$ , можно записать:

$$D_{si} = U_{i \max}^2 \int_{1/2}^1 \alpha^2 P(\alpha) d\alpha.$$

Полагая, что распределение сигнала внутри сегмента, т. е. при  $\alpha$  в указанных пределах, равномерное, получаем  $P(\alpha) = 2$  и  $D_{si} \approx 0,58 U_{i \max}^2$ . Подставляя значения  $D_{si}$  и  $D_i$  в выражение для  $A_k$  и переходя к логарифмическому масштабу, получаем:

$$10 \lg A_k \approx 38 \text{ дБ.}$$

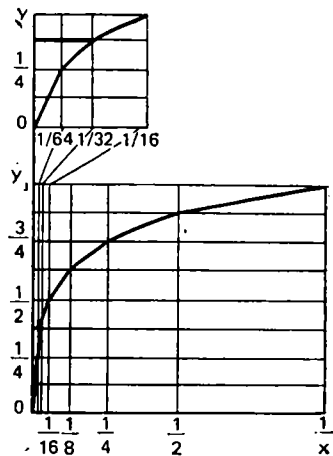


Рис. 4.35

Полученные соотношения дают оценку теоретических значений ОСШК. Однако кроме ШК ограничение амплитудной характеристики квантователя при больших уровнях сигнала будет приводить к появлению шума перегрузки, чем обусловлен спад ОСШК при больших уровнях сигнала (см. рис. 4.34). Кроме того, на выходе реального канала имеют место нелинейные искажения, вследствие неидеальной линейности аналоговой части канала. Таким образом, в реальных условиях на выходе канала имеют место суммарные искажения, обусловленные всеми перечисленными факторами. Мерой этих искажений являются отношение мощности сигнала на выходе канала к мощности продуктов искажений. Поскольку при небольших уровнях сигнала определяющим является ШК, то это отношение принимается за ОСШК.

В соответствии с Рекомендацией МККТТ G 712 ОСШК может быть измерено с помощью двух типов измерительных сигналов: псевдощумового и гармонического. Следует заметить, что применение псевдощумового сигнала вместо просто шумового позволяет легче обеспечивать стабильность его параметров и использовать в генераторе измерительных сигналов элементы дискретной техники.

На рис. 4.36,а и б приведены теоретические зависимости (кривые 1) ОСШК от уровня измерительного сигнала на входе канала соответственно для гармонического и псевдощумового измерительных сигналов с нормальным распределением мгновенных значений. Одновременно на рисунках приведен шаблон характеристики ОСШК (кривые 2) в соответствии с Рекомендацией МККТТ G 712. В реальных каналах значения ОСШК не должны быть меньше значений, определяемых шаблоном. Разность между значениями кривых 1 и 2 составляет допуск на погрешность реализации канала, а также определяет требования к погрешнос-

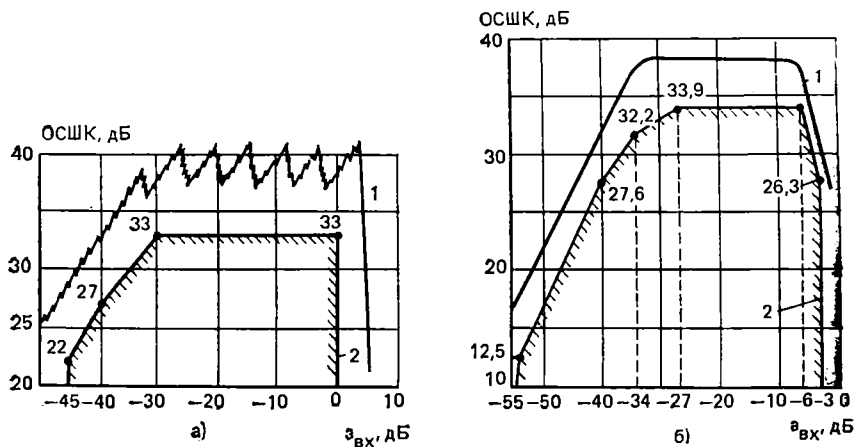


Рис. 4.36

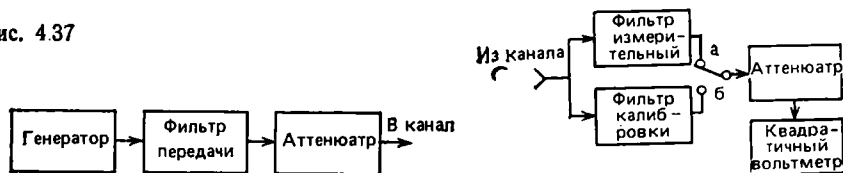
ти измерения. Поясним, что изменения кривой для гармонического измерительного сигнала с большим периодом вызваны сегментной структурой характеристики квантователя, а с малым — квантованием внутри сегмента.

Общий принцип измерения ОСШК основан на том, что в канал ТЧ подают измерительный сигнал определенного уровня. На выходе канала появляется сигнал, содержащий измерительный сигнал и продукты искажений. Фильтрацией выделяют продукты искажений и определяют отношение мощности ИС на выходе канала к мощности продуктов искажения.

Этот принцип иллюстрируется обобщенной структурной схемой на рис. 4.37. С выхода генератора через фильтр передачи, ограничивающий полосу сигнала, и перестраиваемый аттенюатор, служащий для установки требуемого уровня сигнала, измерительный сигнал поступает в канал ТЧ. На приемной стороне измерение осуществляется в два этапа. Сначала с помощью калибровочного фильтра выделяют измерительный сигнал (положение а переключателя) и при некотором фиксированном значении затухания перестраиваемого аттенюатора измеряют его уровень измерителем среднего квадратического значения. На втором этапе (положение б переключателя) из сигнала на выходе канала с помощью измерительного фильтра отфильтровывают часть спектра шума квантования и измеряют тем же измерителем. При этом устанавливают такое затухание аттенюатора, чтобы получить те же показания, что и на первом этапе. По изменению затухания аттенюатора определяют значение ОСШК. При этом в случае применения псевдошумового сигнала необходимо введение поправки, учитывающей то, что на втором этапе шум квантования измеряют не во всей полосе частот канала ТЧ, а лишь в некоторой ее части  $\Delta f$ , выделяемой измерительным фильтром. Значение поправки  $n = -10 \lg(3100/\Delta f)$ , причем предполагается, что спектр шума квантования равномерен во всей полосе частот канала ТЧ.

Наибольшее распространение получил псевдошумовой измерительный сигнал. Согласно рекомендаций МККТТ по измерению ОСШК спектр измерительного сигнала не должен выходить за пределы 350 ... 550 Гц и должен содержать не менее 25 спектральных составляющих с интервалом не более 8 Гц. Измерительный сигнал должен иметь полосу шириной 100 ... 200 Гц и нормальное распределение вероятностей мгновенных значений, коэффициент амплитуды  $K_a = (10,5 \pm 0,5)$  дБ. Указанная полоса определяет требования к фильтрам передачи и калибровки. Полоса пропускания измерительного фильтра должна быть не менее 2400 Гц (обычно

Рис. 4.37



от 800 до 3400 Гц). В [6] показано, что предпочтительней иметь 13 спектральных составляющих, так как при этом обеспечивается наименьшее значение методической погрешности измерения, вызываемой отличием применяемого измерительного сигнала от идеального, имеющего нормальное распределение мгновенных значений.

В качестве примера рассмотрим измеритель шумов квантования для аппаратуры ИКМ-30, структурная схема которого приведена на рис. 4.38 [8]. Прибор позволяет измерять ШК и ОСШК в телефонных каналах и каналах вещания второго класса.

Генератор измерительных сигналов состоит из задающего генератора прямоугольных импульсов, генератора ПСП, выполненного на 11-разрядном регистре сдвига, усилителя-формирователя, полосового фильтра ПФ-500 с полосой пропускания 450 ... 550 Гц, согласующего симметрирующего трансформатора и аттенюатора. Задающий генератор формирует импульсы с тактовой частотой  $f_T = 8080$  Гц. На выходе генератора ПСП образуется двоичная рекуррентная последовательность импульсов с периодом из  $(2^{11} - 1)$  символов, с частотой  $f_T$ . Спектральные линии отстоят друг от друга на интервал  $f_T / (2^{11} - 1) = 3,95$  Гц, что обеспечивает 23 спек-

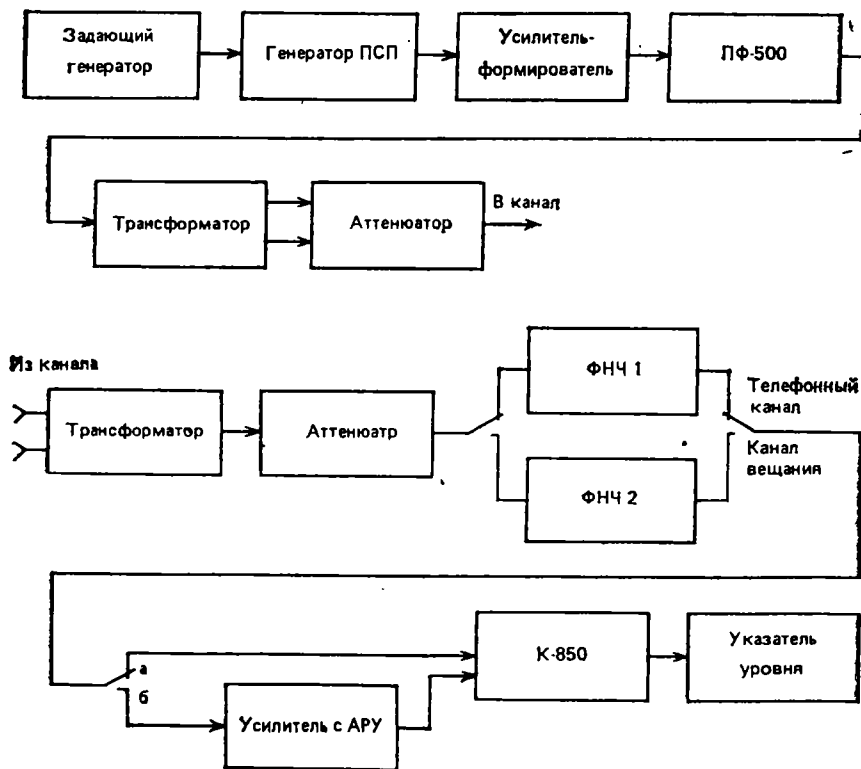


Рис. 4.38



тральных составляющих измерительного сигнала. Период повторения такого сигнала  $253 \pm 2$  мс. Неравномерность энергетического спектра частот на выходе генератора в полосе частот 450... 500 Гц не более 1,5 дБ. Уровень сигнала на внешней нагрузке 600 Ом устанавливается attenuатором ступенями через 0,5; 1; 10 дБ в диапазоне от 0 до 59,5 дБ. Нестабильность уровня за 15 мин не превышает  $\pm 0,2$  дБ. Выход генератора симметричный, выходное сопротивление 600 Ом.

Измеритель представляет собой широкополосный измеритель уровня (ИУ). При измерении ШК (положение *a* переключателя) сигнал с выхода канала через согласующий симметрирующий трансформатор с входным сопротивлением 600 Ом, attenuатор, фильтр ФНЧ1 с полосой до 3,4 кГц (для телефонных каналов) или фильтр ФНЧ2 с полосой до 10 кГц (для каналов вещания) и фильтр ФВЧ К-850, подавляющий составляющие спектра ниже 850 Гц, поступает на вход ИУ. Последний измеряет среднеквадратическое значение шумового сигнала в диапазоне уровней  $+10 \dots -70$  дБ с погрешностью  $\pm 1$  дБ.

При измерении ОСШК (положение *b* переключателя) необходимо определить отношение  $20 \lg(U_s/U_{ш})$ . Для этого сигнал поступает на фильтр К-850 через усилитель с АРУ, который поддерживает постоянный уровень сигнала  $U_s$  на входе фильтра. Поскольку усилитель усиливает и измерительный сигнал, и шум в одно и то же число раз, ОСШК на его выходе сохраняет прежнее значение. В то же время постоянство уровня сигнала  $U_s$  позволяет градуировать шкалу указателя уровня непосредственно в значениях ОСШК. Измерение ОСШК обеспечивается в диапазоне 10... 40 дБ с погрешностью  $\pm 1$  дБ при изменении измерительного сигнала в диапазоне 0...—59 дБ. В результате измерения необходимо вносить поправку *n*, учитывающую, что измерение шума квантования производится не во всей полосе частот канала.

При использовании гармонического измерительного сигнала важнейшим вопросом является правильный выбор его частоты. В Рекомендациях МККТ G 172 и 0.132 рекомендуется брать частоту диапазона 700... 1100 Гц, в качестве более предпочтительных указываются частоты 820 и 1020 Гц. Измерение ОСШК должно производиться в диапазоне 10... 40 дБ с погрешностью  $\pm 1$  дБ.

Частота измерительного сигнала не должна быть субгармонической частоты дискретизации. Если это не выполняется и частота сигнала является субгармоникой частоты дискретизации, т. е. отношение их периодов  $T_c/T_d = n$  — целому числу, отсчеты измерительного сигнала, полученные при дискретизации, будут повторяться для каждого периода сигнала  $T_c = nT_d$ . В пределах этого периода каждый отсчет после квантования по уровню будет иметь постоянную ошибку квантования. Соответственно и ОСШК будет иметь некоторое постоянное значение. Однако всякое изменение соотношения начальных фаз измерительного сигнала и сигнала дискретизации (например, в силу нестабильности их частот) будет приводить к изменению значения ОСШК. В результате мо-

гут возникнуть медленные колебания измеряемого значения ОСШК в заметных пределах, и при малой инерционности измерителя может иметь место соответствующая погрешность отсчета результата измерения. То же явление может иметь место и при отношении периодов  $T_c/T_d = n/k$ , где  $n$  и  $k$  — взаимнопростые целые числа. Только отсчеты будут повторяться с периодом, равным  $k$  периодам сигнала, т. е. с периодом  $kT_c = nT_d$ . Поэтому выбор частоты измерительного сигнала требует тщательного анализа возможных значений методической погрешности измерения ОСШК с учетом нестабильности частот.

Отметим, что при гармоническом измерительном сигнале измерительный фильтр (см. рис. 4.37) может быть выполнен в виде заграждающего фильтра, настроенного на частоту измерительного сигнала с узкой полосой пропускания порядка нескольких десятков герц.

Гармонический измерительный сигнал наряду с псевдошумовым использован в измерителе ОСШК, входящем в состав измерительной системы, предназначенной для паспортизации каналов систем с ИКМ. Упрощенная структурная схема этого измерителя приведена на рис. 4.39.

Измеритель содержит два генератора: генератор псевдошумового и гармонического измерительных сигналов. Псевдошумовой измерительный сигнал имеет 13 спектральных составляющих в полосе частот 450...550 Гц, гармонический имеет частоту  $(402 \pm 1)$  Гц. Выбор типа измерительного сигнала производится вручную с помощью переключателя  $\Pi_1$ , который одновременно осуществляет переключение соответствующих фильтров. С помощью блока согласования 1 производится установка требуемого уровня измерительного сигнала на входе измеряемого канала. Следует отметить, что установка коэффициента передачи блока согласования 1 так сопряжена с установкой коэффициента передачи блока согласования 2, что их суммарный коэффициент передачи остается неизменным. Все остальные операции в измерителе производятся автоматически.

Рассмотрим работу измерителя при использовании псевдошумового измерительного сигнала (положение  $a$  переключателя  $\Pi_1$ ). Псевдошумовой измерительный сигнал через блок согласования 1 поступает на вход измеряемого канала. С выхода канала сигнал, состоящий из измерительного сигнала и шумов квантования, поступает через блок согласования 2 и переключатель  $\Pi_1$  на переключатель  $\Pi_2$ , управляемый блоком управления и находящийся в первой стадии измерения в положении  $a$ . Полосовой фильтр с полосой пропускания 450...550 Гц выделяет измерительный сигнал, который через фильтр нижних частот с частотой среза 3400 Гц поступает на управляемый масштабный преобразователь и далее, преобразованный квадратором и фильтром постоянной составляющей, в виде постоянного напряжения поступает на компаратор, который сравнивает это напряжение с опорным напряжением  $E_0$ .

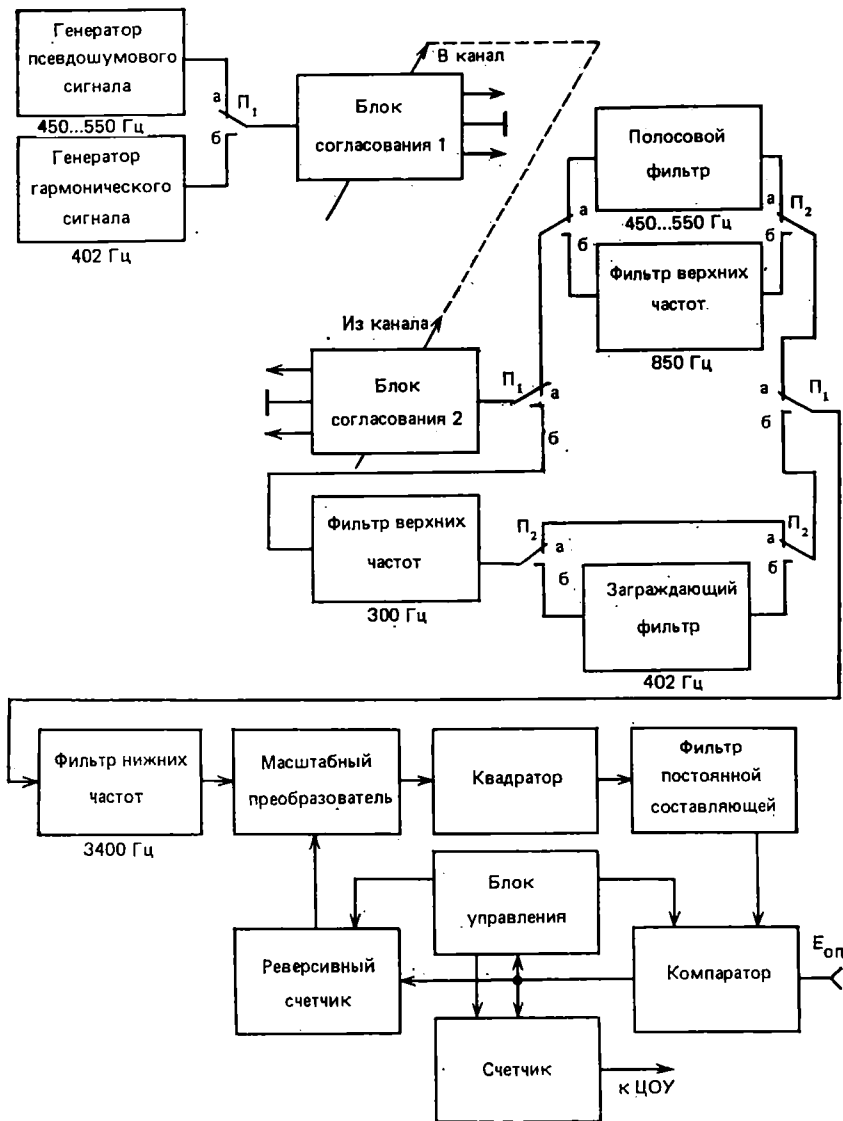


Рис. 4.39

С помощью компаратора, реверсивного счетчика, управляемого масштабного преобразователя и блока управления осуществляется автоматическое уравнивание напряжения с выхода фильтра постоянного напряжения и опорного напряжения  $E_{оп}$ . Управляемый масштабный преобразователь представляет собой последовательное соединение ячеек усиления с дискретно изменяемым коэффициентом передачи. Коэффициенты передачи ячеек за-

висят от состояния соответствующих ячеек реверсивного счетчика. Так, если триггер реверсивного счетчика, определяющий число десятков децибел, переводится из нулевого состояния в единичное, коэффициент передачи ячейки управляемого масштабного преобразователя, управляемой этим триггером, увеличивается в 3,162 раза (на 10 дБ) и т. д. Таким образом, коэффициент передачи управляемого масштабного преобразователя, выраженный в децибелах, соответствует числу, записанному в реверсивном счетчике.

В процессе уравнивания импульсы с компаратора, работающего в импульсном режиме по тактам, задаваемым блоком управления, поступают на счетный вход реверсивного счетчика, изменяя записанное в нем число и соответственно коэффициент передачи управляемого масштабного преобразователя. Переключение реверсивного счетчика со сложения на вычитание и наоборот производится блоком управления по сигналу компаратора.

На втором этапе измерения переключатель  $\Pi_2$  устанавливается в положение б. Сигнал с выхода блока согласования 2 через фильтр верхних частот, подавляющий все гармонические составляющие сигнала с частотой меньше 850 Гц и, следовательно, подавляющий измерительный сигнал, и включенный с ним последовательно фильтр нижних частот с частотой среза 3400 Гц, поступает на вход управляемого масштабного преобразователя. Совместное действие фильтров приводит к тому, что на вход управляемого масштабного преобразователя поступает шум квантования в полосе 850 ... 3400 Гц. Чтобы результат измерения соответствовал отношению мощности сигнала к мощности шумов квантования во всей полосе канала ТЧ, необходимо ввести поправку, полагая, что спектр шумов квантования в полосе канала ТЧ равномерен. На втором этапе измерения также происходит автоматическое уравнивание напряжения на выходе фильтра постоянной составляющей и опорного напряжения  $E_{оп}$ .

Разность состояний реверсивного счетчика после первого и второго уравнивания фиксируется счетчиком. Эта разность и представляет собой значение ОСШК, выраженное в децибелах. По сигналу блока управления измеренное значение ОСШК поступает на цифровое отсчетное устройство (ЦОУ).

При использовании гармонического измерительного сигнала переключатель  $\Pi_1$  устанавливается в положение б. Измерение также проводится в два этапа. На первом этапе (положение а переключателя  $\Pi_2$ ) сигнал с выхода блока согласования 2 поступает на вход управляемого масштабного преобразователя через последовательно соединенные фильтры с частотой среза 300 и 3400 Гц, что ограничивает полосу частот сигнала полосой частот канала ТЧ. На втором этапе (положение б переключателя  $\Pi_2$ ) сигнал, поступающий на управляемый масштабный преобразователь, проходит через узкополосный заграждающий фильтр, подавляющий частоту 402 Гц, т. е. измерительный сигнал. В остальном процесс измерения не отличается от описанного выше.

Следует отметить, что в данном случае на первом этапе измеряется суммарная мощность измерительного сигнала и шума квантования. Следовательно, в результате измерения получаем отношение суммарной мощности измерительного сигнала и шума к мощности шума. Однако, учитывая малость последней, обычно полученный результат принимают за истинное значение ОСШК.

Описанный измеритель обеспечивает ступенчатую установку уровня измерительного сигнала на входе измеряемого канала с интервалом в 1 дБ. Погрешность измерения не превышает  $\pm 0,5$  дБ. Такая точность измерения достигается благодаря совмещению устройств регулировки коэффициентов передачи блоков согласования (при этом уровень сигнала в тракте измерителя меняется незначительно из-за колебаний амплитудной характеристики канала в динамическом диапазоне уровней измерительного сигнала), а также тому, что в процессе измерения требуется определять не абсолютные значения измеряемых величин, а только их отношения.

Оценка качества канала на основании измерения значения ОСШК может оказаться ошибочной при наличии в канале импульсной помехи, которая может обуславливаться неисправностями в различных частях оборудования (в блоке синхронизации, кодирующем устройстве, генераторном оборудовании, регенераторе и др.), а также внешними причинами. При использовании для измерения ОСШК стрелочного индикатора о наличии импульсной помехи можно судить по резким отклонениям стрелки в процессе измерения. Если же измерение ОСШК производится автоматически с применением цифровой индикации результата измерения, то необходимо принять специальные меры для обнаружения импульсной помехи. Импульсную помеху в измеряемом канале можно обнаружить проще, если провести контроль за значением коэффициента амплитуды шумов квантования, который обычно составляет  $K_a = 3 \dots 4$ . При наличии импульсной помехи это значение существенно выше и составляет  $K_a = 8 \dots 12$ .

#### 4.6. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ПЕРЕГРУЗКИ

Уровень перегрузки (УП) является одним из основных параметров передающей аппаратуры ЦСП, определяя верхнюю границу динамического диапазона изменения сигнала. Под УП понимают такое значение входного уровня гармонического сигнала, при котором положительная и отрицательная амплитуды сигнала совпадают с положительным и отрицательным порогами квантования квантователя. Если входной сигнал  $U_{вх}$  выходит за пределы шкалы квантования, ограниченной порогами  $\pm U_{п}$ , то для всех этих значений сигнала на выходе квантователя имеет место максимальное значение кода и при  $U_{вх} > U_{п} + h$ , где  $h$  — максимальное значение шага квантования, появляются шумы перегрузки.

В процессе работы системы УП может изменяться из-за изменения коэффициента передачи аналоговой части передающей ап-

паратуры, уменьшения уровня ограничения усилителей индивидуального оборудования и группового такта, а также из-за изменения несбалансированных остатков импульсов, управляющих канальными ключами. При этом для разных полуволн измерительного сигнала могут иметь место разные значения УП. Тогда наименьшее (по модулю) значение принимается за УП.

Один из основных методов измерения значения УП, указанный в Рекомендации МККТТ G 712, основан на постепенном повышении уровня гармонического измерительного сигнала до появления максимальной кодовой комбинации, соответствующей максимальному уровню квантования для любой из полуволн измерительного сигнала. Добавляя к полученному таким образом уровню измерительного сигнала значение максимального шага квантования, определяют уровень перегрузки. Погрешность измерения не должна превышать  $\pm 0,3$  дБ.

Процесс измерения может быть автоматизирован в соответствии со структурной схемой, показанной на рис. 4.40. На вход канала через управляемый магазин затуханий от генератора измерительного сигнала поступает гармонический сигнал, контролируемый указателем уровня (вольтметром). Цифровой сигнал с выхода передающей аппаратуры подается на селектор кодовых комбинаций, который выделяет максимальные кодовые комбинации и формирует для каждой из них на своем выходе импульс. Для выделения из группового сигнала кодовых комбинаций одного канала на селектор от генераторного оборудования поступают канальные импульсы. Устройство управления магазином затуханий в исходном состоянии обеспечивает значение измерительного сигнала несколько ниже, чем возможное значение УП. По команде Пуск устройство управления ступенями уменьшает затухание магазина до момента появления на выходе селектора импульса, свидетельствующего о достижении УП. Последний определяется по показаниям указателя уровня и магазина затуханий. Их погрешность, а также значение шага изменения затухания магазина затуханий определяют погрешность измерения. При этом частоты измерительного сигнала и частота дискретизации не должны быть

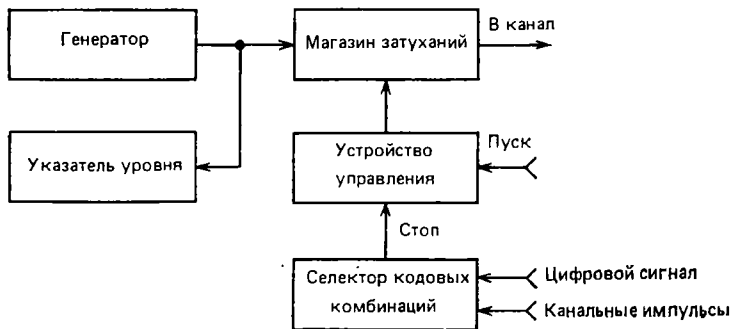


Рис. 4.40

кратны, чтобы обеспечивалось появление отсчета для максимального (или достаточно близкого к нему) значения сигнала. Хотя при достаточно низкой частоте измерительного сигнала, например для  $f_s = 40\theta$  Гц, и частоте дискретизации 8 кГц за один период сигнала будут укладываться 20 отсчетов и погрешность из-за их произвольного относительно сигнала положения будет лежать в пределах  $0 \dots 0,12$  дБ, что можно считать приемлемым. Это позволяет для каждого установленного уровня затухания магазина затуханий определять наличие перегрузки за один период сигнала. При увеличении частоты измерительного сигнала погрешность соответственно возрастет, и тогда необходимо обеспечить некрatность частот, чтобы для каждого периода сигнала отсчеты соответствовали разным фазам сигнала, в результате чего появлялся бы отсчет и для максимального значения сигнала.

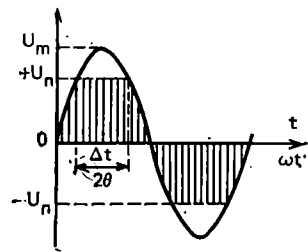


Рис. 4.41

Беспоисковый метод измерения УП, не требующий регулируемого магазина затуханий, можно осуществить, если на вход канала подать гармонический сигнал с амплитудой  $U_m$ , превышающей порог квантования  $U_n$  [6]. На рис. 4.41 показано ограничение отсчетов этого сигнала. Значение  $U_n$  можно найти из выражения

$$U_n = U_m \cos \pi f_c \Delta t = U_m \cos \theta,$$

где  $f_c = 1/T_c$  — частота сигнала;  $\theta = \pi f_c \Delta t$  — угол, характеризующий степень ограничения.

Переходя к уровням напряжения в децибелах, для УП  $a_{уп}$  получаем:

$$a_{уп} = a_{U_m} + 20 \lg \cos \theta,$$

где  $a_{U_m} = 20 \lg U_m / U_{m0}$ ;  $U_{m0}$  — абсолютный нулевой уровень напряжения.

Часто необходимо определить отклонение  $\delta_{уп}$  УП от своего номинального значения  $a_{уп,н}$ :

$$\delta_{уп} = a_{уп} - a_{уп,н} = 20 \lg \cos \theta - a,$$

где  $a = 20 \lg \cos \theta_n$ ,  $\theta_n$  — номинальное значение угла  $\theta$  при заданном значении амплитуды сигнала  $U_m$ .

Значение угла  $\theta$  можно определить через отношение числа максимальных отсчетов к общему числу отсчетов за  $p$  периодов сигнала:

$$0 = \frac{k}{m} \pi,$$

где  $k = k_n + \Delta k$  — число максимальных отсчетов,  $k_n$  — номинальное число максимальных отсчетов, соответствующее значению уг-

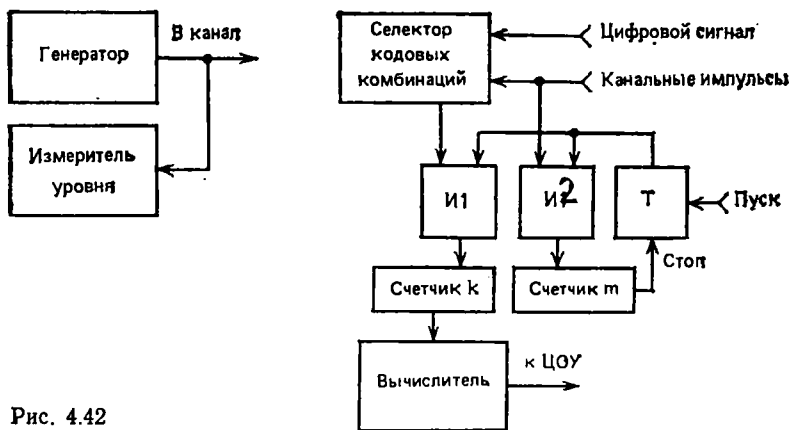


Рис. 4.42

ла  $\theta_n$ ;  $m$  — общее число отсчетов. При этом частота сигнала и частота дискретизации не должны быть кратны.

Таким образом, идея метода сводится к измерению числа максимальных отсчетов  $k$  и общего числа отсчетов  $m$  за целое число  $p$  периодов сигнала с последующим вычислением УП согласно приведенным формулам.

На рис. 4.42 показана структурная схема измерителя, реализующая этот метод. По команде Пуск срабатывает триггер и через логическое устройство И1 импульсы с выхода селектора максимальной кодовой комбинации поступают в счетчик числа  $k$  этих комбинаций. Одновременно каналные импульсы, поступающие от генераторного оборудования через схему И2, проходят на счетчик общего числа отсчетов  $m$ . После заполнения последнего триггер возвращается в исходное состояние и счет прекращается. Вычислитель по полученному значению числа  $k$  и заранее известному значению  $m$ , а также амплитуды сигнала  $U_m$  производит вычисление значения УП  $a_{уп}$  или его отклонения от номинального значения  $\delta_{уп}$ .

Погрешность измерения определяется, главным образом, погрешностью установки уровня гармонического сигнала по измерителю уровня, погрешностью дискретности (квантования) при измерении угла  $\theta$  и погрешностью вычисления.

Погрешность дискретности  $\Delta_\theta$  при измерении угла  $\theta$  возникает вследствие того, что при счете числа отсчетов  $k$  за время  $\Delta t$  (см. рис. 4.41) имеет место погрешность  $\pm 1$  импульс, т. е. интервал времени  $\Delta t$  определяется с погрешностью  $\pm T_d$  (период дискретизации). При измерении числа отсчетов  $k$  за  $p$  периодов сигнала при условии некратности его частоты и частоты дискретизации, так что отсчеты каждый раз производятся для разной фазы сигнала, значение этой погрешности равно:

$$\Delta_\theta = \pm \pi f_c T_d / \sqrt{p}.$$



Возникающая при этом погрешность  $\delta_\theta$  измерения УП равна  
 $\delta_\theta = 20 \lg \cos(\theta + \Delta\theta) - 20 \lg \cos \theta$ .

Упростим это выражение для малых  $\theta$  ( $\theta < 0,5$ ), используя представление в виде рядов функций  $\cos$  и  $\ln$ :

$$\cos x \approx 1 - x^2/2, \quad \ln(1 - x^2/2) \approx -x^2/2.$$

Тогда

$$\delta_\theta \approx -10 M[(\theta + \Delta)^2 - \theta^2] \approx -20 M\theta\Delta_\theta,$$

где  $M = 0,4343$ .

Например, при  $T_d = 1/8000$  с,  $f_s = 403$  Гц, времени измерения 1 с (т. е.  $n = 403$ ) получим  $\Delta_\theta = \pm 0,008$ ; при  $\theta = 0,5$   $\delta_\theta \approx \pm 0,035$  дБ. Таким образом, эта погрешность может быть достаточно небольшой.

При малых значениях угла  $\theta$  ( $\theta < 0,5$ ) выражения для  $a_{уп}$  и  $\delta_{уп}$  можно упростить с погрешностью  $\delta < 0,1$  дБ, используя указанные выше разложения в ряды функций  $\cos$  и  $\ln$ . Тогда

$$a_{уп} \approx a_{Um} - 10 M\theta^2 = a_{Um} - bk^2 \approx a_{уп,н} - c\Delta k,$$

$$\Delta_{уп} \approx -10 M(\theta^2 - \theta_{н}^2) = -b(k^2 - k_{н}^2) \approx c\Delta k,$$

где  $M = 0,4343$ ,  $b = -10M\pi^2/m^2$ ,  $c = 2bk_n$ ,  $\Delta k \ll k_n$ ,  $a_{уп,н} = a_{Um} - bk_n^2$  — номинальные значения УП.

Подбором значений общего числа отсчетов  $m$  (за счет подбора времени измерения) и номинального числа максимальных отсчетов (за счет подбора амплитуды сигнала  $U_m$ ) можно обеспечить значение коэффициента  $c = 10^{-2}$ . При этом частоту сигнала следует выбирать такой, чтобы за  $m$  отсчетов укладывалось целое число  $n$  периодов сигнала и частота сигнала не была кратной частоте дискретизации. Выполнение указанных условий с использованием вместо счетчика числа  $k$  реверсивного счетчика числа  $\Delta k$  позволит обойтись без специального вычислителя и упростить измеритель.

#### 4.7. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБОК В ЦСП. ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБОК ПО СООТНОШЕНИЮ СИГНАЛ-ШУМ

При передаче цифрового сигнала по ЦСП возникают ошибки, в результате которых вместо информационной 1 может быть принят 0, и наоборот. В ЦСП предъявляются жесткие требования к вероятности ошибок  $P_{ош}$ . Известно, что при вероятности  $P_{ош} = 10^{-6}$  ухудшение качества речевых сигналов трудно обнаружить на слух, при  $P_{ош} = 10^{-5}$  не возникает серьезного ухудшения качества речи. Значение  $P_{ош} = 10^{-3}$  рассматривается как аварийное состояние ЦСП. Соответственно для каналов ТЧ номинальной цепи ЦСП протяженностью 2500 км можно считать допустимым вероятность ошибок  $P_{ош} = 10^{-6}$ . Так как ошибки, возникающие на одном регенерационном участке, не зависят от ошибок, возникающих на других участках, то результирующая вероятность ошибок всей

ЦСП равна сумме вероятностей на отдельных участках, и значение последней можно определить по формуле  $l \cdot 10^6 / 2500$ , где  $l = 2 \dots 10$  км — длина регенерационного участка. В результате допустимое значение вероятности ошибок на регенерационном участке имеет порядок  $10^{-10}$ . В системах передачи данных эти требования еще жестче,  $P_{\text{ош}} = 10^{-12}$  и менее. Таким образом, требуемый диапазон определяемых значений вероятности ошибок составляет  $10^{-3} \dots 10^{-12}$ .

Причинами возникновения ошибок при передаче цифрового сигнала являются наряду с его собственными искажениями шумы и помехи различного происхождения (тепловые шумы, межсимвольные помехи, помехи от взаимных влияний, импульсные помехи, возникающие в различных узлах АТС и др.), а также фазовое дрожание сигнала, проявляющееся в некотором смещении положения принимаемых импульсов относительно синхроимпульсов. Вид преобладающих помех в значительной мере зависит от вида используемой линии связи. Фазовое дрожание обусловлено неидеальностью синхронизации регенераторов и приводит к смещению момента принятия решения (момента отсчета) в решающем устройстве регенератора от оптимального значения. Очевидно, что вероятность ошибок зависит от соотношения сигнал-шум на входе регенератора, и при известной зависимости, измеряя последнее, можно косвенно оценить значение вероятности ошибок.

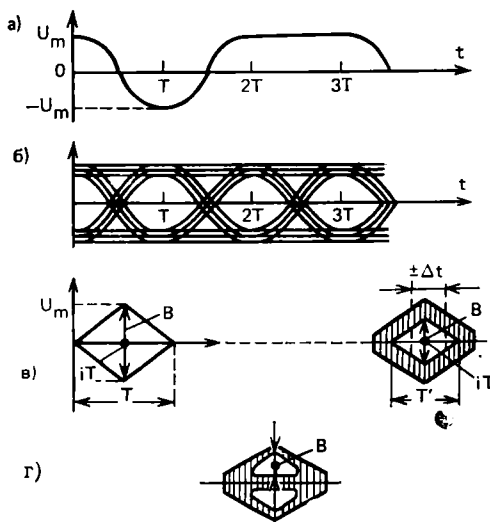
Для понятия этой зависимости рассмотрим процесс возникновения ошибки, обусловленной указанными факторами, на основе анализа глаз-диаграммы (глазковой диаграммы) сигнала ЦСП на входе регенератора. Заметим, что измерение глаз-диаграммы является специфическим методом измерений, присущим ЦСП, а анализ глаз-диаграммы позволяет получать много полезных сведений о качестве принимаемого цифрового сигнала и имеющих место шумах и помехах.

Для сигнала с изменяющейся амплитудой глаз-диаграмму можно получить с помощью электронного осциллографа, совмещая принимаемые реализации сигнала во времени таким образом, чтобы моменты отсчета значения каждого символа находились в одной точке. Для этого сигнал подается на вход вертикального канала осциллографа, а развертка синхронизируется с тактовой частотой передачи информации.

Процесс формирования глаз-диаграммы поясняет рис. 4.43, где а — одна из возможных форм принимаемого двоичного (двухуровневого) сигнала с длительностью символа, равной  $T$ ; б — диаграмма, полученная при наложении многих реализаций, совмещенных в точке отсчета  $iT$  ( $i=0, 1, 2, \dots$ ); в — идеализированные глаз-диаграммы без помех и фазовых дрожаний и с ними для рассматриваемого двухуровневого сигнала; г — то же, что в, для трехуровневого.

Наибольшее расстояние по вертикали  $B$  между двумя ближайшими уровнями множества реализаций сигнала в точке отсчета  $iT$  называется раскрывом диаграммы. Расстояние  $B/2$  от внутрен-

Рис. 4.43



ней границы диаграммы до ее середины (положение которой определяется по идеализированной диаграмме) задает пороговый уровень решающего устройства регенератора и определяет запас помехоустойчивости регенератора. Запас помехоустойчивости численно равен минимальному дополнительному уровню шума, который может вызвать неправильный отсчет принятого сигнала (ошибку).

Если раскрыв диаграммы характеризует запас помехоустойчивости по амплитуде сигнала, то ее ширина  $T$  отражает допуск на фазовое дрожание и неточность синхронизации, приводящие к смещению  $\pm \Delta t$  точки отсчета от оптимального положения. Очевидно, что максимальный запас помехоустойчивости обеспечивается, если отсчет производится в оптимальный момент  $iT$  (оптимальная точка отсчета). Из рисунка видно, что при смещении точки отсчета к краю диаграммы в пределах  $\pm \Delta t$  запас помехоустойчивости уменьшается и соответственно вероятность ошибок возрастает. По глаз-диаграмме можно также оценить фазовое дрожание сигнала как относительное уменьшение ширины раскрыва диаграммы.

В ЦСП наиболее часто используется квазитроичный сигнал. При этом сигнале имеют место три уровня передаваемого сигнала: положительный импульс  $+1$ , отрицательный импульс  $-1$  и нулевой  $0$ . Ошибка при приеме импульса может возникнуть, если в момент принятия решения мгновенное напряжение шума превысит допустимый уровень и будет иметь знак, противоположный знаку импульса. При приеме символа  $0$  превышение допустимого уровня шума одинаково вредно при любой его полярности. Допустимое напряжение шума определяется величиной наименьшего раскрыва  $B$  глаз-диаграммы для трехуровневого сигнала и не должно превышать  $B/2$  (рис. 4.43,г). Вероятность превышения этой

величины определяет вероятность ошибок данного регенератора.

Действующие в цифровых трактах передачи шумы, как тепловые, так и вызванные взаимными влияниями, имеют нормальное (гауссовское) распределение, поэтому вероятность превышения допустимого значения напряжения шума будет определяться интегралом вероятностей. В случае символа 0 не должна быть превышена некоторая абсолютная величина напряжения ( $V/2$ ). Вероятность двустороннего превышения этой величины (т. е.  $-V/2$  и  $+V/2$ ).

$$P_{дв} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-b_0}^{b_0} e^{-b^2/2} db = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{+b_0}^{\infty} e^{-b^2/2} db,$$

где  $b = u/U_{ш}$ ,  $u$  — мгновенное значение напряжения шума (случайная переменная);  $U_{ш}$  — действующее (среднее квадратическое) значение напряжения шума;  $b_0 = V/2U_{ш}$ . Вероятность одностороннего превышения величины  $V/2$  (или  $-V/2$ ), возникающего в случае символа  $-1$  (или  $+1$ ),  $P_{одн} = 0,5P_{дв}$ . Поскольку в двоичном сигнале символы 0 и 1 появляются с одинаковой вероятностью, равной  $1/2$ , то в квазитроичном сигнале вероятность появления 0  $P_0 = 0,5$ , а вероятность появления символов  $-1$  и  $+1$   $P_{-1} = P_{+1} = 0,25$ . Вероятность появления ошибки выражается следующей зависимостью:

$$P_{ош} = P_0 P_{дв} + P_{-1} P_{одн} + P_{+1} P_{одн} = 0,75 P_{дв} = \frac{3}{4} \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{b_0}^{\infty} e^{-b^2/2} db.$$

Величина  $P_{ош}$  определяет вероятность того, что напряжение шума  $u$  в момент решения превысит значение  $V/2$ , т. е. значение  $b > b_0$ , и приведет к ошибке.

Мерой помехоустойчивости регенератора является отношение сигнал-шум, дБ:

$$R = 20 \lg V/U_{ш} = 20 \lg b_0.$$

Из полученных выражений видно, что отношение сигнал-шум  $R$  и вероятность ошибок  $P_{ош}$  являются функцией одной величины  $b_0$  и вероятность ошибок  $P_{ош}$  можно представить как функцию отношения сигнал-шум  $R$ . Результаты расчетов показаны на рис. 4.44,а.

Приведенные расчеты были сделаны для квазитроичного кода с чередованием полярности импульсов (ЧПИ). Часто используемый в настоящее время модифицированный квазитроичный код КВП-3 отличается от квазитроичного кода с ЧПИ тем, что в него вводят дополнительные импульсы в случае длинных последовательностей нулей. Однако это отличие практически не влияет на требуемое отношение сигнал-шум, значение которого может измениться не более чем на 0,1 дБ. Требование к отношению сигнал-шум изменится значительно, если будет использоваться какой-либо другой, например многоуровневый, код, для которого приняты иные пороги решения. В этом смысле наиболее экономичным

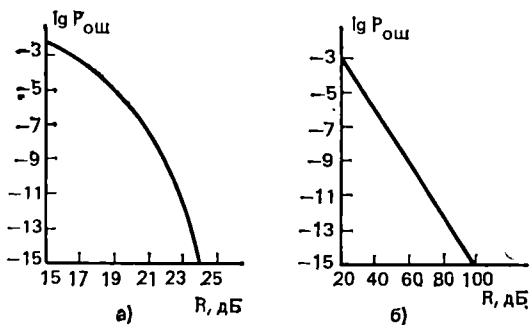


Рис. 4.44

является симметричный двоичный сигнал, для которого требуемое отношение сигнал-шум приблизительно на 6 дБ меньше.

Импульсные помехи АТС имеют существенно иное распределение. Помехи, возникающие в результате работы реле и искаателей, выключающих и включающих постоянный или переменный ток, вызывной ток и другие сигналы управления АТС, имеют широкий спектр частот, а плотность вероятности мгновенных значений этих помех является функцией, убывающей медленнее, чем функция нормального распределения. На рис. 4.44,б показана соответствующая зависимость. Чаще всего импульсные шумы АТС и шумы, вызванные переходными влияниями, действуют одновременно. Определив распределение суммы двух случайных составляющих шумов, можно показать, что коэффициент ошибок, возникающих в результате совместного действия шумов обоих типов, с достаточным приближением равен сумме коэффициентов ошибок, определенных для каждого шума отдельно. Однако для регенерационных участков, прилегающих к АТС, обычно бывает достаточно учитывать только импульсные шумы АТС. Очевидно, что результаты зависят от типа АТС и интенсивности телефонного обмена.

Рассмотрение полученных соотношений показывает, что вероятность ошибок резко зависит от соотношения сигнал-шум и изменение последнего на 0,5...1 дБ может вызвать изменение вероятности ошибок на порядок. Это требует большой точности измерения отношения сигнал-шум, чтобы полученные соответствующие оценки ошибок были достаточно надежны. С другой стороны, обеспечение в регенераторе соответствующего запаса помехоустойчивости резко снижает вероятность ошибки. В результате постепенное увеличение шума вначале не оказывает заметного влияния на характеристики системы, а затем число ошибок резко возрастает, приводя к резкому ухудшению качества ЦСП. Это отличается ЦСП от аналоговых систем, где постепенное увеличение искажений и шумов приводит и к соответствующему постепенному ухудшению качества системы, и поэтому его легче контролировать. В ЦСП область между появлением редких и недопустимо частых

ошибок является весьма узкой, из чего вытекает необходимость контроля весьма малых значений коэффициентов ошибок с целью проведения своевременной профилактики системы. Измерение малых значений коэффициента ошибок связано с увеличением времени измерения, что затрудняет проведение оперативного контроля качества ЦСП.

Фазовое дрожание приводит к уменьшению раскрыва гладиagramмы в момент принятия решения и соответственно к уменьшению соотношения сигнал-шум и увеличению вероятности ошибки. Это особенно опасно, когда два импульса — соседние с принимаемым (предшествующий и последующий) — имеют полярность, противоположную принимаемому, так как в этом случае происходит максимальное укорочение последнего. Если импульсы на входе решающего устройства являются косинус-квадратными,  $U_m \cos^2 \omega_\tau t/4$ , то вблизи момента решения ( $t=0$ ) форма принимаемого импульса имеет вид

$$u_s = U_m \cos \omega_\tau t/2 = U_m \cos \pi t/T.$$

Поскольку порог решения имеет значение  $U_m/2$ , допустимое фазовое дрожание лежит в пределах  $\pm T/3$ , так как при этом  $u_s = U_m/2$  и никакого запаса на помехи не остается. При меньших абсолютных значениях фазового дрожания  $\Delta t$  происходит дополнительное ухудшение соотношения сигнал-шум в  $k$  раз, где

$$k = 1 - 2 \cos \pi \Delta t/T,$$

и соответствующее увеличение вероятности ошибки.

Приведенные соотношения показывают возможность косвенной оценки вероятности ошибки по результатам прямых измерений сигнала и шума, а также величины фазового дрожания.

Непосредственное определение вероятности ошибок основано на измерении коэффициента ошибок (КО), который определяется частотой их появления и служит оценкой вероятности ошибок.

**Измерение коэффициента ошибок.** В общем случае КО определяется отношением числа элементов цифрового сигнала, принятых с ошибками к общему числу элементов, принятых в течение времени измерения:

$$K_{ош} = N_{ош}/N = N_{ош}/BT,$$

где  $N_{ош}$  — число ошибочно принятых элементов;  $N$  — общее число принятых элементов;  $B$  — скорость передачи;  $T$  — время измерения.

Элементом цифрового сигнала обычно является бит (двоичная единица измерения), и тогда КО является оценкой вероятности ошибок в приеме бита. В то же время часто информация передается в виде последовательности символов, каждый из которых состоит из нескольких бит (например, восьми), либо блоками, содержащими сотни и тысячи бит. Для большинства систем наличие одной или нескольких ошибок в неизвестном разряде символа или блока делает его бесполезным или ненадежным. В этом

случае в качестве элемента цифрового сигнала можно рассматривать соответственно символ или блок.

Так как КО является лишь оценкой вероятности ошибок, необходимо знать качество этой оценки. Его можно характеризовать средним квадратическим значением  $\sigma$  абсолютной погрешности этой оценки

$$\sigma = \left[ \frac{K_{\text{ош}}(1 - K_{\text{ош}})}{N} \right]^{1/2} \approx \left( \frac{K_{\text{ош}}}{N} \right)^{1/2} = \frac{K_{\text{ош}}}{\sqrt{N_{\text{ош}}}}$$

и относительным значением погрешности  $\delta$  для заданной доверительной вероятности  $P_d$

$$\delta = t_p \sigma / K_{\text{ош}} = t_p / \sqrt{N_{\text{ош}}},$$

где  $t_p$  — коэффициент, определяемый через интеграл вероятностей для заданной доверительной вероятности. Из этого выражения можно определить число ошибок  $N_{\text{ош}}$ , которое должно быть сосчитано в процессе измерения, чтобы с заданной доверительной вероятностью  $P_d$  методическая погрешность оценки вероятности ошибок не превышала заданного значения  $\delta$ :

$$N_{\text{ош}} = (t_p / \delta)^2.$$

Например, при  $P_d = 0,95$  значение  $t_p = 1,96$ , и для получения относительной погрешности  $\delta = 0,2$  заданное число ошибок  $N_{\text{ош}} = 96$ , а для  $\delta = 0,5$   $N_{\text{ош}} = 16$ .

Из приведенных выражений можно также оценить требуемое время измерения:

$$T = N_{\text{ош}} / BK_{\text{ош}}.$$

Например, при  $B = 64$  кбит/с и требуемом числе ошибок  $N_{\text{ош}} = 10 \dots 100$  для  $K_{\text{ош}} = 10^{-6}$  получим требуемое время измерения 2,5 ... 25 мин, а для  $K_{\text{ош}} = 10^{-10}$  даже при больших скоростях требуемое время измерения может достигать многих десятков часов. Это обстоятельство определяет главнейший недостаток измерителей коэффициента ошибок (ИКО).

Измерение КО дает сведения лишь о том, какое число ошибок может иметь место за определенное время измерения, но не позволяет судить о распределении ошибок во времени. Для определения последнего можно измерять интервалы времени между моментами появления соседних ошибок. На основании множества таких измерений можно построить гистограммы, отражающие распределение интервалов времени, свободных от ошибок, можно определить среднее значение такого интервала времени и др.

Наряду с исследованием распределения во времени одиночных ошибок ведется изучение вопросов группирования соседних или близких по времени ошибок в пакеты и изучение статистики таких пакетов. Пакет ошибок определяется как совокупность некоторого числа бит, начинающаяся и заканчивающаяся ошибочно принятыми битами и отделенная от соседней защитным интервалом длиной не менее  $n$  бит. Ошибки, расположенные ближе чем

на  $p$  бит, объединяются в один пакет. При правильном выборе  $p$  ошибки, вызванные одной и той же помехой, располагаются в одном пакете, что позволяет разделять влияние различных помех. При этом измеряются такие характеристики пакетов, как длина, число ошибок в пакете, доля ошибочно принятых бит в пакете, интервал между соседними пакетами.

Поэтому в соответствии с рекомендациями МККТТ и требованиями ГОСТ 26783—85 «Измерители коэффициентов ошибок в системах передачи с ВРК. Типы и основные параметры» для ИКО устанавливаются следующие измеряемые параметры: коэффициент ошибок  $K_{\text{ош}}$ ; число ошибок  $N_{\text{ош}}$  за регламентированный интервал времени измерения  $T_{\text{изм}} = 10^n$ , где  $n = -2, -1, 0, 1, 2, 3$ ; интервал времени измерения  $T_N$ , за который накопилось регламентированное число ошибок  $N_{\text{ош}}$ ; процент временных интервалов  $\delta_{\tau} \%$ , в течение которых КО не превышает допустимого значения  $\delta_{\tau} = 100 \Sigma T_i / T$ , где  $T_i$  — временной интервал, в течение которого КО не превысил допустимого значения,  $T$  — общее время измерения; число  $m_{N=0}$  односекундных интервалов, в течение которых полностью отсутствуют ошибки; число  $m_{N \neq 0}$  односекундных интервалов, в течение которых присутствуют ошибки.

Из рассмотрения этих параметров видно, что их измерение связано с обнаружением и счетом числа ошибок, а также с измерением определенных временных интервалов. По методу измерения КО ГОСТ устанавливает два типа ИКО:

ИКО-1 — средства измерения КО, основанные на методе обнаружения ошибок путем сравнения единичных элементов принимаемого измерительного псевдослучайного сигнала с переданным;

ИКО-2 — основанные на методе обнаружения ошибок в рабочем цифровом сигнале электросвязи путем определения нарушений правил кодообразования сигнала (запрещенных комбинаций).

Очевидно, что ИКО-1, использующие специальный измерительный сигнал, требуют перерыва связи, в то время как ИКО-2 позволяют измерять КО без перерыва связи и могут использоваться для непрерывного контроля качества связи. С другой стороны, ИКО-1 позволяют измерять КО для отдельных компонентов ЦСП при их изготовлении и в процессе строительства ЦСП.

Рассмотрим принципы построения ИКО-1. Прибор состоит из двух частей: генератора измерительного сигнала и анализатора ошибок. Генератор (рис. 4.45,а) содержит генератор тактовых импульсов, который обеспечивает требуемую в ЦСП скорость передачи, генератор псевдослучайной бинарной последовательности ГПСБ, кодер, который осуществляет кодирование сигнала ГПСБ, являющегося обычно двоичным импульсным кодом с возвратом к нулю, в соответствии с кодом, используемым в ЦСП, и устройство согласования с линией. В генераторе также предусмотрен выход тактовой частоты  $f_{\tau}$  для синхронизации работы анализатора ошибок, когда они располагаются в одном месте.

Анализатор ошибок (рис. 4.45,б) содержит устройство согласования, декодер, осуществляющий операцию обратного преобра-



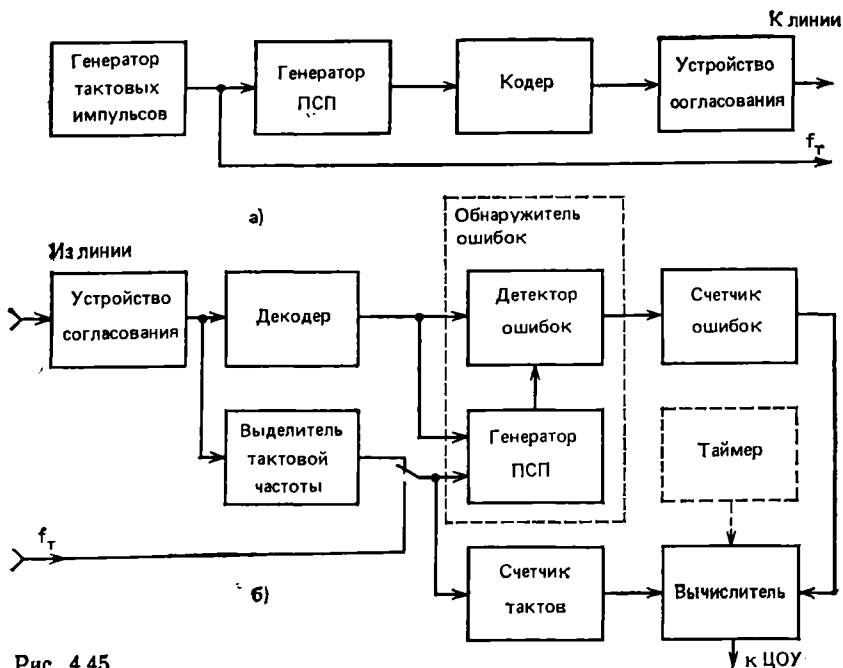


Рис. 4.45

зования кодированного сигнала в исходный псевдослучайный сигнал, обнаружитель ошибок (показан пунктиром), включающий собственный генератор ПСП, идентичный с генератором ПСП на передающем конце, и детектор ошибок, осуществляющий обнаружение ошибок сравнением принятого сигнала с сигналом собственного генератора, и счетчик ошибок. Кроме того, в анализатор ошибок входит выделитель тактовой частоты, с помощью которого осуществляется тактовая синхронизация при работе по направлению, т. е. когда генератор и анализатор разнесены в пространстве. Если они находятся в одном месте (например, при работе по шлейфу), то сигнал тактовой частоты  $f_T$  непосредственно поступает от генератора. Счетчик тактов подсчитывает число тактов, за которое осуществляется счет ошибок. Вычислитель производит вычисление значения КО как отношения числа сосчитанных ошибок к числу сосчитанных тактов и подает его на цифровое отсчетное устройство ЦОУ. Показанный на схеме штриховой линией таймер позволяет измерять время счета ошибок, при этом можно обойтись без счетчика тактов, так как скорость передачи известна. Отметим, что при наличии соответствующего вычислителя с помощью приведенной структурной схемы можно производить измерение практически всех параметров ошибок, указанных выше.

Специфическими узлами ИКО-1 являются генератор псевдослучайной последовательности ПСП и детектор ошибок. Поэтому

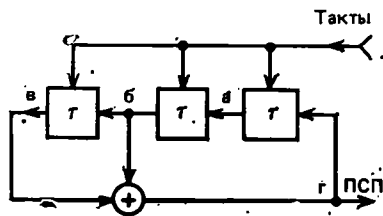


Рис. 4.46

рассмотрим принципы их построения подробнее. Генераторы ПСП обычно строятся на регистре сдвига с линейной обратной связью. Пример такого генератора на трехразрядном регистре сдвига приведен на рис. 4.46, а табл. 4.5 поясняет его работу. Генератор вырабатывает импульсы псевдослучайной последовательности с периодом  $(2^3 - 1) = 7$  бит при любой начальной загрузке регистра кроме комбинации 000, которая считается запрещенной. При поступлении тактового сигнала информация в регистре сдвигается влево, а на вход регистра поступает выходной сигнал, образованный суммированием по модулю два содержимого двух последних ячеек.

В общем случае вид ПСП импульсов определяется характеристическим полиномом

$$y = x^a \oplus x^b + c,$$

где  $\oplus$  — знак суммирования по модулю два;  $x^a$ ,  $x^b$  — ПСП импульсов на выходах ячеек регистра с номерами  $a$  и  $b$ ;  $c$  — номер ячейки, на которую по цепи обратной связи поступает суммарный сигнал. Период такой последовательности, называемой последовательностью максимальной длины ( $M$ -последовательностью), определяется числом элементов  $M = 2^m - 1$ , где  $m$  — номер последней ячейки регистра. В соответствии с ГОСТ 26783—85 рекомендованы следующие значения  $m$ , выбираемые в зависимости от скорости передачи:

$$m = 11 (a = 11, b = 9, c = 1),$$

$$m = 23 (a = 23, b = 18, c = 1),$$

$$m = 15 (a = 15, b = 14, c = 1).$$

Указанные периодические последовательности — детерминированные, по своим характеристикам приближаются к случайным:

Таблица 4.5

Такт	Значения переменных в точках				Такт	Значения переменных в точках				Такт	Значения переменных в точках			
	а	б	в	г		а	б	в	г		а	б	в	г
0	1	1	1	0	5	1	0	1	1	9	0	0	1	1
1	0	1	1	0	6	1	1	0	1	10	1	0	0	0
2	0	0	1	1	7	1	1	1	0	11	0	1	0	1
3	1	0	0	0	8	0	1	1	0	12	1	0	1	1
4	0	1	0	1										

1. Содержимое регистра сдвига постоянно изменяется, отражая всевозможные комбинации единиц и нулей.

2. Число единиц в каждом периоде последовательности на единицу больше, чем число нулей, т. е. при больших  $m$  примерно равно, как это и должно быть для случайной последовательности.

3. Автокорреляционная функция такой последовательности, равная  $1/(2^m - 1)$ , при больших  $m$  близка к нулю для всех значений временного сдвига, кроме нулевого (и кратных  $2^m - 1$ ), где она равна 1. Таким образом, ее корреляционные свойства близки к соответствующим свойствам белого шума.

Для обнаружения ошибок на приемном конце необходимо точно знать структуру переданной последовательности, а также временное положение каждого ее двоичного символа. Если генератор измерительного сигнала и анализатор ошибок расположены рядом, а задержка распространения по каналу значительно меньше времени передачи информационного элемента, то обнаружение ошибок можно выполнить непосредственным сравнением переданной и принятой последовательностей. Однако эти условия часто не выполняются, и для обнаружения ошибок в составе анализатора необходим аналогичный генератор ПСП, синхронизированный с принимаемым сигналом.

На рис. 4.47 показана одна из возможных схем построения обнаружителя ошибок, включающая генератор ПСП. Ввод генератора ПСП в синхронизм выполняется кратковременной подачей на вход регистра сдвига принимаемой ПСП. Таблица 4.6 поясняет работу прибора в этом режиме. Как только все  $m$  ячеек регистра сдвига будут загружены информацией без ошибок (на что указывает нулевой выходной сигнал обнаружителя), переключатель возвращается в исходное состояние, в генераторе ПСП замыкается обратная связь и он продолжает генерировать ПСП идентичную передаваемой и синхронную с принимаемой. В результате детектор ошибок, выполненный на сумматоре по модулю два, будет обнаруживать ошибки в принимаемой ПСП. При нарушении синхронизма, что может иметь место при добавлении или исключении из принимаемой последовательности нескольких бит, необходимо вновь повторить загрузку регистра принимаемой последовательностью. Критерием потери синхронизма является

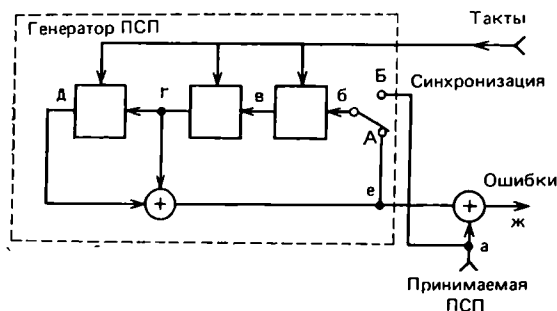


Рис. 4.47

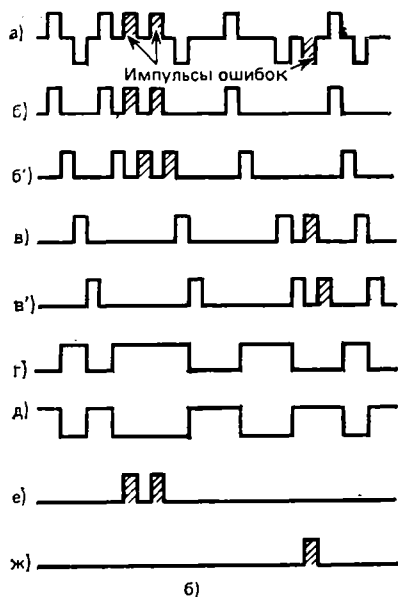
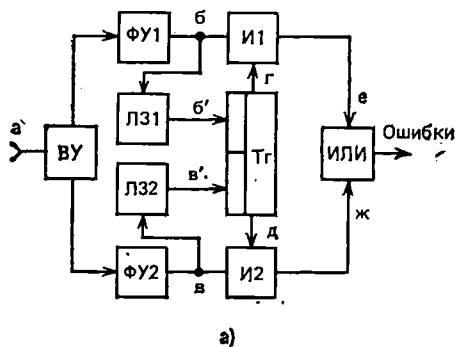
Таблица 4.6

Такт	Положе- ние пере- ключателя	Значения переменных в точках							Примечание	
		а	б	в	г	д	е	ж		
0	Б	0	0	0	0	0	0	0	Загрузка ре- гистра	
1	Б	0	0	0	0	0	0	0		
2	Б	1	1	0	0	0	0	1		
3	Б	0	0	1	0	0	0	0		
4	А	1	1	0	1	0	1	0		
5	А	1	1	1	0	1	1	0		
6	А	0	1	1	1	0	1	1		
7	А	0	0	1	1	1	0	0		Обнаруженная ошибка
8	А	0	0	0	1	1	0	0		
9	А	1	1	0	0	1	1	0		
10	А	0	0	1	0	0	0	0		
11	А	1	1	0	1	0	1	0		
12	А	0	1	1	0	1	1	1		Введено два бита, что ве- дет к потере синхронизма
13	А	1	1	1	1	0	1	1		
14	А	1	0	1	1	1	0	1		
15	А	1	0	0	1	1	0	1		
16	А	0	1	0	0	1	1	1		

резкое увеличение числа ошибок. Известны и другие варианты построения схем обнаружителей ошибок в ПСП, но все они содержат регистр, аналогичный используемому для формирования ПСП.

В качестве примера построения ИКО-2 рассмотрим прибор, позволяющий измерять КО без перерыва связи на контрольном вы-

Рис. 4.48



ходе регенератора в аппаратуре ИКМ-30 и ИКМ-120 [7]. Прибор состоит из двух основных частей: детектора ошибок и счетно-индикационного устройства. На рис. 4.48 приведена структурная схема детектора ошибок и временные диаграммы его работы. Принцип работы детектора ошибок основан на определении числа импульсов, нарушающих структуру квазитроичного кода с ЧПИ. Квазитроичный сигнал а поступает на входное устройство ВУ, разделяющее его на однополярные последовательности импульсов (б, в). С выхода формирующих устройств ФУ1 и ФУ2 однополярные последовательности поступают на вход логических устройств И1, И2 и через одинаковые линии задержки ЛЗ1 и ЛЗ2 сигналы б' и в' поступают на триггер Тг. При правильном чередовании полярности входных импульсов квазитроичного кода триггер срабатывает от знакопеременных импульсов, формируя сигнал запрета устройствам И (г, д). При нарушении структуры кода на выходах устройств И формируются импульсы ошибок, которые объединяются устройством ИЛИ. Логическое устройство И1, на которое поступают импульсы положительной полярности (б, г), выделит ошибки, показанные на диаграмме (е), а И2 — на диаграмме (ж).

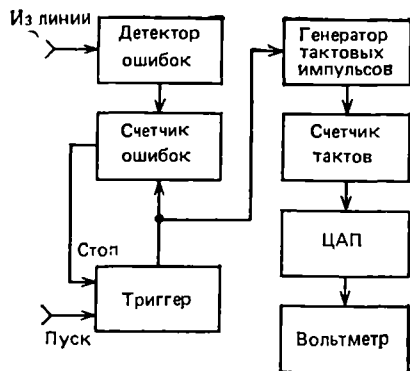


Рис. 4.49

Работа прибора в целом осуществляется следующим образом (рис. 4.49). По команде Пуск триггер перебрасывается и импульсы с выхода детектора ошибок поступают в счетчик ошибок, емкость которого рассчитана на 32 ошибки. Одновременно запускается генератор тактовых импульсов, которые подсчитываются счетчиком тактов. При заполнении счетчика ошибок вырабатывается сигнал запрета, возвращающий триггер в исходное состояние. Число тактовых импульсов N, записанных в счетчике тактов, с помощью ЦАП преобразуется в соответствующее напряжение U, измеряемое вольтметром, шкала которого проградуирована в единицах КО. Действительно, напряжение U пропорционально числу сосчитанных тактов:  $U = kN$ , где k — коэффициент пропорциональности. Число тактов  $N = Tf$ , где f — частота генератора тактовых импульсов; T — время, за которое сосчитано 32 ошибки. Тогда

$$U = kfT = kf \frac{32}{f K_{\text{ом}}} = 32 k / K_{\text{ом}}.$$

Следовательно, напряжение, измеряемое вольтметром, однозначно связано с КО, и, следовательно, его шкала может быть проградуирована в единицах КО. Пределы измерения КО составляют

$10^{-4} \dots 10^{-7}$ . Прибор рассчитан на автономное питание от батарей или от напряжения  $U = 12 \pm 2$  В.

Современным универсальным прибором, сочетающим возможности ИКО-1 и ИКО-2, является «Генератор ПСП — анализатор кодовых последовательностей ГК5-83». Этот прибор, построенный по модульному принципу, содержит микроЭВМ, которая наряду с вычислительными функциями обеспечила автоматизацию управления прибором и связь с каналом общего пользования (КОП). Прибор обеспечивает:

вычисление коэффициента ошибок с заданной методической погрешностью  $\delta$  при требуемой доверительной вероятности  $P_d$  в диапазоне значений  $10^{-2} \dots 10^{-10}$ ;

измерение коэффициента ошибок передачи блоков информации длиной  $2^m$  ( $m = 9, 10, 11$ );

измерение числа ошибок за установленный сеанс измерения, в том числе за 1 с;

измерение числа ошибок различной кратности (1, 2, 3 и больше).

Генератор ПСП вырабатывает импульсы ПСП с периодами  $2^m - 1$  ( $m = 7, 10, 15, 20, 23$ ), а также любые кодовые слова длиной 16 бит. Тактовые частоты равны: 2,048; 8,448 и 34,368 МГц. Выходные сигналы формируются в двоичных кодах RZ (return to zero) и NRZ (non return to zero) и квазитроичных кодах AMI (alternate mark inversion), в котором нули исходного сигнала передаются нулевой амплитудой, а единицы — импульсами чередующейся полярности, и HDBB (high density binary bipolar), который не содержит более трех подряд идущих нулевых символов, а также в многоуровневых кодах с числом уровней 4 или 8. В приборе предусмотрена возможность искусственного введения одного ошибочного символа в каждый период ПСП.

Анализатор позволяет обнаруживать ошибки как сравнением принимаемой ПСП с ПСП, генерируемой в анализаторе (аналогично ИКО-1), так и нарушением правил кодообразования (аналогично ИКО-2). Все параметры импульсных последовательностей строго нормированы. Наличие микроЭВМ также позволило реализовать систему тестовой и функциональной диагностики прибора.

**Измерение коэффициента ошибок по методу псевдоошибок.** Для сокращения времени измерений малых коэффициентов ошибок в настоящее время интенсивно развивается метод измерения, основанный на непосредственном определении так называемого коэффициента псевдоошибок, исходя из значения которого проводится последующий расчет КО. Суть метода заключается в создании при измерении коэффициента ошибок  $K_{ош}$  детерминированных условий, при которых вероятность ошибок значительно возрастает. Эту возросшую вероятность характеризуют вероятностью псевдоошибок  $P_{пош}$  и соответственно оценивают через коэффициент псевдоошибок  $K_{пош}$ . Такие условия можно получить, например, путем искусственного добавления шума к рабочему сигна-

лу, изменением порога срабатывания решающего устройства регенератора от оптимального значения, комбинацией обоих вариантов и другими способами. При этом, учитывая детерминированный характер вводимых изменений, можно теоретически или экспериментально устанавливать вид функциональной связи  $K_{\text{ош}} = f(K_{\text{пош}})$ , после чего, измеряя коэффициент  $K_{\text{пош}}$ , вычислять коэффициент  $K_{\text{ош}}$ . При этом вследствие того, что  $K_{\text{пош}} \gg K_{\text{ош}}$ , время измерения соответственно сокращается. Поскольку для работающей ЦСП такие изменения в канале связи недопустимы, то для практической реализации этого метода на работающей ЦСП в контролируемой точке организуется дополнительный канал обработки информации, идентичный с реальным. Например, при контроле КО на выходе решающего устройства РУ регенератора необходимо организовать параллельный канал с идентичным РУ. На рис. 4.50 показан пример с введением дополнительного шума ( $U_{\text{ш}}$ ) в канал с двухпороговым ПУ, пороги которого  $+U_{\text{п}}$  и  $-U_{\text{п}}$  могут регулироваться.

Статистическая связь между вероятностью ошибок и вероятностью псевдоошибок часто определяется уравнением

$$\lg P_{\text{пош}} = a \lg P_{\text{ош}} + b,$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты, значения которых для конкретных условий могут быть определены теоретически или экспериментально. Для экспериментального определения этих коэффициентов необходимо произвести  $n$  одновременных измерений коэффициентов  $K_{\text{ош } i}$  (на выходе рабочего канала) и  $K_{\text{пош } i}$  (на выходе дополнительного канала), где  $i = 1 \dots n$ . При этом каждый раз необходимо считать число ошибок  $N_{\text{ош } i}$ , псевдоошибок  $N_{\text{пош } i}$  и время измерения  $T_i$ , что позволяет определять число переданных элементов сигнала  $N_i$ . Значение коэффициентов можно рассчитать по методу наименьших квадратов:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) y_i}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

$$a = \bar{y} - a\bar{x},$$

где  $i = 1 \dots n$  — номер измерения;  $\bar{x} = \sum x_i / n$ ;  $\bar{y} = \sum y_i / n$ ;  $x_i = \lg K_{\text{ош } i} = \lg(N_{\text{ош } i} / N_i)$ ;  $y_i = \lg K_{\text{пош } i} = \lg(N_{\text{пош } i} / N_i)$ ;  $N_{\text{ош } i}$  — число ошибок;  $N_{\text{пош } i}$  — число псевдоошибок;  $N_i = VT_i$  — число переданных элементов;  $V$  — скорость передачи;  $T_i$  — время измерения.

Определив эти коэффициенты для некоторой совокупности значений  $K_{\text{ош } i}$ , имеющих место в линии, полученную зависимость экстраполируют на другие значения. В дальнейшем для оперативного контроля коэффициента ошибок  $K_{\text{ош}}$  в ЦСП производят измерение коэффициента псевдоошибок  $K_{\text{пош}}$  и затем вычисляют  $K_{\text{ош}}$ :

$$K_{\text{ош}} = 10(\lg K_{\text{пош}} - b) / a.$$

Упрощенная структурная схема прибора для определения КО по

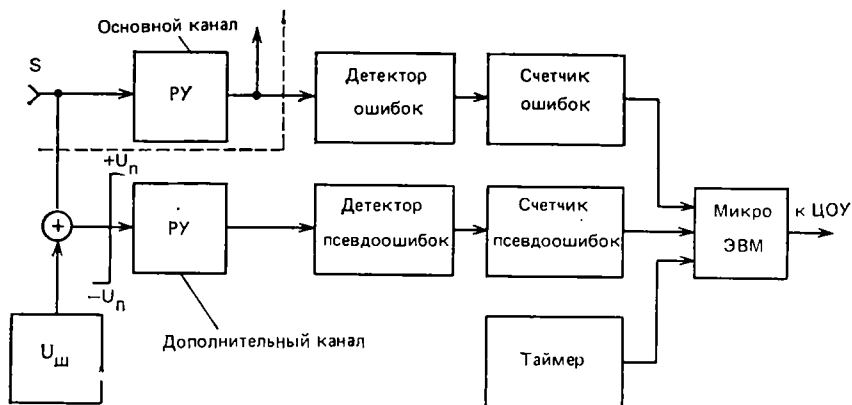


Рис. 4.50

рассмотренному методу псевдоошибок приведена на рис. 4.50. Схема содержит детекторы и счетчики ошибок и псевдоошибок, таймер, который позволяет регистрировать время измерения, и ЭВМ, которая может выполнять все функции вычисления КО по приведенным формулам, в том числе и вычисление коэффициентов  $a$  и  $b$ . Заметим, что детектор ошибок, выполненный аналогично детектору ошибок ИКО-2, а также счетчик ошибок, необходимы только на этапе определения коэффициентов  $a$  и  $b$  зависимости между  $K_{ош}$  и  $K_{пош}$ . Если же коэффициенты  $a$  и  $b$  известны (например, из теоретических соображений), то они могут просто вводиться в микроЭВМ и прибор упрощается. Детектор псевдоошибок также может быть выполнен аналогично детектору ИКО-2, но значительно проще его выполнить на основе сравнения сигналов из обоих каналов: основного и дополнительного. Это объясняется тем, что псевдоошибки имеют частоту на несколько порядков большую, чем ошибки в основном канале, так что последними при измерении коэффициентов  $K_{пош}$  можно практически пренебречь.

Применение метода псевдоошибок позволяет на несколько порядков сокращать время измерения и тем самым обеспечивать оперативный контроль качества ЦСП. Очевидно при этом, что чем больше изменения параметров произведены в дополнительном канале (например, больше отклонение порога РУ от оптимального значения), тем больше будет коэффициент  $K_{пош}$  и меньше время измерения. Это показано на рис. 4.51, где приведены зависимости  $K_{пош}$  от  $K_{ош}$  (для зависимости  $b$  имеет место большее изменение параметров дополнительного канала). Однако при переходе от режима  $a$  к режиму  $b$ , одновременно с уменьшением требуемого времени измерения падает чувствительность метода. Это видно из рисунка, так как при одном и том же изменении  $\Delta$  КО в основном канале изменение коэффициента псевдоошибок для режима  $a$  ( $\Delta_a$ ) значительно больше, чем для режима  $b$  ( $\Delta_b$ ),



соответственно падает точность метода. В связи с этим при выборе режима необходимо искать компромисс между точностью и скоростью измерения.

**Измерение фазового дрожания.** Как уже отмечалось, фазовое дрожание является важным параметром, определяющим на вероятность ошибок ЦСП. Возникнове-

ние фазового дрожания сигнала регенератора обусловлено тем, что сам хронящий сигнал, задающий моменты отсчета в решающем устройстве регенератора, вырабатывается из приходящего сигнала, и поэтому его параметры зависят от структуры сигнала, его искажений, шумов и помех, а также инструментальных погрешностей отдельных узлов регенератора. Все это приводит к случайным изменениям периода хронящего сигнала около своего номинального значения, а соответственно ведет и к дрожанию выходного сигнала регенератора. Благодаря узкой полосе пропускания резонансного контура, используемого для выделения тактовой частоты хронящего сигнала, в регенераторе происходит подавление высокочастотных ( $>10$  кГц) составляющих фазового дрожания. В то же время низкочастотные составляющие ( $<10$  кГц) в процессе многократной регенерации накапливаются. В качестве основных характеристик фазового дрожания обычно используют его среднее квадратическое и пиковое значения, полагая закон распределения нормальным.

Известны различные методы измерения фазового дрожания. Ранее было показано, что оно может быть измерено осциллографическим методом по глаз-диаграмме. В целом сложность решения задачи измерения фазового дрожания существенно зависит от наличия или отсутствия в месте измерения опорного хронящего сигнала тактовой частоты, относительно которого и измеряется фазовое дрожание. При его наличии решение задачи существенно упрощается. При его отсутствии опорный сигнал формируют из самого исследуемого сигнала. Для этого может использоваться принцип выделения тактовой частоты, применяемый в регенераторах. Однако чаще используются автономные генераторы тактовой частоты с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ) на основе информации, извлекаемой из исследуемого сигнала. По методу измерения фазового дрожания можно выделить метод с использованием фазового детектора (ФД) и метод, основанный на преобразовании фазового сдвига в импульсы напряжения с амплитудой, пропорциональной этому сдвигу.

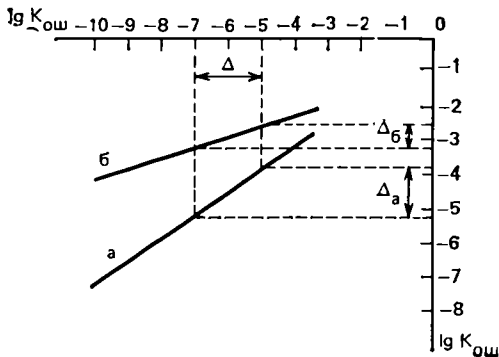


Рис. 4.51

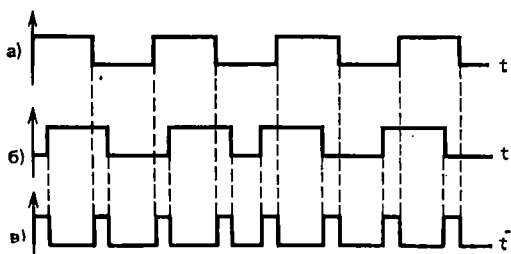
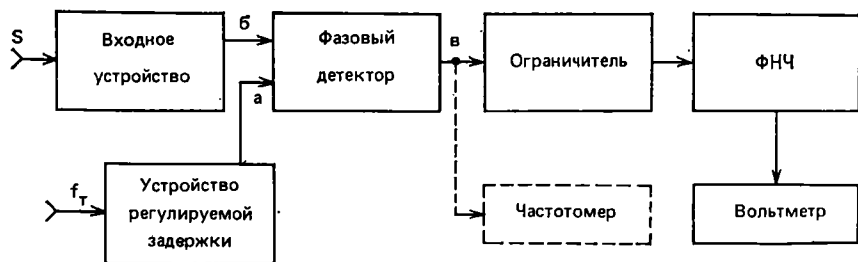


Рис. 4.52

На рис. 4.52 приведена структурная схема прибора с использованием внешнего опорного сигнала тактовой частоты  $f_T$ , выполненная на фазовом детекторе. В качестве фазового детектора используется логический сумматор по модулю два (устройство исключающего ИЛИ). Исследуемый сигнал  $S$  через входное устройство, а опорный сигнал через устройство регулируемой задержки поступают на фазовый детектор, с выхода которого получаем импульсную последовательность с длительностью импульсов, пропорциональной относительным фазовым сдвигам обоих сигналов. Постоянная составляющая, выделяемая фильтром нижних частот ФНЧ, после стабилизации амплитуды импульсов в ограничителе измеряется вольтметром постоянного тока. Показания вольтметра пропорциональны среднему значению фазового дрожания.

Наряду с вольтметром для измерения среднего значения фазового дрожания можно использовать быстродействующие цифровые измерители временных интервалов (ЦИВИ), в частности цифровые частотомеры (на рис. 4.52 показано штриховой) в режиме измерения длительности импульсов с усреднением за  $n$  импульсов. При погрешности дискретизации  $\pm 100$  нс и  $n=10^4$  результирующая погрешность из-за дискретизации уменьшается в  $\sqrt{n}=100$  раз, т. е. до  $\pm 1$  нс.

Устройство регулируемой задержки позволяет компенсировать постоянную составляющую фазового дрожания. Критерием его настройки является минимум показаний вольтметра. В этом случае показания будут пропорциональны среднему значению модуля фазового дрожания, т. е. среднему арифметическому значению  $E$  случайной величины фазового дрожания. Для нормального за-

кона распределения фазового дрожания его среднее квадратическое значение  $\sigma = E\sqrt{\pi/2}$ , так что шкала вольтметра (ЦИВИ) может быть проградуирована непосредственно в средних квадратических значениях фазового дрожания.

Для калибровки прибора следует подать на оба входа опорный сигнал и, установив определенное время задержки, регулировкой уровня ограничения добиться нулевых показаний вольтметра.

Возможны и другие способы измерения среднего квадратического значения фазового дрожания, основанные на предварительном преобразовании длительности импульсов с ФД в пропорциональное напряжение, которое может быть усилено. При его измерении квадратичным вольтметром получим среднее квадратическое значение фазового дрожания, а при измерении пиковым вольтметром — пиковое значение.

На рис. 4.53 приведена структурная схема, в которой имеется внутренний генератор опорного сигнала с ФАПЧ, управляемый напряжением, поступающим с выхода фазового детектора через узкополосный ( $f_{\text{р}} < 10$  Гц) ФНЧ. В этом случае фазовый детектор усложняется, так как для работы ФАПЧ генератора необходимо обеспечить на его выходе разную полярность импульсов в зависимости от знака фазового сдвига.

Такой фазовый детектор может быть построен, например, на основе D-триггеров, устройств исключающего ИЛИ (-1) и суммирующего операционного усилителя, как показано на рис. 4.54. Фазовая автоподстройка частоты позволяет автоматически компенсировать постоянную составляющую фазового дрожания на выходе фазового детектора. При этом, поскольку импульсы на выходе последнего в отличие от предыдущего случая разнополярные, то перед ограничителем включен выпрямитель.

Для калибровки прибора необходимо разомкнуть цепь управления ФАПЧ генератора и его сигнал через устройство с известным временем задержки подать и на сигнальный вход (на рис. 4.53 не показано). Затем, регулируя, например, уровень огра-

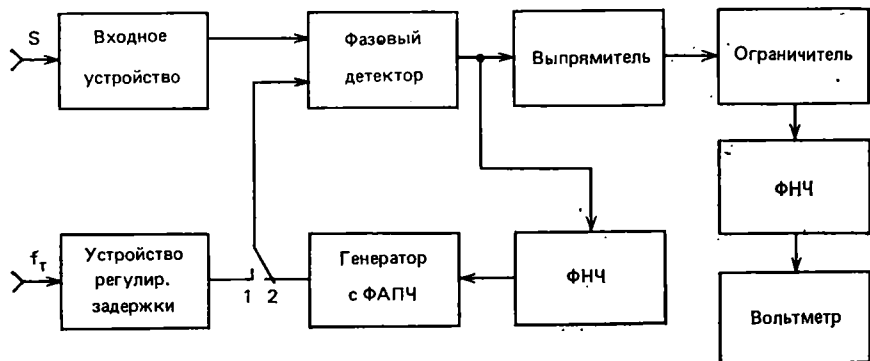


Рис. 4.53

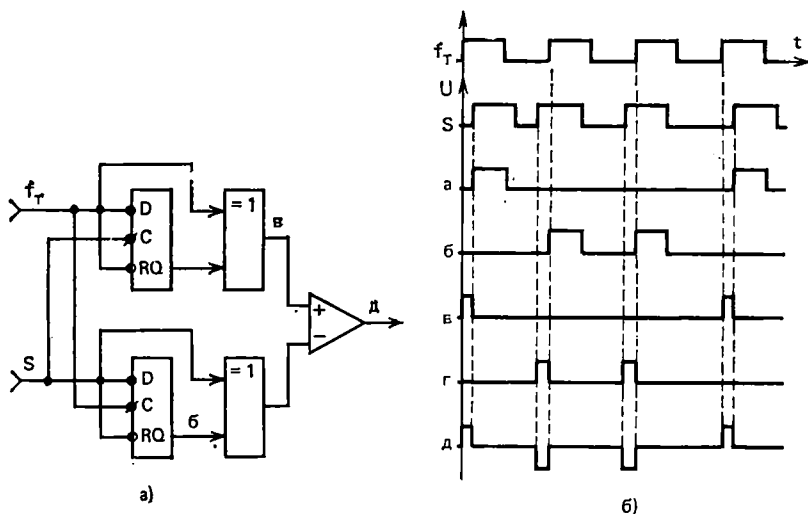
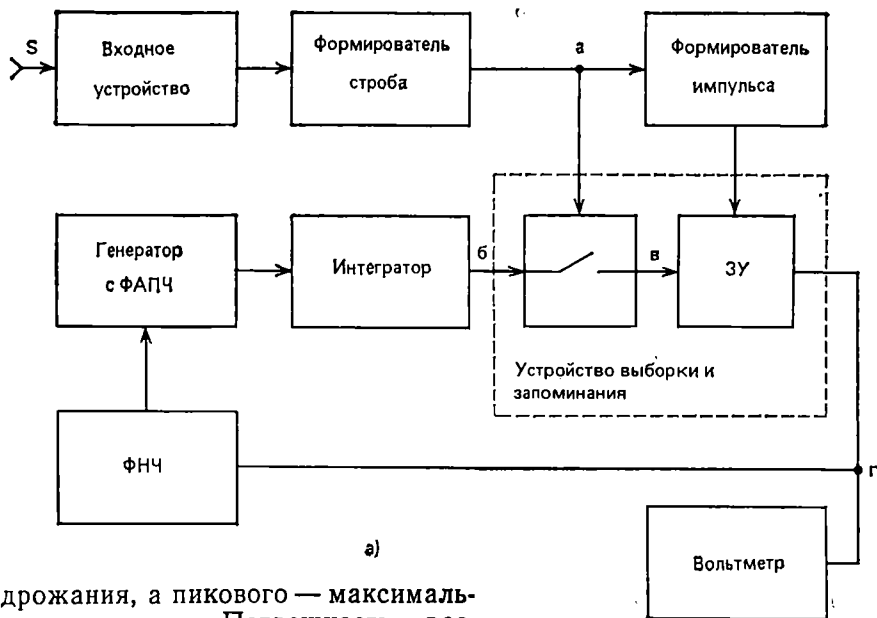


Рис. 4.54

ничения, добиться показаний, соответствующих введенной задержке. При использовании внешнего опорного сигнала в данном устройстве возникает возможность осуществить автоматическую компенсацию постоянной составляющей фазового дрожания автоматическим управлением регулируемой задержкой с помощью сигнала с выхода ФНЧ.

Обычно фазовое дрожание отдельного регенератора очень мало, и поэтому для целей измерения его необходимо преобразовать в изменения амплитуды напряжения, которое можно усилить. Структурная схема такого прибора приведена на рис. 4.55. Для указанного преобразования исследуемый сигнал  $S$  через входное устройство поступает на формирователь строга, который в момент прихода фронтов импульсов формирует короткие стробы, замыкающие ключ. На сигнальный вход ключа поступает напряжение треугольной формы, получаемое из напряжения генератора опорного сигнала с ФАПЧ с помощью интегратора. В результате на выходе ключа образуются короткие импульсы, модулированные по амплитуде. При отсутствии фазового сдвига их амплитуда равна нулю, а при его наличии — пропорциональна фазовому сдвигу и имеет знак, определяемый направлением сдвига. Эти импульсы расширяются в аналоговом запоминающем устройстве ЗУ на время  $T/4$ , определяемое длительностью импульса с формирователя импульсов. Таким образом, ключ и запоминающее устройство образуют аналоговое устройство выборки и запоминания, с выхода которого получаем импульсы постоянной длительности, с амплитудой, пропорциональной фазовому сдвигу, и знаком, определяемым направлением фазового сдвига. Показания квадратичного вольтметра будут определять среднее квадратическое значение фазового



дрожания, а пикового — максимальное значение. Погрешность рассмотренных устройств определяется инструментальными погрешностями основных преобразователей и сильно зависит от частоты сигнала, так как с ее увеличением временные сдвиги, соответствующие одному и тому же фазовому дрожанию, пропорционально сокращаются. Поскольку фазовое дрожание зависит от структуры сигнала, то при использовании тестовых сигналов для уменьшения методической погрешности измерения необходимо применять псевдослучайные последовательности.

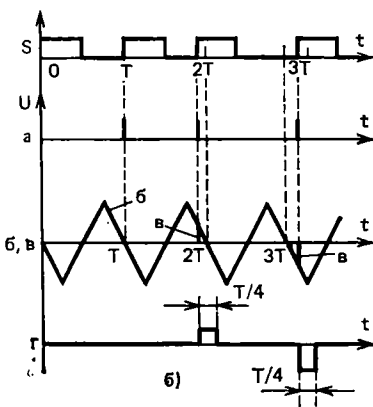


Рис. 4.55

#### 4.8. ИЗМЕРЕНИЯ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

В оптической связи в качестве носителя информации используется свет. Возможна проводная и беспроводная оптическая связь. Основным направлением оптической связи является волоконно-оптическая. В общем виде ВОСП состоит из источника электрического сигнала, модулятора, источника света, ретранслятора, демодулятора, соединенных оптической линией (волоконно-оптический кабель). Электрический сигнал модулирует световой поток.

В качестве источника света применяют либо когерентный (лазер), либо некогерентный источник. На приемном конце сигнал демодулируется с помощью оптического детектора, в качестве которого наиболее часто применяются р-і-п фотодиоды и лавинные фотодиоды кремниевой группы (диапазон волн 0,8...0,9 мкм), а также германиевой группы (1...2 мкм). При передаче на большие расстояния, когда отношение сигнал-шум на входе приемника оказывается недостаточным, в тракт передачи сигнала включают ретрансляторы. Передаваемые сигналы обычно представляют собой световые импульсы. При этом применяется два вида модуляции: аналоговая, при которой информация передается за счет амплитудной модуляции импульсов, их длительности или положения; и цифровая, при которой информация кодируется комбинацией группы импульсов. При использовании элементов тракта с линейными характеристиками можно передавать оптический сигнал с непрерывным излучением и аналоговой модуляцией.

Оценка качества работы ВОСП в принципе не отличается от рассмотренных ранее. Например, коэффициент ошибок может быть оценен так же, как описано в разделе об измерениях в ЦСП. Это же относится и к остальным характеристикам, описывающим систему передачи в целом. Специфическими особенностями ВОСП обязана свойствам оптического волновода (волокна).

Основные трудности оценки параметров оптического волокна связаны с тем, что дефекты, вызывающие отклонение параметров от номинальных значений, распределены по всей длине волновода. Реальные геометрические размеры и профиль показателя преломления могут изменяться по длине, причем дефекты могут быть локализованными или распределенными. Сам материал волокна поглощает свет, что приводит к уменьшению энергии полей, причем неодинаковому в сердцевине и оболочке, в связи с чем возникают дополнительные искажения. Различные неоднородности вызывает обмен энергией между направлениями распространения света — это явление называется *взаимодействием мод*. Пространственное распределение энергии зависит от потерь и начальных условий ввода и стремится к равновесному гауссовскому распределению. Существуют и другие причины потерь: изогнутость волокна, рассеяние в волокне на микротрещинах или пузырьках, микроизгибы на поверхности волокна. Такие неоднородности, как правило, приводят к возникновению взаимодействия между модами распространения и тем самым увеличивают километрическое затухание. В настоящее время нет установившейся системы параметров, рекомендованных организациями (МККТТ, МККР) для однозначного описания качества волокна. Поэтому, прежде чем рассматривать вопросы измерений, необходимо условиться о классификации, упорядочивающей многочисленные параметры, которые характеризуют разные свойства волоконно-оптических линий передачи. Возможная классификация, не претендующая на универсальность, но методически оправданная, приводится в [18]. В соответствии с ней параметры волоконно-оптических световодов

делятся на: 1) на конструктивные параметры: геометрические (продольные и поперечные) и оптические; 2) параметры распространения излучения.

Основными непосредственно измеряемыми *поперечными* параметрами являются: средний диаметр оболочки; средний диаметр сердцевины; некоаксиальность сердцевины относительно оболочки.

Измеряемые *продольные* параметры: длина волокна; расстояние до места повреждения.

Измеряемые *оптические* параметры:

1. Профиль показателя преломления (ППП), под которым понимается:  $\delta n(r) = n(r) / n(r)_{\max}$ , где  $n(r)$  — зависимость показателя преломления в поперечном сечении световода от расстояния до его оси (распределение показателя преломления),  $n(r)_{\max}$  — наибольший по сечению показатель преломления.

2. Числовая апертура, под которой понимают  $NA = n_0 \sin \theta_c$ , где  $\theta_c$  — максимальное значение угла, за пределами которого постоянное распространение меньше критического значения и распространение света в волокне становится невозможным;  $n_0$  — показатель преломления сердцевины. В случае оптического волокна со скачкообразным изменением показателя преломления числовой апертурой определяется максимальный угол ввода в волокно луча.

Измеряемым параметром затухания является показатель потерь  $\mu$ , характеризующий полное ослабление излучения в световоде, а параметром широкополосности является полная дисперсия либо полоса пропускания, связанные отношением  $B = (\hat{\tau})^{-1}$ , где  $B$  — полоса пропускания световода;  $\hat{\tau}$  — полная дисперсия, причем  $\hat{\tau} = \sqrt{\tau_m^2 + (\tau_n + \tau_v)^2} = \sqrt{\tau_m^2 + \tau_c^2}$ . Здесь:  $\tau_m$  — модовая дисперсия, возникающая из-за различия времени задержки распространяющихся по волноводу мод;  $\tau_c$  — дисперсия групповой задержки, зависящая от длины волокна и называемая хроматической;  $\tau_n$  — дисперсия материала волокна, обусловленная изменением показателя преломления с длиной волны;  $\tau_v$  — волноводная (структурная) дисперсия, т. е. дисперсия групповой задержки, появляющаяся даже при отсутствии зависимости показателя преломления от длины волны и обусловленная влиянием геометрической структуры волоконного световода. Перечисленные параметры характеризуют только оптический волновод, который являясь частью системы передачи информации, не может определять свойства системы в целом. Практика оптической информации нуждается в создании и метрологическом обеспечении системы измерений и испытаний в процессе разработки, производства и эксплуатации как системы в целом, так и их основных узлов и элементов.

Применительно к системе связи в [19] предлагаются основные параметры оптического сигнала, подлежащие измерению при оценке эксплуатационных качеств: 1. Максимальная и средняя

мощности немодулированного импульсного лазерного излучения в данном сечении волоконного световода. 2. Уширение импульса — изменение формы сигнала, вызванное межмодовой дисперсией и дисперсией материала волоконного световода. 3. Коэффициент отражения в данном сечении линии — отношение мощности отраженного сигнала, который распространяется в передающей линии в обратном направлении (от приемного конца к передающему), к мощности сигнала, распространяющегося в прямом направлении. 5. Потери оптической мощности — отношение мощностей передаваемого и принимаемого сигналов, определяемое затуханием в световоде и различными потерями в устройствах ввода, местах сращивания, ответвителях и в других элементах линии. 6. Отношение сигнал-шум — отношение мощности полезного сигнала к суммарной мощности всех шумов в канале.

Отдельные компоненты системы также нуждаются в измерениях технических характеристик. Если выше говорилось о характеристиках волоконных световодов, то необходимо также характеризовать технико-эксплуатационные характеристики источников, приемников и ретрансляторов сигналов. Требуется измерение параметров выходного излучения лазера как источника сигнала. Сюда относятся средняя и максимальная мощности, параметры импульса (длительность, фронт, срез), расходимость пучка или распределение интенсивности в его поперечном сечении, иногда спектральный состав излучения. Для приемника требуется определение рабочего диапазона по интенсивности (коэффициента преобразования и пределов характеристики преобразования), динамических свойств (постоянной времени нарастания сигнала, переходной или импульсной характеристики, длительности нарастания или спада переходной характеристики), спектральной чувствительности, равномерности чувствительности по рабочей площади приемной поверхности. В ретрансляторах необходимо измерение коэффициента усиления по мощности, спектральной чувствительности. Перечисленные характеристики и параметры не являются ни универсальными, ни исчерпывающими, а в основном отражают уровень результатов исследований. В силу сравнительной новизны этих вопросов вероятно появление как новых концепций, так и рекомендаций по оценке технико-эксплуатационных параметров. Говоря о параметрах, измеряемых для определения качества работы системы, качества передачи оптического сигнала по волоконно-оптическому каналу, необходимо различать технологические параметры кабеля, которые контролирует и должен обеспечить его изготовитель, и параметры, которые необходимо измерять «потребителю» кабеля, т. е. тому, кто строит или эксплуатирует ВОСП. Ниже рассмотрены методы и приборы для измерения последних.



## 4.9. ИЗМЕРЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

К таким параметрам относятся прежде всего длина оптического волокна и расстояние до места повреждения на линии.

*Метод рассеяния* основан на эффекте увеличения рассеяния излучения в местах неоднородности физических или геометрических параметров по длине волокна, т. е. практически в местах повреждений. Наглядным является визуальный контроль мест повреждения. Для этого используют видимое излучение гелий-неонового лазера ( $\lambda=0,63$  мкм), и в местах повреждений наблюдается свечение материала. Для исследования зависимости интенсивности излучения через боковую поверхность по всей длине оптического волокна используют установку, показанную на рис. 4.56. Генерируемый лазером 1 и промодулированный в модуляторе 2 поток через оптический фильтр 3 и фокусирующую оптику 4 поступает в волокно 6. Волокно пропускается через специальную короткую измерительную камеру 8, в которой оно проходит между зеркалом 9 и фотоприемником 7. Весь объем камеры и прилегающие к ней кюветы длиной около 20 см (длина камеры примерно 2 см) заполняют иммерсионной жидкостью 5 для вывода излучения оболочечных мод. Измерение сводится к определению характера распределения интенсивности излучения вдоль волокна при протягивании его через камеру, что позволяет сделать заключение о наличии и величине дефектов. Метод находит применение при исследовании оптического волокна и не может быть использован при измерениях на кабеле. На его основе созданы и используются приборы для оперативной дефектоскопии, позволяющие идентифицировать повреждения световодов путем регистрации дополнительно возникающего рассеянного излучения световода при его изгибе. Реально при отсутствии фонового излучения прибор позволяет определять дефект на расстоянии 7...9 км от начала линии, если потери составляют 20...50 дБ при удельном затухании около 2,7 дБ/км.

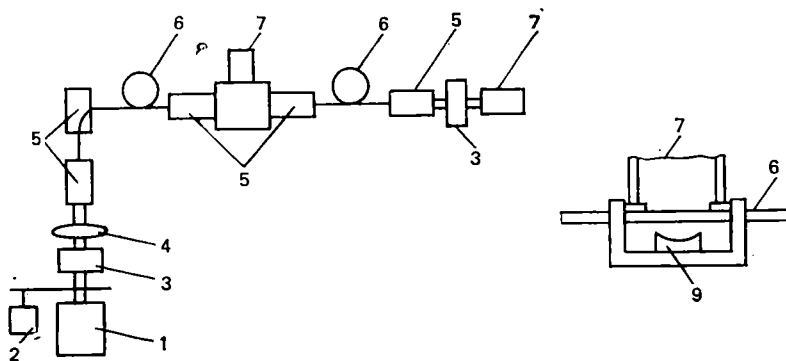


Рис. 4.56

Метод обратного рассеяния основан на механизме возникновения обратного рэлеевского рассеяния в материале волокна вследствие флуктуаций показателя преломления (флуктуации плотности материала и концентрации легирующих примесей) на размерах, не превышающих длину волны излучения. Рассеяние света в соответствии с законом Рэлея обусловлено поглощением, которое уменьшается с увеличением длины волны пропорционально  $\lambda^{-4}$ . Часть рассеянного в волноводном световоде излучения анализируется по нему в обратном направлении и содержит информацию о значении и стабильности параметров волоконного световода по длине. Для реализации этого метода на одном конце оптического волновода вводят короткий и мощный импульс и затем на этом же конце наблюдают сигнал, отраженный разными рассеивающими центрами. Схема установки показана на рис. 4.57,а. От лазерного диода 1 сигнал через направленный ответвитель 2 и оптический разъемный соединитель 3 вводят в исследуемый световод 4. Отраженная мощность через тот же ответвитель 2 поступает на фотоприемник 5, и от него электрический сигнал поступает на устройство индикации 6 (обычно осциллограф). Устройство управления 7 задает частоту зондирующих импульсов и синхронизирует осциллограф 6. Анализируется зависимость мощности обратного рассеяния от длины волокна (или времени задержки сигнала), а также местоположение и характер неоднородности по осциллограмме.

Пример сигнала обратного рассеяния приведен на рис. 4.57,б. На этой осциллограмме можно выделить характерные области: 1 — сигнал, отраженный от входного торца волокна, 2 — отраженный от выходного торца (конец линии), 3 — отраженный от точечного дефекта в волокне, 4 — зона с повышенным ослаблением. Метод обратного рассеяния применяется для диагностики волоконных световодов и кабелей, а приборы на его основе получили название оптических рефлектометров во временной области. Отмечается, что сигнал обратного рассеяния зависит от всех физических и геометрических параметров волоконного световода, а их изменения по-разному влияют на уровень обратного рассеяния мощности [19]. Наибольшее влияние на сигнал обратного рассеяния оказывают вариации числовой апертуры по длине волокна и изменение диаметра сердцевины волоконного све-

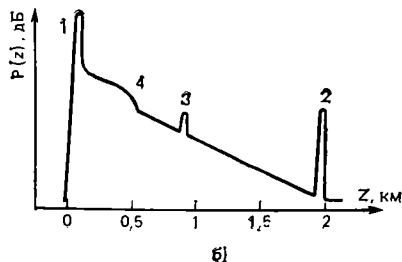
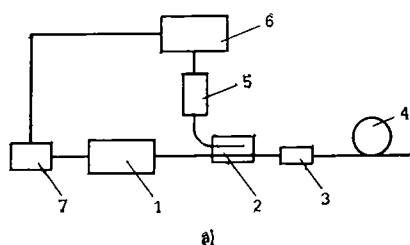


Рис. 4.57

товода. Анализ амплитудно-временных характеристик рефлектограммы позволяет выявлять различные характеристики световода. По виду рефлектограммы можно судить об уровнях отклонения от номинального диаметра сердцевины по длине волоконного световода, так как мощность сигнала, рассеянного участками волоконного световода с различным сечением, пропорциональна отношению площадей в начале световода и в данном участке, т. е. пропорциональна отношению квадратов диаметров этих сечений. Измеряемые характеристики волоконного световода зависят от модового состава распространяющегося в них излучения. Поэтому нужно учитывать, что только для ступенчатых волоконных световодов модовый состав и распределение мощности обратного рассеяния по модам практически не зависят от модового состава излучения в прямом направлении, что несправедливо для градиентных волокон. Современные приборы не реализуют потенциальных возможностей метода обратного рассеяния, что связано с недостаточной развитыми методами и аппаратурными решениями для анализа рефлектограмм. Недостатком рассматриваемого метода является низкий уровень отраженного сигнала по сравнению с входным (около 40 дБ), уменьшение мощности отраженного сигнала на входном соединителе (можно уменьшить, применяя иммерсирование<sup>1</sup>) и высокий уровень шума фотоприемника в сравнении со слабым полезным сигналом.

*Локационный метод* определения расстояния до места повреждения основан на возникновении в месте обрыва френелевского отражения. Короткие импульсы излучения лазерного диода через направленный ответвитель вводят в световод подобно рефлектометру, изображенному на рис. 4.57. Импульс, отраженный от входного торца световода, служит опорным (реперным), а интервальный, которым служит отраженный, задержан на время  $t_3$ , которое определяется расстоянием  $L$  до места повреждения соотношением  $L = t_3 v / 2n_c$ , где  $n_c$  — показатель преломления сердцевины. Для нахождения расстояния необходимо точно измерить  $t_3$ . Для этого используют либо прямое измерение временного интервала  $t_3$ , либо подстройку частоты повторения импульсов от источника так, чтобы какой-либо отраженный последующий импульс совпал по времени с отраженным от повреждения — тогда для определения  $t_3$  достаточно измерить частоту, а по ней определить период сигнала.

Структурная схема возможного измерителя представлена на рис. 4.58. Источником излучения оптических импульсов ( $\lambda = 0,85$  мкм,  $\tau = 10^{-8}$  с) служит полупроводниковый лазер 9, управляемый модулятором 8. Оптический импульс вводится в оптический разветвитель 10, который предназначен для пространственного разделения оптических сигналов: зондирующих импульсов,

---

<sup>1</sup> Использование специальных жидкостей для выравнивания показателей преломления,

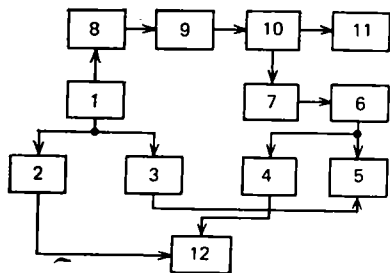


Рис. 4.58

вводимых в оптический кабель, и импульсов, отраженных от места повреждения и направляемых на фотодетектор 7. Оптический кабель присоединяется к прибору с помощью устройства сопряжения 11. С выхода фотодетектора 7 электрический сигнал, соответствующий отраженному оптическому, поступает через широкополосный усилитель 6 на блок поиска 4, а с его выхода — на блок цифрового отсчета времени запаздывания 12. На второй вход блока через первую линию задержки 2 от задающего генератора 1 поступает опорный импульс. От этого же задающего генератора подаются импульсы и на модулятор 8. В установке предусмотрена осциллографическая индикация отраженного сигнала — на экране осциллографа 5. Для исследования волокон большой длины, а также для наблюдения за импульсами, отраженными от соединений и выходного торца, предусмотрена вторая линия задержки 3 с переменной задержкой. На ее вход подаются импульсы с задающего генератора, а с ее выхода — на вход устройства синхронизации осциллографа 5. Блок цифрового отсчета 12 предназначен для отсчета времени появления первого отраженного импульса. Отраженный импульс может поступать от нескольких мест повреждений волокна или от соединителей. Это может привести к сбою отсчета и неопределенности показаний. Блок поиска позволяет последовательно измерять время появления отраженного импульса от каждой неоднородности. Точность определения места повреждения прибором зависит от длительности зондирующего импульса, быстродействия фотодетектора и блока цифрового отсчета, а также полосы пропускания волокна. При применении полупроводникового лазера, излучающего импульсы мощностью около 80 мВт, и коэффициента затухания около 10 дБ/км удастся испытывать кабели длиной до 2 км. Экспериментальный прибор обеспечил погрешность отсчета места повреждения примерно  $\pm 1$  м.

Основная погрешность метода помимо погрешности средства измерения включает следующие дополнительные погрешности: погрешность за счет определения показателя преломления центральной жилы и его вариации по длине волокна, искажение формы распространяющихся по волокну оптических импульсов. Разрешающая способность  $\Delta L$ , т. е. минимальное расстояние между повреждениями, регистрируемое прибором, определяется системой регистрации и длительностью оптического импульса. В основу МО таких средств измерений могут быть положены современные методы измерений временных параметров мощности импульсного излучения малых уровней. Для исключения влияния на результаты неинформативных параметров и неучтенных фак-

торов целесообразно для метрологической аттестации и проверок использовать специально подготовленные волоконные световоды как меры длины (задержки).

#### 4.10. ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Измеряемыми оптическими параметрами являются профиль показателя преломления и числовая апертура. Распределение показателя преломления по оптическому волокну является определяющим для системы связи. Чем ближе профиль показателя преломления световода к идеальному, тем выше пропускная способность системы. При идеальном профиле ширина полосы многомодовых волоконных световодов может достигать теоретического предела примерно 10 ГГц на километр, а для одномодовых —  $10^3$  ГГц·км. Это объясняется тем, что в многомодовых световодах профиль показателя преломления определяет межмодовую дисперсию, а в одномодовых при правильном выборе профиля волноводная дисперсия может частично скомпенсировать хроматическую.

Световод состоит из сердцевинки радиуса  $a$  и оболочки, показатель преломления которой меньше, чем у сердцевинки. У многомодовых  $a \approx 20 \dots 150$  мкм, у одномодовых  $a \approx 1,5 \dots 8$  мкм. В зависимости от формы профиля показателя преломления сердцевинки различают световоды со ступенчатым изменением показателя преломления и градиентные, у которых показатель преломления меняется плавно. У первых сердцевинка характеризуется постоянным вдоль радиуса показателем преломления  $n_c = n_n(1 + \Delta)$ , где  $n_c$  — показатель преломления материала оболочки;  $n_n$  — показатель преломления материала оболочки;  $\Delta = (n_c^2 - n_n^2) / 2n_c^2 \approx (n_c - n_n) / n_c$ ;  $\Delta \ll 1$ . В градиентных волокнах показатель преломления сердцевинки меняется вдоль радиуса по степенному закону  $n(r) = n_c [1 - \Delta(r/a)^g]$ , где  $r$  — расстояние от оси сердцевинки;  $g \approx 2$  (параболический профиль) для обеспечения максимальной полосы пропускания световода;  $\Delta$  — в пределах 0,01 ... 0,02;  $n_c \approx 1,5$ .

При плавном изменении показателя преломления вдоль радиуса волокна выравниваются оптические длины путей различных распространяющихся мод, что уменьшает искажения импульсов, обусловленных межмодовой дисперсией. При этом достигается большая ширина полосы пропускания, чем в многомодовых со ступенчатым профилем, однако чем больше полоса, тем с большей точностью (погрешность порядка 1%) [19] необходимо выдерживать постоянство значения  $g$  вдоль радиуса волновода. Как для многомодовых, так и для одномодовых световодов можно считать, что определены все оптические характеристики (кроме затухания), если известны профиль показателя преломления как функции координат  $r$ ,  $\varphi$ ,  $z$ , которые показаны на рис. 4.59,а, и длины волны  $\lambda$ . Реально получаемый в волокне профиль показателя преломления меняется по длине кабеля (координата  $z$ ) и зависит от длины волны  $\lambda$ . Изменения показателя преломления

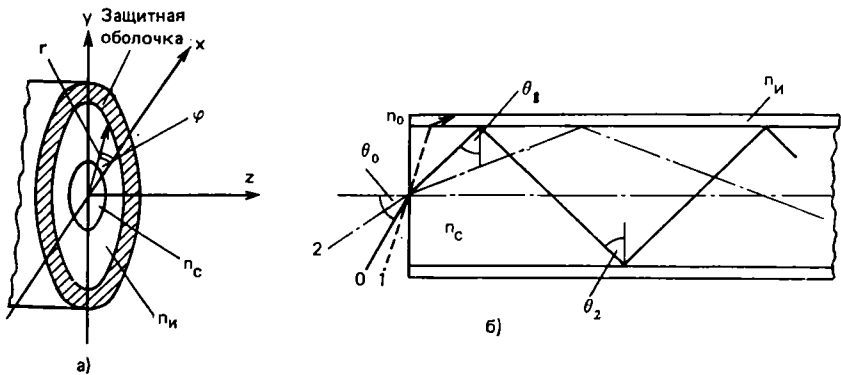


Рис. 4.59

по этой координате вызваны неидеальностями световода технологического происхождения (эллиптичность или непостоянство диаметра сердцевинки, деформации в виде изгибов). Это обуславливает связь направленных мод в многомодовом световоде и вызывает потери на излучение как в много-, так и в одномодовом световодах. Изменение профиля показателя преломления от длины волны приводит к искажению переносимых направленными модами импульсов. Разработаны методы измерения профиля показателя преломления, которые можно разделить на две группы: оптические методы и методы структурного анализа легирующих присадок. Измерение профиля показателя преломления одномодовых волокон является сложной задачей. Это обусловлено малыми размерами сердцевинки и незначительным различием показателя преломления. Поэтому один и тот же метод неодинаково эффективен для измерения многомодовых и одномодовых волокон.

Важным свойством волоконных световодов является способность обеспечивать распространение потоков излучения, входящих под максимально большим углом к его продольной осп. Оно описывается апертурой — углом между оптической осью (продольной осью сердцевинки и образующей светового конуса, попадающего на торец волоконного световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения). Расчет номинальной числовой апертуры  $NA_0$  для прозрачных прямых многомодовых световодов со ступенчатым профилем показателя преломления, без учета лучей, уходящих через оболочку световода, можно вести по формуле [19]  $NA_0 = n_0 \sin \theta_0 = \sqrt{n_c^2 - n_n^2}$ , где  $\theta_0$  — номинальный апертурный угол (предельный угол падения луча) у входного торца, при котором для меридианальных лучей еще выполняется условие полного внутреннего отражения от цилиндрической поверхности внутри световода (рис. 4.59,б);  $n_0$  — показатель преломления окружающей среды (для воздуха  $n_0 = 1$ );  $n_c$  и  $n_n$  — показатели преломления для оси сердцевинки и оболочки

соответственно;  $\theta_1 = \theta_2$  — углы, образуемые лучом 0 внутри световода с плоскостью, перпендикулярной оси. Анализ на основе геометрической оптики показывает, что числовая апертура для изогнутого световода меньше, чем для прямого, и это отличие тем сильнее, чем больше величина  $D/R$  ( $D$  — диаметр сердцевины,  $R$  — радиус изгиба). На практике  $D/R \ll 1$  и уменьшение числовой апертуры составляет единицы процентов. Аналогичное действие оказывает сужение и скос входного торца световода [19]. На практике  $n_c - n_n \leq 0,01 \dots 0,02$  и числовая апертура будет равна  $\sin \theta_{\max}$ . Таким образом, понятие числовой апертуры как максимального угла ввода излучения может быть использовано для описания эффективности сбора излучения световодов и при расчетах эффективности взаимосвязи источник — световод. В градиентных световодах труднее возбуждать моды и труднее исключать появление мод высокого порядка, поскольку числовая апертура градиентных световодов непостоянна по сечению. Излучение, падающее на торец световода в точке  $r$  (текущий радиус сердцевины), будет распространяться как канализируемая мода лишь в том случае, если оно оказывается в пределах локальной числовой апертуры  $NA(r)$  в этой точке. Локальная числовая апертура определяется выражением  $NA(r) = NA_0 \sqrt{1 - (r/a)^g}$  при  $r \leq a$ , где  $a$  — радиус сердцевины;  $g$  — показатель степенной функции, описывающей градиентный профиль показателя преломления;  $NA_0 = n_c \sqrt{2\Delta}$ ,  $\Delta = (n_c - n_n)/n_c$ . Эта зависимость показывает, что числовая апертура в градиентном световоде при удалении его по торцу от его продольной оси уменьшается; при этом в световоде со ступенчатым профилем при заданных значениях  $\Delta$  и  $a$  может канализироваться вдвое больше мод, чем в градиентном световоде ( $g=2$ ) с таким же радиусом  $a$  и максимальным значением  $\Delta$ . Можно показать, что для градиентного световода эффективная числовая апертура  $NA_{\text{эфф}} = n_c \sqrt{\Delta}$ . Из сравнения выражений для числовых апертур следует, что полная мощность, принятая градиентным световодом (пропорциональная  $NA_{\text{эфф}}^2$ ), равна половине мощности в эквивалентном световоде со ступенчатым профилем показателя преломления.

**Измерение профиля показателя преломления.** Так как профиль показателя преломления во многом является определяющим параметром, то разработано много методов его измерения. Рассмотрим наиболее распространенные.

*Метод исследования пространственного распределения излучения* проводят в ближней и дальней зонах:

А. Метод ближней зоны иллюстрируется установкой, схема которой показана на рис. 4.60. Метод основан на том факте, что при возбуждении световода источником, яркость которого не зависит от направления, мощность всех направляемых мод в любой точке сечения световода пропорциональна показателю преломления в этой точке и оболочке. Измерив распределение интенсивности света в ближней зоне — на выходном торце световода,

можно рассчитать профиль показателя преломления по формуле  $n^2(r) - n_n^2 = [I(r)/I(0)]NA_{\max}^2$ , где  $n(r)$  — значение показателя преломления в точке сердцевины с радиальной координатой  $r$ ;  $n(0)$  — то же на оси;  $n_n$  — показатель преломления оболочки;  $I(r)$  — интенсивность света в точке с координатой  $r$  на торце световода;  $I(0)$  — то же в центре;  $NA_{\max} = \sqrt{n^2(0) - n_n^2}$  — максимальное значение числовой апертуры.

Большую роль при измерениях методом ближнего поля играет выбор оптимального значения длины световода  $L$ . При малых  $L$  искажения профиля искажаются модами утечки, а при больших  $L$  искажения вносят дифференциальное затухание мод и межмодовая связь через рассеяние. На практике берут  $L \approx 1$  м — при этом влияние различия в затухании мод и межмодовой связи мало, а слабовытекающие моды учитываются вводом в программу обработки (на ЭВМ) корректирующих коэффициентов. Излучение некогерентного источника 1 (рис. 4.60) фокусируется на торец световода 3 оптической системой 2. Увеличенное изображение поверхности выходного торца регистрируется сканирующим по направлению нормали к оси  $p$ - $i$ - $n$  фотодиодом с приемной площадкой малой площади (приблизительно 250 мкм). Использование  $p$ - $i$ - $n$  фотодиода определяется тем, что он позволяет регистрировать очень малые световые мощности (десятки пиковатт) с низким уровнем шума, а также обладает хорошей линейностью в широком диапазоне (от нескольких пиковатт до десятков милливольт). Электрический сигнал с фотодиода усиливается в усилителе с синхронным детектором 7, управляемым механическим модулятором 5. Распределение интенсивности, определяемое за счет сканирования, фиксируется двухкоординатным самописцем 8. Сканирование фотодиода осуществляется устройством линейного перемещения с применением шагового электродвигателя. С устройства перемещения фотодиода электрический сигнал, пропорциональный линейному перемещению, подается на вход  $X$  самописца. (В [18] регистрация сигнала вместо сканирующего  $p$ - $i$ - $n$  фотодиода осуществляется линейкой или матрицей фотоприемников, данные с которых вводятся в ЭВМ.) Соотношение между шагом перемещения фотодиода и размером его приемной площадки определяет пространственное разрешение системы. Для исключения эффектов просачивания излучения из световедущей жилы в оболочку



световод укрепляется так, чтобы не было изгибов. Метод сравнительно прост, не требует специальной аппаратуры. Недостатком является то, что результатом измерения служит относительное изменение профиля показателя преломления и для получения абсолютных значений необходимы дополнительные измерения эталонных образцов. Кроме этого, на результат измерения оказывают влияние моды утечки. Существует ряд модификаций этого метода, в частности метод сканирования преломленных лучей в ближней зоне. При этом измеряется мощность излучения, выходящего из сердцевины в оболочку. Для проведения калибровки установки при измерении абсолютных значений профиля показателя преломления применяется набор иммерсионных жидкостей с различными значениями показателя преломления или используется отличие зависимостей показателя преломления иммерсионной жидкости и волоконного световода от температуры. Отметим, что метод ближней зоны считается наиболее эффективным для изучения профиля показателя преломления в одномодовых световодах, так как обладает высоким разрешением.

Б. В методе дальней зоны угловую зависимость интенсивности излучения определяют достаточно далеко от входного торца световода (в ближней зоне — в плоскости торца). Метод изучен хуже и не нашел еще широкого применения; интерес к нему определяется из-за отсутствия в измерительной установке оптических устройств, которые могли бы влиять на погрешность измерения.

*Методы рассеяния* основаны на облучении волоконного световода пучком, перпендикулярным к оси волокна. Размер пучка соизмерим с диаметром световода. Получаемая диаграмма рассеяния позволяет вычислять профиль показателя преломления, причем исследуют диаграмму как прямого, так и обратного рассеяния:

А. Возможная установка для измерения по диаграмме обратного рассеяния приведена на рис. 4.61. Плоскополяризованное излучение гелий-неонового лазера 1 модулируется по интенсивности механическим прерывателем 2. Через диафрагму 3 и коллиматор 4 (для выравнивания фазового фронта) излучение подается на световод 7 перпендикулярно его оси. Диаграмму интерференционных полос обратного рассеяния регистрируют либо фотоаппаратом 8 (рис. 4.61,а), либо сканирующим фотодиодом. При

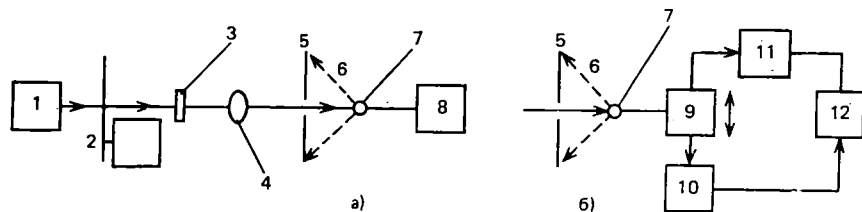


Рис. 4.61

фотографировании устанавливается непрозрачный экран 5 с отверстием, через которое проходит падающий луч, а фотографируют получившееся на экране изображение отраженного от световода излучения. При использовании сканирующего фотодиода (рис. 4.61,б) электрический сигнал с него регистрируется на двухкоординатном самописце. На рисунке обозначено: 9 — фотодиод, 10 — преобразователь линейного перемещения в электрический сигнал для управления самописцем по координате X, 11 — усилитель с синхронным детектором, 12 — двухкоординатный самописец. По зарегистрированной диаграмме обратного рассеяния рассчитывается профиль показателя преломления.

Б. Упрощенная установка для измерения методом прямого рассеяния показана на рис. 4.62. В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер 1, луч от которого через оптическую систему (включающую поляризаторы для регулировки интенсивности и изменения направления вектора поляризации и диафрагму) падает на боковую поверхность исследуемого световода 4 перпендикулярно его оси. Исследуемый световод закреплен в держателе 3 в центре вращающегося стола 5. Диаграмма прямого рассеяния в дальней зоне как функция угла поворота  $\theta$  регистрируется фотоприемником 10 с щелевой диафрагмой 8. Фотоприемник прикреплен кронштейном 9 к вращающемуся столу и таким образом вращается вокруг оси световода, который остается неподвижным — т. е. меняется угол  $\theta$ . Стол вращает электродвигатель 6. Усиленные сигналы от фотоприемника 10 и преобразователя углового перемещения в электрический сигнал 7 подаются на двухкоординатный самописец 11 и через АЦП 12 на ЭВМ 13. Для устранения рассеяния на поверхности световода в держателе 3 помещается кювета с иммерсионной жидкостью, показатель преломления которой близок к показателю преломления оболочки световода. Кювета снабжена управляемым нагревателем, регулирующим температуру иммерсионной жидкости с малой погрешностью для согласования показателей преломления оболочки и жидкости. Недостатком метода является зависимость результатов измерения от диаметра волокна. Этим мето-

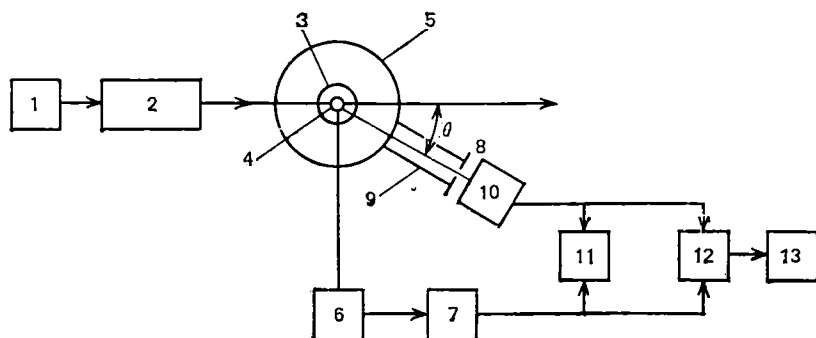


Рис. 4.62

дом экспериментально были определены профили показателей преломления одномодовых световодов с разрешением 0,2 мкм. Измерения проводились в 1500 точках с обработкой на ЭВМ.

*Метод рефракции* не требует расчетов, и его наглядность делает его пригодным для контроля готовых световодов. Суть метода поясняет рис. 4.63 [18]. На коротком участке у входного торца волоконного световода удаляется защитная оболочка. Этот участок помещают в кювету с иммерсионной жидкостью, показатель преломления которой равен показателю преломления оболочки. Лазерный луч фокусируется на торец световода так, чтобы размер пятна в фокусе был меньше диаметра сердцевины. Числовая апертура возбуждающего пучка существенно превышает числовую апертуру исследуемого волокна  $\theta$ . На выходе из кюветы 1 наблюдаются два полных конуса лучей. Внутренний конус 3 соответствует лучам слабовытекающих мод, туннелирующим в оболочку и иммерсионную жидкость. Конусы полые, т. е. в них нет излучения, потому что лучи, соответствующие направляемым модам, полностью удерживаются сердцевинной. Для того чтобы лучи мод утечки не попадали через собирающую оптическую систему 6 на фотодетектор, соосно с волокном установлен экран 4, задерживающий конус 3. Преломленные лучи 2, соответствующие модам оболочки и пространственным модам, образуют внешний полый конус с большими углами при вершине, такими, что эти лучи проходят мимо экрана, фокусируются оптической системой 6 на фотодетектор 7. Световая мощность  $P(r)$ , соответствующая

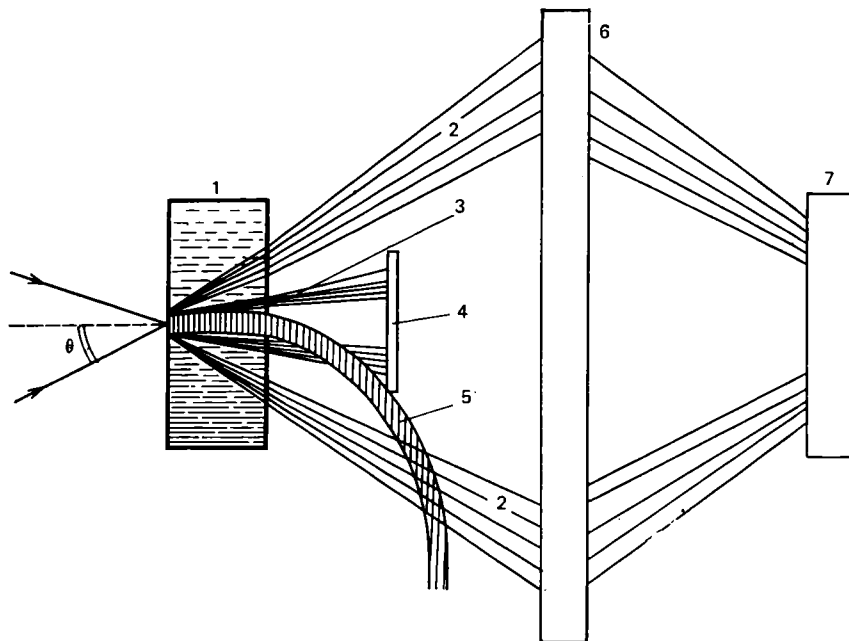


Рис. 4.63

преломленным лучам, зависит от показателя преломления сердцевинины  $n(r)$  в точке ввода излучения

$$(P(r)/P_n - 1) (\sin^2\theta - \sin^2\Phi) = n^2(r) - n_n^2,$$

где  $P_n$  — световая мощность на фотоприемнике, когда лазерный пучок сдвинут из сердцевинины в оболочку. Измерение профиля показателя преломления сводится к измерению мощности рефрагированного света при сканировании светового пятна по торцу волновода. Метод используется для исследования как многомодовых, так и одномодовых волокон и обеспечивает измерение разности  $[n(r) - n_n]$  с погрешностью  $\pm 0,00015$ , с разрешением по радиусу  $0,35$  мкм.

*Метод интерференционной микроскопии* дает наибольшую точность и используется для проверки, обеспечивая относительную погрешность не хуже  $10^{-4}$  [18]. Для измерения подготавливают поперечный срез волокна в виде плоскопараллельной пластины высотой  $10 \dots 50$  мкм. В результате интерференции пучка света, прошедшего через образец, с опорным пучком в поле зрения микроскопа формируется интерференционная картина, подобная изображенным на рис. 4.64. На рис. 4.64,а показана интерференционные полосы для однородного волокна, а на рис. 4.64,б — для волокна с градиентным профилем показателя преломления сердцевинины. Обработка интерферограммы с помощью ЭВМ позволяет определять профиль показателя преломления. Недостатком метода является трудоемкость приготовления образцов.

**Измерение числовой апертуры.** Фактически стоит вопрос о том, чтобы определить максимальный угол падения луча на торец волокна, за пределами которого распространение света в волокне становится невозможным. Знание числовой апертуры необходимо для уменьшения потерь как в устройствах ввода-вывода излучения, так и входящих на механические и сплавные сочлене-

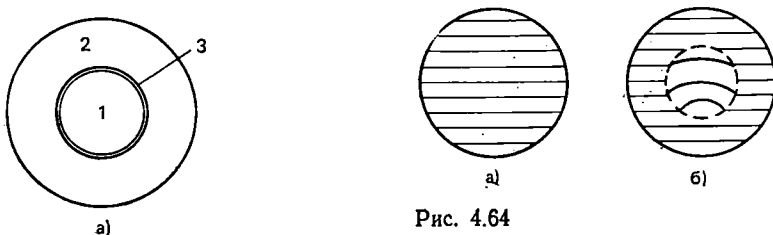


Рис. 4.64

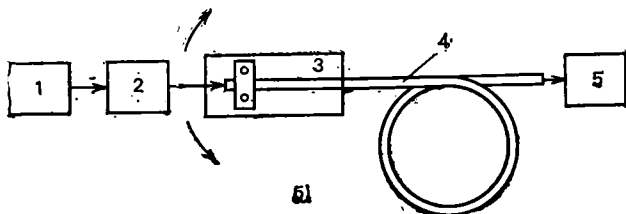


Рис. 4.65

ния волоконных световодов. Наиболее сильное влияние на потери оказывает несогласованность числовых апертур. Отклонения числовых апертур в пределах 0,16... 0,18 (при переходах от волоконного световода с большей апертурой к световоду с меньшей) в худшем случае могут привести к потерям примерно 1 дБ.

*Метод трех колец* основан на том, что на выходном торце световода (рис. 4.65,а): 1) ярче светится сердцевина 1, если на входной торце пучок падает под углом меньше апертурного (см. рис. 4.59,б, луч 2); 2) ярче светится оболочка 2, если пучок падает под углом больше апертурного (луч 1); 3) граница раздела сердцевины и оболочки 3 представляет ярко светящееся кольцо (при одинаковой яркости оболочки и сердцевины), если пучок падает под углом, равным апертурному.

Структурная схема установки для измерения числовой апертуры методом трех колец представлена на рис. 4.65,б. Коллимированный пучок от лазера 1 фокусируется системой 2 на входной торце исследуемого световода 4, закрепленного на поворотном столе 3. Стол медленно вращается вокруг оси, перпендикулярной оси симметрии световода вблизи входного торца. Выходной торец световода рассматривается через микроскоп 5. Четкое кольцо на границе сердцевина — оболочка наблюдается при определенном угле падения, который фиксируют, отсчитывая от направления входящего коллимированного пучка. Вращают стол в сторону, при которой ярко светится сердцевина до момента появления такого же кольца, — снова фиксируют угол. Полусумма этих двух углов определяет угол числовой апертуры. Этот метод обладает высокой разрешающей способностью и наглядностью. Недостатком метода являются высокая трудоемкость и технологическая сложность подготовки торцов образца для измерения. Метод применим в основном для световодов с диаметром больше 1 мм из-за трудности подачи под меняющимся углом падения вводимого луча на передний торец световодов малого диаметра.

*Метод ближней зоны* основан на определении числовой апертуры световода по распределению излучения на входном торце. Метод может быть осуществлен на установке, показанной на рис. 4.68 и рассмотренной ниже. Метод дает невысокую точность, существует ряд его модификаций, но на практике он не получил широкого распространения.

*Метод дальней зоны* основан на том, что снимают угловую диаграмму излучения в дальней зоне и затем по диаграмме вычисляют угол конуса, содержащего 90% излучаемой энергии. Измерение осуществляют на коротком отрезке световода (около 2 м), возбужденного излучением определенной длины волны при условии, что диаметр пучка больше диаметра сердцевины. Измерения можно проводить на установке, приведенной на рис. 4.61<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> В [19], снабженной обширной библиографией, есть ссылки и на ряд других методов, но степень их апробации еще недостаточна, чтобы рекомендовать их в качестве примера для практического применения.

## 4.11. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В СВЕТОВОДАХ

Для применения в системах передачи информации волоконный световод должен иметь малое затухание и широкую полосу пропускания. Даже при малом затухании короткий оптический импульс в процессе распространения вследствие дисперсии его гармонических составляющих размывается во времени, т. е. возникают дисперсионные искажения (кратко — дисперсия). Это приводит к тому, что при высоких скоростях передачи информации максимальная длина линии лимитируется не потерями (затуханием), а полосой пропускания. Настоящий раздел посвящен измерениям основных параметров излучения волоконных световодов, затухания, широкополосности и базируется на [19].

**Измерение затухания в световодах.** Полное затухание определяется следующими составляющими:

1. Собственным затуханием, обусловленным поглощением и рассеянием. Составляющая затухания за счет поглощения определяется поглощением материала световода, поглощением на примесях и атомных дефектах и сильно зависит от спектрального состава передаваемого излучения. Составляющая за счет рассеяния определяется собственным (рэлеевским) рассеянием, обусловленным малыми по сравнению с длиной волны флуктуациями (в том числе и тепловыми) как концентраций атомов, входящих в состав стекла, так и самого состава и, следовательно, показателя преломления. Оно имеет место как в оболочке, где поглощается излучение, так и в сердцевине, где появляется в виде направленной обратно волны. Затухание, обусловленное рэлеевским рассеянием, не зависит от интенсивности оптической волны и уменьшается обратно пропорционально четвертой степени ее длины. Это рассеяние определяет теоретический предел уменьшения ослабления и характеризуется показателем светорассеяния  $\mu_r$  (дБ/км). Например, для кварцевых стекол при  $T \approx 1700$  К и  $\lambda = 0,83$  мкм,  $\mu_r = 1 \dots 6$  дБ/км. В многокомпонентных стеклах имеет место рассеяние на флуктуациях концентраций окислов. Кроме указанных, в световодах могут возникать рассеяния, обусловленные нелинейными эффектами. Начиная с определенного уровня плотности мощности, нелинейное взаимодействие между распространяющейся волной и материалом приводит к возникновению излучения с другими длинами волн, причем для световодов с малым поперечным сечением и большой длиной для появления этих эффектов нужны достаточно низкие абсолютные значения мощностей.

2. Затуханием, возникающим при изготовлении волокна, прокладке и эксплуатации. Одной из причин является то, что поле направленных мод частично проникает в оболочку и поглощается. Оно связано с возбуждением вытекающих мод и конечной толщиной оболочки. Дополнительно затухание вызывается струк-

турными дефектами — вариациями размеров и формы сердцевинны, и оболочки вдоль длины световода. Эти нерегулярности приводят к перекачке энергии между модами и увеличивают затухание за счет излучения. Существует составляющая затухания, обусловленная изгибами световода — в местах изгибов часть поля направленных мод излучается в пространство (при малых изгибах оно мало).

3. Потерями мощности за счет отражения от входного торца и затуханием при вводе излучения в световод.

Полное (суммарное) затухание излучения в волоконном световоде характеризуется выражением, дБ:  $A = 10 \lg \{ [(P_0 I_s / (1 - \rho^2)) / P_L] \}$ , где  $P_0$  — мощность на входе световода;  $P_L$  — мощность на выходе;  $\rho$  — коэффициент отражения от входного торца;  $I_s$  — эффективность ввода излучения в световод. При согласованном вводе, к чему стремятся на практике, приходим к традиционной формуле  $A = 10 \lg [P_0 / P_L]$  (\*). На воспроизводимость результатов измерения затухания многомодового световода сильно влияет способ возбуждения (достижение установившегося равновесного распределения мод и исключение оболочечных мод), микро- и макроизгибы световода.

К настоящему времени разработаны и применяются на практике следующие методы измерения полного затухания световодов: 1) двухточечный; 2) замещения; 3) обратного рэлеевского рассеяния во временной области; 4) отдельного измерения поглощения и рассеяния.

Наибольшее распространение получил *двухточечный метод измерения* (метод двух отсчетов), основанный на измерении мощности на входе и выходе световода с последующим вычислением затухания по формуле (\*). Существуют разновидности двухточечного метода: метод обламывания, безобломный метод и калиброванного рассеяния.

Рассмотрим примеры устройств, типичных для измерения полного затухания двухточечным методом. На рис. 4.66 показана схема средства измерения затухания двухточечным методом с обламыванием. Излучение от лампы 1 направляется конденсером

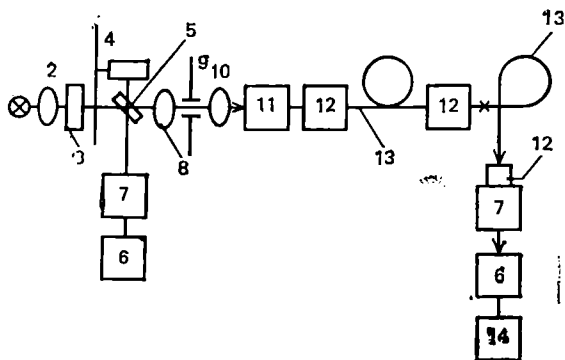


Рис. 4.66

2 на входную щель монохроматора 3, выделяющего необходимую длину волны. С помощью объективов 8, 10 и диафрагмы 9 формируется пучок с нужными для измеряемого световода 13 значениями диаметра и числовой апертуры. Часть излучения из выходной щели монохроматора после механического модулятора 4 делительной пластинкой 5 направляется на фотоприемник 7 с регистрирующим прибором 6 для контроля стабильности источника излучения. Подготовленный входной конец измеряемого волоконного световода, очищенный от защитной оболочки, помещается в держатель 11, расположенный на трехкоординатном юстировочном устройстве. Наибольшее распространение получил держатель в виде V-образной канавки. Кроме того, входной конец световода помещают в кювету с иммерсионной жидкостью 12, которая играет роль фильтра оболочечных мод. Выходной конец световода с подготовленным торцом помещают в кювету с иммерсионной жидкостью 12, согласующей выход световода с фотоприемником, ток которого пропорционален оптической мощности и измеряется прибором 6. При изменении длины волны эта зависимость может быть записана на двухкоординатном самописце 14. Первоначально световод юстируется в устройстве ввода 11 до получения максимального показания на выбранной длине волны — это показание запоминается. Затем без нарушений условий ввода и фильтрации оболочечных мод световод обламывают на расстоянии 3...5 м от входного конца и, подготовив торец выходного конца короткого отрезка, помещают его в держатель фотоприемника и вновь считывают показание регистрирующего прибора. Затухание определяется по формуле (\*), а для определения удельного затухания результат делят на длину волновода. Оценки показывают, что этим методом можно измерять затухание до 10 дБ с погрешностью не более 0,03 дБ. Недостатком метода является его разрушающий характер — каждое измерение приводит к потере 3...5 м световода, что, в частности, затрудняет проведение повторных измерений.

Структурная схема установки для измерения двухточечным безобломным методом приведена на рис. 4.67. Возможность использования одноканальной схемы может быть реализована только при наличии стабильного источника излучения. Измерительный сигнал формируется в источнике 1 со стабильным уровнем мощности. Все соединения осуществляются через оптические разъединители 2. Необходимые для вычисления затухания мощности  $P_0$  и  $P_L$  [формула (\*)] получают при подключении фотоприемника 5 с регистрирующим прибором 6 (например, цифровой вольтметр) непосредственно к 3 ( $P_0$ ) и через исследуемый волновод 4

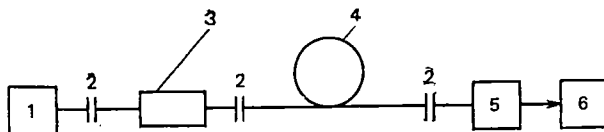


Рис. 4.67



( $P_L$ ). На рисунке блоком 3 обозначен вспомогательный отрезок световода со смесителем мод. Данная схема практически реализована в виде аппаратуры для измерения затухания ИЗВОК-2 [19]. Прибор состоит из генератора оптического сигнала (блок 1) и приемника, которым служит измеритель относительного уровня мощности (блок 2). Комплект обеспечивает измерение затухания оптических кабелей на длинах волн 0,85 и 0,96 мкм в динамическом диапазоне 65 дБ с погрешностью 0,25 ... 1 дБ (в разных диапазонах).

В том случае, если источник излучения не стабилизирован по выходной мощности, необходимо использовать двухканальное устройство. Пример такого устройства, реализующего двухточечный безобломный метод, приводится на рис. 4.68. Излучение лазерного диода 1, питаемого источником 2, через оптическую систему, состоящую из объективов 3, 7 и пространственного фильтра 6, вводится во вспомогательный световод 9, идентичный по оптико-геометрическим параметрам измеряемому световоду 12. Входной канал вспомогательного световода закреплен в держателе, заблокированном с фильтром оболочечных мод; выходной его конец закреплен в держателе 10 и может поочередно присоединяться к входу измеряемого 12 и короткого (2 ... 3 м) калибровочного световода 13. Выходные концы световодов 12 и 13 закреплены в держателях фотоприемного устройства 14 и могут коммутироваться к фотодиоду измерительного канала либо к электромеханическому сканирующему устройству. Часть излучения в оптической системе делительной пластинкой 4 отвлекается на фотодиод 5, образуя таким образом опорный канал, подключенный ко входу логарифмического измерительного устройства отношений 15, на второй вход которого подается измерительный канал (от фотодиода фотоприемника 14). К выходу 15 подключен цифровой вольтметр 16, результат измерения которого может быть отпечатан цифрпечатающим устройством 17. Сигнал с электромеханического сканирующего устройства, форма которого повторя-

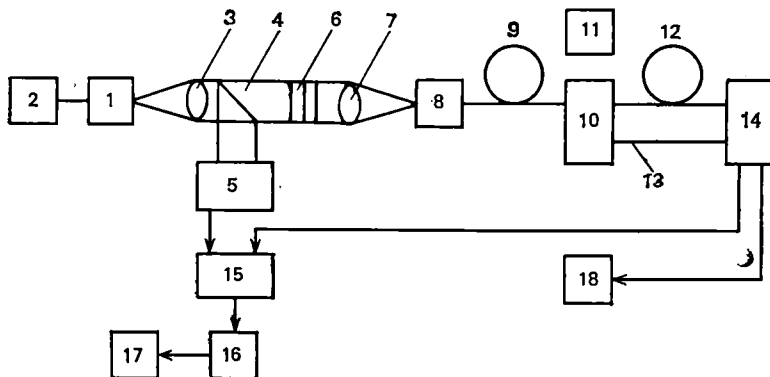


Рис. 4.68

ет распределение мощности в одном из диаметральных направлений поперечного сечения, выходящего из светового пучка, просматривается на экране осциллографа 18. При первоначальной настройке установки добиваются устройством 8 ввода во вспомогательный световод 9 максимальной мощности при равновесном распределении мод на его выходе, которое контролируется сопоставлением сигналов на выходе короткого 13 и длинного 12 световодов по осциллографу 18. Процесс измерений начинается с подключения к выходу вспомогательного световода 9 короткого отрезка 13, выход которого подключен к фотодиоду приемного устройства 14. Соединитель 10 юстируется до соосного расположения концов световодов по наружным диаметрам. Регулировкой усиления в устройстве 15 добиваются показания цифрового вольтметра, равного 0 дБ. После этого на место короткого устанавливается измеряемый световод 12, в соединителе 10 выполняется юстировка на соосность сопрягаемых световодов до получения максимального показания на цифровом вольтметре — это значение и отсчитывают в децибелах как уровень измеряемого затухания. Визуальный контроль сопрягаемых по наружному диаметру в соединителе 10 световодов может осуществляться под микроскопом 11. Для исключения влияния некачественной обработки торцов световодов в 10 и 14 применяется иммерсирование. Описанное устройство может быть аттестовано и поверено по мерам затухания — светофильтрам из стекла оптического цветного по ГОСТ 9411—81, аттестованным по коэффициенту затухания на рабочей длине волны. Фильтры могут устанавливаться в специальные гнезда 6, перпендикулярно оси коллимированного пучка. Технические характеристики, полученные в реальных условиях на устройстве, работающем по описанной схеме: длина волны 0,85 мкм; динамический диапазон измеряемых значений затухания 1 ... 30 дБ; суммарная погрешность измерения затухания не более 10% от измеренного значения в децибелах.

*Метод замещения* основан на сравнении измеряемого затухания с затуханием образцового калиброванного переменного ослабителя. При измерении затуханий в оптическом диапазоне можно выполнять замещение на высокой частоте, промежуточной и низкой. Метод замещения на высокой (оптической) частоте предполагает использование калиброванных по затуханию оптических ослабителей, либо в случае неполного замещения может быть использован откалиброванный по затуханию отрезок световода. Метод перспективен, но еще не получил широкого распространения. Метод замещения на промежуточной частоте предполагает гетеродинирование частоты измеряемого напряжения в области частот примерно несколько десятков мегагерц и использование прецизионного ослабителя ПЧ вместе с чувствительным индикатором нуля. Возможный вариант прибора изображен на рис. 4.69. Наличие импульсного источника света вместо непрерывного позволит перейти от измерения абсолютного значения мощности к измерению амплитуды. При этом исключается влияние на по-

грешность измерения посторонних фоновых засветок фотодетектора.

Измерительная аппаратура для измерения затухания оптических кабелей в процессе монтажа и эксплуатации состоит из генератора оптического измерительного сигнала и приемника. Генератор (рис. 4.69,а) состоит из задающего генератора 1, управляемого источника тока 2, коммутатора 3 и двух излучателей 4 и 5. Оптические волокна подсоединяются к излучателям с помощью оптических соединителей 6 и 7. Одно волокно является контрольным, а второе — объектом измерения. В описываемом приборе сформированные оптические импульсы имели частоту следования 3409 Гц, скважность 2, мощность около 150 мкВт. Длины волн оптического излучения 0,85 и 0,96 мкм. Приемник (рис. 4.69,б) представляет собой гетеродинный измеритель уровня первой гармоники тока с фотоэлектрическим преобразователем на входе 9. Волокно измеряемого оптического кабеля с помощью юстировочного устройства 8 подводится ко входу фотоэлектрического преобразователя 9, который преобразует оптическое излучение в последовательность импульсов электрического тока. Эти импульсы усиливаются усилителем 10, настроенным на частоту первой гармоники измерительного сигнала. Усиленный сигнал поступает на вход преобразователя частоты 11 одновременно с сигналом гетеродина 12 (в описываемой установке 3333 Гц). Сигнал ПЧ 76 Гц выделяется фильтром низких частот 13 и режекторным фильтром 14, подавляющим спектральные составляющие с частотами сигнала и гетеродина. С помощью аттенюатора 15 осуществляется переключение уровней измерительного сигнала. Преобразователь 16 выделяет средневыпрямленное значение напряжения, которое регистрируется стрелочным прибором 17. Методика измерения вносимого затухания сводится к определению разности относительных уровней измерительного сигнала в децибелах при подключении приемника к выходу генератора через контрольное волокно  $L_1$  и при включении приемника через измеряемый объект  $L_2$ , т. е.  $A_{вн} = L_1 - L_2$ . Для измерения уровня  $L_1$  генератор и приемник соединяют контрольным отрезком оптического кабеля. Значение  $L_1$  в децибелах определяется выражением  $L_1 = L_{01} - A_{11} - A_{21} - A_{с.о.}$ , где  $L_{01}$  — уровень измерительного сигнала на выходе генератора;  $A_{11}$  и  $A_{21}$  — соответственно величины затуханий, обусловленные потерями в точке присоединения отрезка волокна к выходу генератора и ко входу приемника;  $A_{с.о.}$  — затухание контрольного волокна. Уровень

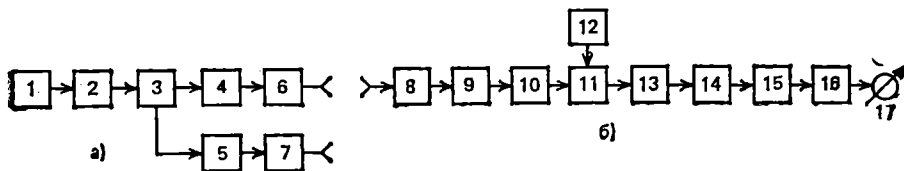


Рис. 4.69

сигнала, дБ,  $L_2 = L_{02} - A_{12} - A_{22} - A_{\text{вн.о}}$ , где  $L_{02}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{22}$  — величины, аналогичные  $L_{01}$ ,  $A_{11}$ ,  $A_{21}$ , полученные при измерении  $A_{\text{вн.о}}$  оптического кабеля. Используя выражения для  $L_1$  и  $L_2$ , имеем  $A_{\text{вн}} = L_1 - L_2 = (L_{01} - L_{02}) + (A_{12} - A_{11}) + (A_{22} - A_{21}) + A_{\text{вн.о}} - A_{\text{с.о}}$ . Как видно из последнего выражения, измеренное значение  $A_{\text{вн.о}}$  будет равно  $A_{\text{вн}}$  лишь при равенстве нулю слагаемых, заключенных в скобки, и при  $A_{\text{вн.о}} \gg A_{\text{с.о}}$ . Последнее условие выполняется достаточно просто. В этом случае максимальная погрешность  $\Delta = L_{01} - L_{02} = (A_{12} - A_{11}) + (A_{22} - A_{21})$ . Погрешность измерения является систематической и при правильной методике измерения не превышает половины допустимой погрешности прибора. Уменьшение этих погрешностей достигается: стабилизацией режима работы генератора  $L_{01} = L_{02}$ ; уменьшением абсолютных значений  $A_{12}$ ,  $A_{11}$ ,  $A_{22}$ ,  $A_{21}$ , различий между ними путем хорошей подготовки торцов волокон, тонкой юстировкой; применением иммерсионной жидкости в месте стыка оптического кабеля с генератором и приемником.

В методе замещения по низкой частоте образцовый ослабитель помещается в низкочастотную часть установки после фотоприемника, а измерение затухания проводится в предположении линейности амплитудной характеристики фотоприемника. Этот метод хорошо отработан и нашел широкое применение. Рассмотрим схему устройства для измерения затухания с помощью замещения по низкой частоте, приведенную на рис. 4.70 и описанную в [18]. Излучение лазерного диода 1 через микрообъектив 5 вводится в деполаризующий отрезок световода 7 длиной примерно 15 м и через микрообъективы 8 и делительную пластинку 9 в короткий (около 3 м) световод 19 и во вспомогательный 10 (длиной 1000 м). Концы световодов 7 и 10 закреплены в держателях 6 с трехкоординатной юстировкой и иммерсированием. Все отрезки световодов идентичны измеряемому световоду 12 по оптическим и геометрическим параметрам. Отрезок световода 10

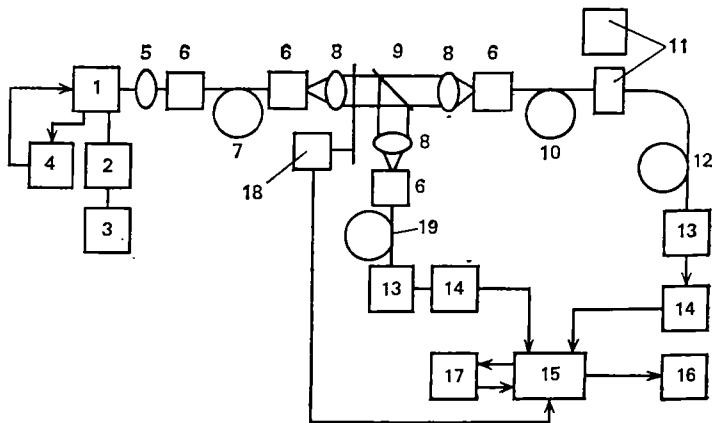


Рис. 4.70

служит для формирования на входе измеряемого световода 12 равновесного распределения мод. Стыковка концов световодов 10 и 12 осуществляется в стыковочном узле при визуальном контроле в двух взаимно перпендикулярных плоскостях под микроскопом 11. Лазерный диод 1 термостатирован, его температура поддерживается постоянной с помощью устройства 4, питание стабилизированным источником 2 с контролем по цифровому прибору 3. Эти меры позволяют настраивать диод на необходимую мощность, величина которой стабильна. Механическая модуляция модулятором 18 в сочетании с синхронным коммутатором 15 и чувствительным нуль-индикатором 16 позволяет получать высокочувствительную схему индикации баланса оптико-электронного моста, состоящего из делителя оптической мощности (устройства 7, 8, 9) в определенном отношении, короткого 19, вспомогательного 10 и измеряемого 12 отрезков световода и коммутатора, в одном из плеч которого расположен калиброванный НЧ аттенюатор 17. Фотодиоды 13 с усилителями 14 в опорном и измеряемом каналах имеют идентичные характеристики. Соединение измеряемого световода с измерительной установкой осуществляется через иммерсионные пленки, что дает стабильное, хорошо воспроизводимое значение затухания в местах стыка. Первоначальная калибровка устройства осуществляется при установке выходного конца отрезка 10 в фотоприемник 13 и балансе моста по нуль-индикатору при установленном показании 0 дБ на аттенюаторе 17. При включении измеряемого световода 12 аттенюатором 17 восстанавливается баланс моста по нуль-индикатору, а значение затухания отсчитывается по шкале аттенюатора, откалиброванной в децибелах. Метрологическая оценка установки: при длине волны 0,82 мкм пределы измерения затухания до 50 дБ, погрешность не хуже  $\pm 0,2$  дБ.

*Метод обратного рэлеевского рассеяния* (см. рис. 4.65,а) дает информацию о распределении затухания по длине световода, о значении затухания между любыми его точками, о расстоянии до локальных источников потерь и их значений. Метод приобретает все большую популярность и ожидается, что в ближайшем будущем должен стать одним из основных методов измерения как затухания, так и других параметров световодов [19].

**Измерение широкополосности.** При распространении импульса по оптическому волокну происходит его «уширение», т. е. увеличение длительности импульса. Величина этого уширения обратно пропорциональна ширине спектра импульса (чем больше уширение, тем уже передаваемый спектр частот) и является важным фактором, который ограничивает полосу пропускания системы передачи. В этом смысле понимается термин «широкополосность». Причиной уширения является дисперсия, т. е. зависимость скорости распространения электромагнитной энергии (в данном случае света) от частоты. Поэтому в качестве измеряемых параметров широкополосности используют дисперсию.

Существуют три основных источника дисперсии в волокне:

1. Эффекты волноводного распространения, связанные с разбросом групповых скоростей волн различных порядков (мод). Это так называемая модовая дисперсия.

2. Изменение показателя преломления материала волокна с длиной волны (материальная дисперсия).

3. Зависимость группового времени пробега волн от длины волны излучения (волновая дисперсия). Последние два эффекта объединяются понятием хроматической дисперсии. Она существенна, когда оптическая волна имеет конечную ширину полосы частот из-за слабо когерентного или некогерентного источника.

Для аттестации и сопоставления дисперсионных свойств разных световодов необходимо стандартизовать условия измерения, причем это особенно относится к условиям возбуждения, обеспечивающим воспроизводимость результатов при измерении различными способами. Была достигнута договоренность, что нормализованными следует считать условия ввода излучения, наиболее неблагоприятные для распространения, т. е. такие, какие обеспечивают для волокна максимальную дисперсию. Этим условием является равновесное возбуждение мод. Критерием равновесного распределения мод служит либо независимость удельных (отнесенных к единице длины световода) коэффициентов затухания или дисперсии импульса от длины световода, либо неизменность положения диаграммы направленности в дальней зоне выходящего из торца световода пучка при разных условиях возбуждения световода и его длинах. Экспериментально равновесное распределение мод можно контролировать измерением диаграммы направленности в дальней зоне на выходе короткого и длинного отрезков световода, причем особенно тщательно необходимо оценивать периферийные участки диаграммы, где мощность составляет от 1 до 10% максимального значения в пучке. Эта область несет информацию о модах высшего порядка [считается достоверным измерение ширины диаграммы по 5% уровню (13 дБ)]. Формирование возбуждающих пучков с требуемыми параметрами может осуществляться разными способами, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. В последнее время для формирования пучка с распределением мод, близким к равновесному в коротких отрезках, находят применение смесители и фильтры мод следующих конструкций: спиральный фильтр мод, который образован несколькими (обычно пятью) витками световода, намотанного на цилиндр небольшого диаметра ( $D_{\min} \approx \approx 4n^2 D_c / (NA)^2$ , где  $D_{\min}$  — минимальный диаметр цилиндра;  $n_c$ ,  $D_c$  — показатель преломления и диаметр сердцевинки;  $NA$  — числовая апертура); система цилиндрических стержней, прижимаемых к боковой поверхности; система штырей — «гребенка», через которую световод пропущен с небольшим радиусом изгиба. Общим для всех смесителей и фильтров мод является обеспечение условий для сильной связи мод различных порядков на вызываемых внешними причинами макро- и микро неоднородностях волнового световода.

Дисперсионные свойства световодов можно характеризовать искажениями, которые претерпевает распространяющийся в нем оптический импульс. Но понятие «искажение импульса» неопределенно, и необходимо установить критерий искажения. В разных работах о дисперсионных свойствах волокна основывались на уширении вводимого в него импульса на уровне половины амплитуды сигнала.

Другой подход к оценке дисперсионных свойств волокон связан с нахождением среднего квадратического уширения или оценкой интегральных моментов оптических импульсов после прохождения определенного расстояния в волокне. Обоснование этих оценок основано на интегральном методе измерения импульсов. Развитие вычислительных методов и средств позволит использовать более сложную обработку импульсов, например методы быстрого преобразования Фурье (БПФ) для перехода от временной области (импульсного отклика) к спектральной. Практической реализацией методов оценок и расчета параметров световода в частотной области является синусоидальная модуляция интенсивности оптического излучения на заданной несущей частоте в области модуляционных частот. Передаточная функция определяется в основной полосе модулирующих частот через АЧХ и ФЧХ как отношение функции реакции и функции возбуждения и характеризуется полосой пропускания по определенному уровню (3 дБ по оптической мощности [19]). Для исключения влияния частотных характеристик СИ на полученные характеристики световода на практике предварительно снимают частотную характеристику самой измерительной аппаратуры с использованием короткого световода, предполагая, что обеспечиваются одинаковые условия ввода, пренебрежимо малые дисперсионные искажения, а измеренные параметры исследуемого световода корректируют по результатам предварительного измерения. Рассмотрим наиболее распространенные способы измерения.

*Импульсный метод* наиболее перспективен с точки зрения автоматизации и использования для обработки вычислительных средств. Импульсное измерение проводится во временной области, а затем с помощью вычислительного устройства переводится в частотную область. Смысл измерения заключается в том, что в световод посылается оптический импульс. С помощью измерения уширения этого импульса при распространении по световоду определяется импульсная характеристика оптического волокна. Этот метод, кроме прочего, позволит наглядно проследить влияние таких факторов, как условия ввода излучения, способа согласования, выхода световода с приемным устройством, изменение температурного режима. Но непосредственное наблюдение импульсов затруднено в связи с тем, что по мере совершенствования технологии изготовления оптического волокна и улучшения его характеристик импульс мало искажается. Кроме того, из-за широкополосности импульсы оптического сигнала имеют субнаносекундные длительности, чтобы реализовать высокую скорость

передачи информации. Поэтому большое число работ посвящено аппаратурному анализу спектра импульсных сигналов либо математической обработке сигналов во временной области. В качестве примера установки для измерения частотных характеристик световодов в диапазоне 0,8 ... 0,9 мкм рассмотрим систему для определения полосы пропускания световодов, описанную в [19]. Структурная схема установки представлена на рис. 4.71. В качестве источника излучения используется группа из четырех инжекционных лазерных диодов (1а, 1б, 1в, 1г), работающих на длинах волн 0,803; 0,824; 0,866 и 0,902 мкм с шириной спектральной линии  $\Delta\lambda \approx 0,002$  мкм. Импульсы излучения имеют близкую к гауссовской форму и длительность по уровню 0,5 примерно 250 пс. Импульс излучения через оптическую систему ввода 1 подается на смеситель мод 3, выполненный из двухметрового световода со ступенчатым профилем показателя преломления, пропущенного через гребенку штырей. Диаметр центральной жилы 55 мкм. Со смесителя мод через держатель 2, оптическую систему с диафрагмой 4 импульс подается в исследуемый световод, закрепленный в двух держателях. Импульс с выхода световода через оптическую систему с нейтральным светофильтром 6 поступает на фотодиод 7. Импульсный отклик фотодиода менее 200 пс. Усиленный электрический сигнал с фотодиода регистрируется стробоскопическим осциллографом 8, для синхронизации которого с исследуемым импульсом применяется кабельная коаксиальная линия задержки 9 на 70 нс. Линия задержки должна обладать широкой полосой пропускания, чтобы не исказить электрический импульс, подлежащий наблюдению. Сигнал на входе световода с учетом влияния измерительной аппаратуры получают из аналогичных измерений, проделанных для короткого куска световода. Для перехода в частотную область и нахождения передаточной функции применяют дискретное преобразование Фурье (или БПФ). Частотная характеристика исследуемого световода находится как отношение преобразований Фурье входного и выходного сигналов.

Одним из недостатков импульсного метода является необходимость организации опорного входного сигнала и, следовательно, с необходимостью выделения отдельного оптического канала

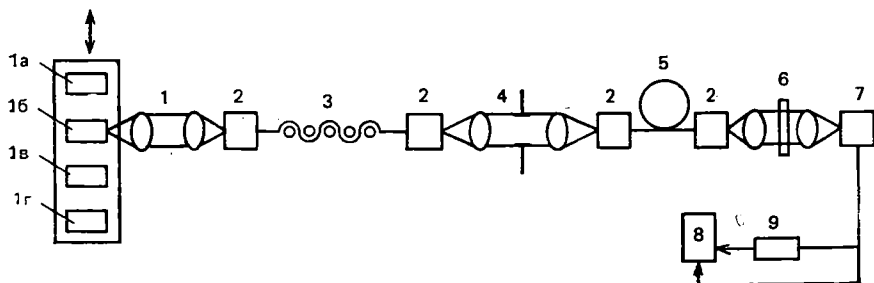


Рис. 4.71



с быстродействующим приемником. Это затрудняет применение метода в уже установленных оптико-волоконных каналах. Поэтому актуальной является задача создания измерительной установки, позволяющей обеспечивать достаточную точность измерений без контроля испытательного сигнала в оптическом канале. Существует ряд реализаций, но они не могут считаться удовлетворительными, и задача не снята. Как уже отмечалось, процесс совершенствования технологии обеспечивает производство волокон с лучшими свойствами по дисперсии. Поэтому для оценки искажений импульсным методом требуются все более короткие импульсы излучения (нано- и пикосекундные). Особенно затруднено использование этого метода в случае коротких световодов. Для преодоления этих трудностей были предложены методы многократного («челночного») пропускания достаточно широкого импульса. Однако метод не нашел широкого применения для световодов, используемых в системах передачи информации из-за больших потерь мощности при каждом отражении от торцов (торцевых зеркал), используемых для обеспечения рециркуляции импульса.

*Прямой метод* измерения частотных характеристик основан на использовании в качестве измерительных сигналов амплитудно-модулированных колебаний с синусоидальным модулирующим сигналом. Полоса пропускания зависит от коэффициента амплитудной модуляции выходного сигнала для разных частот модулирующего сигнала на входе. Амплитудная модуляция осуществляется синусоидальными колебаниями с частотами от  $\omega_m$ , близкой к нулю, до единиц гигагерц, что перекрывает используемую полосу пропускания световода. Уменьшение коэффициента амплитудной модуляции на выходе световода, обусловленное особенностями распространения в нем излучения, соответствует спаду передаточной функции на частоте модуляции  $\omega_{m1}$  и определяет значение АЧХ в точке  $\omega_{m1}$  на частотной оси, а сдвиг фаз на этой же частоте определяется ФЧХ (т. е. практически на частоте  $\omega_0 + \omega_{m1}$ , где  $\omega_0$  — частота немодулированного сигнала, распространяющегося по световоду). Структурная схема устройства измерения таким методом показана на рис. 4.72. Генератор синусоидального сигнала 1 модулирует ток возбуждения лазерного диода 2 на величину  $\Delta I_m$ . Это обеспечивает соответствующее изменение мощности выходного излучения. С помощью оптической системы

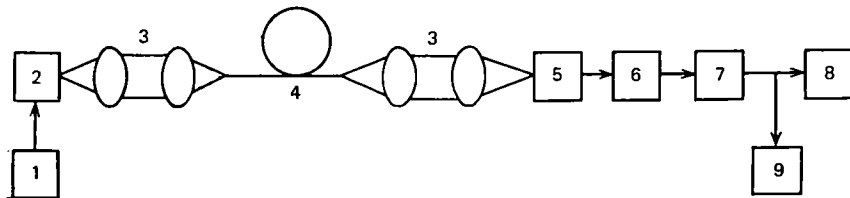


Рис. 4.72

3 излучение вводится в исследуемый световод 4, с выхода которого через систему 3 сигнал детектируется широкополосным фотодиодом 5 (обычно лавинный фотодиод), фототок которого фильтруется в полосе модулирующего сигнала фильтром 6 и после усилителя 7 фиксируется и запоминается амплитуда в устройстве 8. Затем производят аналогичные измерения для короткого волокна, чтобы учесть влияние частотных характеристик измерительной аппаратуры. Включение в систему анализатора спектра 9 обеспечивает визуальное отображение амплитудных зависимостей от частоты. В данной системе ФЧХ не может быть измерена. Для измерения ФЧХ в состав установки включают фазометр, а опорный канал организуют с помощью калиброванного световода. В [19] приводятся данные о выпускаемых измерительных установках, реализующих описанный метод автоматически с управлением от ЭВМ, в качестве модулирующего генератора используется синтезатор частот. Например, прибор фирмы Ando измеряет на несущей  $\lambda=0,85$  мкм диапазон модулирующих частот 1 ... 1000 МГц, погрешность измерения  $\pm 0,5$  дБ.

**Особенности измерений характеристик одномодовых световодов.** Наряду с параметрами, измеряемыми как и в многомодовых световодах (затухание, дисперсия, числовая апертура), существуют специфические параметры, свойственные только одномодовым световодам: длина волны отсечки и поляризационные характеристики. Так как фотодиоды в настоящее время являются основными приемниками оптического излучения, а они нечувствительны к поляризации излучения, то для современных систем передачи информации измерение поляризационных характеристик неактуально. В системах недалекого будущего на основе одномодовых световодов при использовании элементов функциональной электроники (интегрально-оптических схем) для обработки до детектирования могут найти применение поляризационно-чувствительные элементы, и положение плоскости поляризации излучения на выходе световода необходимо будет контролировать с высокой точностью.

Рассмотрим измерения длины волны отсечки. В световодах со ступенчатым профилем показателя преломления могут распространяться как симметричные типы волн (моды  $E_{0m}$  и  $H_{0m}$ ), так и несимметричные моды  $HE_{vm}$  и  $EH_{vm}$ , имеющие одновременно две поперечные составляющие — электрическую  $E$  и магнитную  $H$ . Спектральные области существования каждой моды зависят от характеристической частоты световода

$$v = \frac{\pi D_c}{\lambda} \sqrt{n_c^2 - n_i^2} = \frac{\pi D_c}{\lambda} NA,$$

где  $D_c$  — диаметр сердцевинки;  $n_c$ ,  $n_i$  — показатели преломления материала сердцевинки и светонезащищающей оболочки соответственно;  $NA$  — числовая апертура световода. Так как для световодов параметры  $D_c$ ,  $n_c$  и  $n_i$  постоянны, область изменения определяется изменением длины волны  $\lambda$ . Известно, что при  $v < 2,405$

существует только одна мода  $HE_{11}$ . Отсюда длиной волны отсечки мод высших порядков (кратко «длина волны отсечки») будет такая длина волны, при которой по волноводу распространяется основная мода  $HE_{11}$ , и она определяется из уравнения  $\frac{\pi D_c}{\lambda} NA = 2,405$  (\*\*). При работе на этой моде световод называют одномодовым. В реальных световодах длина волны отсечки меньше, чем получается из приведенного уравнения. Основной причиной этого является влияние изгибов и микроизгибов. Поэтому для однозначного измерения  $\lambda_c$  в необходимых случаях ее значение экстраполируют к нулевой длине световода. Теоретически существует много способов измерения длины волны отсечки, но метрологические возможности большинства из них пока не исследованы. Рассмотрим схему для измерения параметров одномодового световода по затуханию в постоянном зазоре на двух длинах волн как наиболее удобную по процедуре измерения, так и по технической реализации. При гауссовской аппроксимации поля основной моды одномодового световода вблизи длины волны отсечки затухание  $A(\lambda)$ , дБ, в зазоре между торцами двух идентичных световодов, расположенных на расстоянии  $l$ , выражается

$$A(\lambda) = 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{\lambda l}{2 \pi w^2} \right)^2 \right],$$

где  $w$  — радиус гауссовского пучка, определенный по уровню  $e^{-1}$  от максимального значения. Значение  $w$  связано с  $D_c$ ,  $NA$  и  $\lambda$  соотношением

$$w = D_c \left[ 0,65 + 1,619 \left( \frac{\lambda}{\pi D_c NA} \right)^{1,5} + 2,879 \left( \frac{\lambda}{\pi D_c NA} \right)^6 \right].$$

Задавая  $l$  и измеряя значения  $A(\lambda_1)$  и  $A(\lambda_2)$  на двух известных длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , из приведенных зависимостей вычисляют значения  $D_c$  и  $NA$ . Длина волны отсечки рассчитывается по уравнению (\*\*). Схема установки, реализующая рассматриваемый метод, представлена на рис. 4.73. Излучение от источника 1 через монохроматор 2 и вводящее устройство 3 подают во входной световод 4. Выход этого световода подключается к измерителю мощности 7 (на рисунке показано штриховой линией). Мощность измеряется на двух линиях волн  $P_1(\lambda_1)$  и  $P_2(\lambda_2)$ . Затем через муфту 5 с калиброванной прокладкой включается выходной световод 6 и без изменений условий ввода на выходе световода 4 проводятся измерения мощности на тех же длинах волн  $P_2(\lambda_1)$  и  $P_2(\lambda_2)$ .

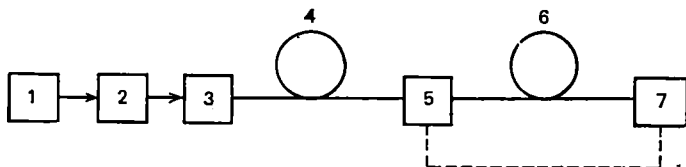


Рис. 4.73

Затухание, дБ, рассчитывают по формуле  $A(\lambda_i) = 10 \lg[P_1(\lambda_i)/P_2(\lambda_i)]$ . После этого вычисляют  $D_c$ ,  $N_a$  и  $\lambda_c$ , как показано выше. Источниками погрешности измерения параметров одномодового световода при этом методе является: отклонение реального распределения поля в поперечном сечении от гауссовского; френелевские отражения между торцами сопрягаемых световодов; линейные смещения и угловые перекосы осей сопрягаемых световодов; погрешности измерения мощности; погрешности измерения длины волны. Суммарные значения относительных погрешностей измерения не превышают  $\pm 0,5\%$  по длине волны отсечки и хорошо совпадают со значениями, измеренными другими методами.

#### 4.12. ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧАЮЩИХ И ПРИЕМНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И УСТРОЙСТВ

Преобразователями электрических сигналов в оптические в системах передачи информации служат источники оптического излучения, обеспечивающие возможность модуляции его электромагнитными колебаниями вплоть до СВЧ диапазона. Основными источниками излучения в системах являются полупроводниковые светоизлучающие диоды и полупроводниковые лазеры. Они обладают большой мощностью излучения, высоким КПД, хорошей совместимостью со световодом и легко модулируются. Основными определяемыми в процессе измерений параметрами и характеристиками являются: средняя или максимальная мощность излучения, форма импульса оптического излучения или параметры характерных участков, зависимость мощности излучения от уровня накачки (ватт-амперная характеристика), спектральное или пространственное распределение мощности излучения, стабильность и надежность источника.

Преобразователями оптических сигналов в электрические в системах передачи информации служат приемники оптического излучения. Всем требованиям, предъявляемым к приемникам, в настоящее время удовлетворяют в первую очередь полупроводниковые светодиоды. Основными определяющими характеристиками приемников излучения являются: характеристика преобразования оптического сигнала в электрический, ее линейность в рабочем диапазоне входных сигналов, стабильность; переходная или импульсная характеристика, постоянная времени или частотная характеристика. При использовании приемников в контрольно-измерительной аппаратуре они становятся измерительными преобразователями. Это приводит к необходимости определения перечисленных выше характеристик с гарантированной точностью.

Законченными функционально-конструктивными устройствами в системе передачи являются так называемые квантово-электронные модули, имеющие штепсельные электрические соединители

или гибкие выводы и оптические соединители. Они выпускаются в гибридно-интегральном или интегральном исполнении. Квантово-электронные модули являются оконечными (КЭМ-передатчик, электрооптический преобразователь и КЭМ-приемник, оптоэлектрический преобразователь) и промежуточными (КЭМ-ретранслятор, выполняющий функцию оптического усиления). Модули бывают аналоговыми и цифровыми.

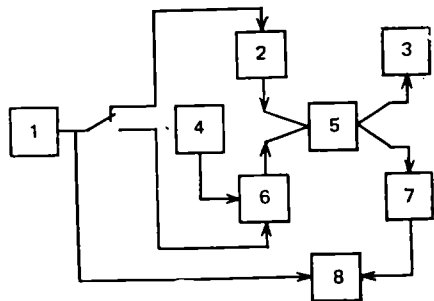


Рис. 4.74

Цифровые содержат кодирующие, декодирующие устройства и преобразователи кодов. Входное устройство КЭМ-передатчика и выходное устройство КЭМ-приемника, рассчитаны на работу с сигналами, соответствующими уровням цифровых микросхем ТТЛ и ЭСЛ серий. В аналоговых КЭМ используются амплитудная, частотная и фазовая модуляции. Каждый вид КЭМ имеет номенклатуру измеряемых и аттестуемых параметров.

**Измеряемые параметры передатчиков.** Структурная схема измерения основных параметров КЭМ-передатчиков представлена на рис. 4.74. Импульсный генератор 1 возбуждает либо электрооптический преобразователь 2, либо испытуемый КЭМ 6. Излучение КЭМ или электрооптического преобразователя через оптический х-образный разветвитель 5 поступает на измеритель средней мощности 3 и оптико-электрический преобразователь 7. Электропитание КЭМ обеспечивается блоком 4. Модулирующие импульсы генератора и импульсы с выхода оптико-электрического преобразователя анализируются на экране двухлучевого стробоскопического осциллографа 8.

Данная схема обеспечивает измерение энергетических и временных параметров излучения КЭМ, зависимость этих параметров от входных данных, температуры, источников питания. Параллельный канал с электрическим преобразователем служит для проверки работоспособности установки и для калибровки. При исследовании и измерении параметров передатчиков и метрологической аттестации измерительных установок необходимо учитывать многочисленные факторы, влияющие на качество измерительного сигнала. Рассмотрим некоторые из них.

Важным фактором является зависимость импульсной мощности от уровня накачки. Для полупроводниковых лазеров с электронной накачкой необходимо наличие высоковольтного источника постоянного напряжения до 60 кВт, а также формирователя импульсов для модуляции электронного потока с амплитудой 300 ... 600 В и временными характеристиками, соответствующими требуемым временным характеристикам импульса излучения; для питания инжекционных полупроводниковых лазеров и излучаю-

щих диодов необходим генератор импульсов тока с амплитудой до 30 ... 35 А с требуемыми временными характеристиками.

Важными также являются спектральные характеристики излучения. Требуемые спектральные характеристики излучения могут быть обеспечены подбором подходящего образца полупроводникового лазера с электронной накачкой или инжекционного полупроводникового лазера. В случае использования излучающих диодов необходимо иметь соответствующий интерференционный светофильтр, что вызывает неизбежные потери мощности. Пространственные характеристики имеют большое значение для возбуждения световодов. Они оцениваются по углу между двумя направлениями, на которых интенсивность излучения уменьшается в 2 раза в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Исследования показали, что формирующая оптика при использовании излучающих диодов (диаграммы которых шире, чем у инжекционных полупроводниковых лазеров) должна обладать большим относительным отверстием, чем при использовании полупроводниковых лазеров. Наличие процессов деградации полупроводниковых излучателей, а также трудности контроля импульсов с большой амплитудой потребовали разработки системы калибровки, которая может обеспечить воспроизведение одного и того же уровня мощности на выходе установки. При калибровке может контролироваться любая характеристика источника излучения, имеющая однозначную устойчивую связь с амплитудным значением мощности излучения. В [19] рекомендуется использовать для контроля среднюю мощность излучения на выходе. Приемником излучения целесообразно использовать фотодиод в специально подобранном режиме, нестабильность чувствительности которого может не превышать 0,05%. Так как нет достоверных данных о долговременной стабильности диода, при калибровке используется опорный источник излучения (например, на основе светоизмерительной лампы СИ-6-40), предназначенной для контроля чувствительности фотодиода. При измерении временных параметров повторяющихся импульсов (наиболее характерный режим работы регенератора в системах передачи информации) предпочтительным считается стробоскопический метод регистрации электрического сигнала. В этом случае временное разрешение ограничивается только постоянными времени фотоприемника, так как полоса современных стробоскопических осциллографов не ограничивает регистрацию временных параметров субнаносекундных и пикосекундных сигналов. Кроме того, принцип действия стробоскопических устройств обеспечивает хорошую совместимость с вычислительными устройствами, что обеспечивает математическую обработку измеряемых сигналов, включая вычисление спектров. Другой возможностью оценки временных параметров пикосекундных оптических импульсов являются корреляционные методы.

**Измеряемые параметры приемников.** Принцип действия измерительных установок основан на измерении выходного сигнала

фотоприемного устройства при воздействии на его чувствительный элемент измерительного оптического сигнала, отвечающего требованиям в соответствии с предыдущим разделом. Структурная схема определения основных характеристик приемных модулей представлена на рис. 4.75. Импульсы с генератора 1 возбуждают электрооптический преобразователь 2, излучение которого через оптический разветвитель 3 поступает на оптический аттенюатор 4 и оптоэлектрический преобразователь 10. После аттенюатора излучение разветвителем 5 направляется на измеритель средней мощности излучения 6 и испытуемый КЭМ-приемник 8. Питание КЭМ осуществляется блоком 7. Электрические выходные сигналы КЭМ анализируются вольтметром 9 и двухлучевым стробоскопическим осциллографом 11, на второй вход которого поступают выходные импульсы опто-электрического преобразователя 10. Параллельный канал с опто-электрическим преобразователем служит для проверки работоспособности и настройки измерительного устройства. Устройство, выполненное по этой схеме, обеспечивает измерение (контроль) энергетических и временных параметров излучения и выходных электрических сигналов КЭМ. Сначала измеряется уровень собственных шумов на выходе модуля при отсутствии излучения на входе. После подачи на вход КЭМ излучения аттенюатором вносят затухание до получения на выходе КЭМ заданного соотношения напряжений логических уровней (для цифровых КЭМ) или отношения сигнал-шум для аналоговых модулей. Увеличением уровня оптического сигнала определяются чувствительность (при отключенной системе АРУ) и диапазон работы АРУ (в режиме работы с АРУ). Для цифровых КЭМ определяется вероятность ошибок как числа несовпадений сигналов к общему числу посланных. Для исследования временных характеристик быстродействующих фотоприемников требуются оптические сигналы, которые допускают аппроксимацию  $\delta$ -функцией, «ступенькой» и последовательностью импульсов в виде  $\delta$ -функций с регулируемым периодом. Первые два сигнала необходимы для измерения параметров импульсной и переходной характеристики приемника, третий — для определения разрешения во времени. Обеспечение измерения временных (ди-

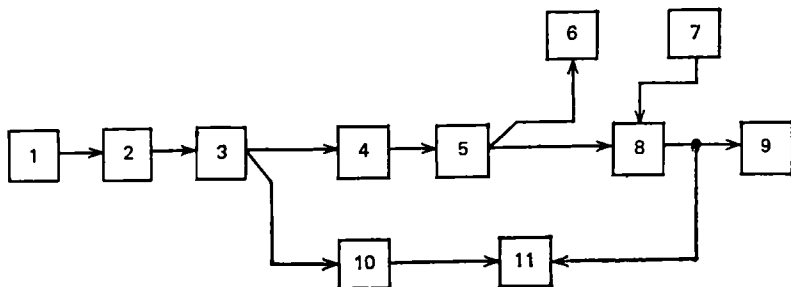


Рис. 4.75

намических) характеристик приемников предъявляет жесткие требования к измерительным оптическим импульсам по их форме и контролю их параметров. Наиболее перспективными для использования в качестве основного элемента измерительных генераторов оптических импульсов являются полупроводниковые инжекционные излучатели (лазеры и световоды), так как в инжекционных излучателях осуществляется прямое преобразование подводимой электрической энергии в оптическую, в отличие от газовых и твердотельных лазеров, где имеет место ряд промежуточных процессов. Это обстоятельство позволяет гибко управлять параметрами выходного оптического сигнала. Лазерные источники позволяют получать импульсы длительностью  $10^{-10}$  с и менее с частотой повторения около нескольких гигагерц; светодиоды более инерционны и позволяют получать импульсы не короче нескольких наносекунд с предельной частотой повторения несколько сотен мегагерц. Как отмечалось, приемник излучения может служить измерительным преобразователем — тогда его основным метрологическим параметром является характеристика (коэффициент) преобразования. *Коэффициент преобразования* — отношение изменения полезного сигнала на выходе измерительного преобразователя к вызвавшему его изменению сигнала на входе. В отличие от приемника излучения, для которого коэффициент преобразования является чувствительностью и задается числом, в случае «приемник — измерительный преобразователь» этот коэффициент приписывается СИ с гарантируемой погрешностью. В реальных условиях электрический сигнал фотопреобразователя оказывается малым для дальнейшей обработки и измерения. Поэтому в приемных КЭМ применяется внутреннее усиление. В этом случае верхний предел линейности может определяться как характеристиками усилителя, так и фотодетектора, а нижний предел — характеристиками усилителя. При исследовании линейности характеристики преобразования обычно производят измерение верхней границы линейности преобразования и отклонение от линейности на рабочем участке диапазона прибора. На практике оказывается, что характеристика преобразования зависит от длительности воздействующих импульсов, а также от режимов питания и сопротивления нагрузки фотоприемника. В общую погрешность измерения нелинейности вносит вклад нестабильность существующих импульсных источников, поэтому в общем случае погрешность измерения нелинейности преобразования на импульсных потоках больше, чем при непрерывном сигнале. Существует ряд методов измерения. Рассмотрим наиболее приемлемые.

*Метод сложения потоков* обладает минимальными систематическими погрешностями и используется для измерения нелинейности преобразователя фотоприемников на определенном участке рабочего диапазона. Принцип измерения состоит в том, что прибором измеряют последовательно два оптических потока, затем сумму этих потоков, а по соотношению выходных сигналов



судят о нелинейности преобразования в рассматриваемом интервале рабочего диапазона. Практически излучение лазера собирается объективом и через две диафрагмы (одна из которых переменная) фокусируется на приемную площадку исследуемого фотоприемника, амплитуда выходного сигнала которого измеряется стробоскопическим осциллографом или импульсным вольтметром. Процедура измерения может быть следующей. Переменная диафрагма перекрывается светонепроницаемым экраном — на фотоприемник попадает часть излучения, прошедшего через постоянную диафрагму. Фиксируется выходной сигнал  $U_1$ . Затем перекрывается постоянная диафрагма и открывается переменная — ее регулировкой добиваются показания  $U'_1 = U_1$ . После этого открываются обе диафрагмы и фиксируется сигнал  $U_2$ , вызванный суммарным излучением, прошедшим через обе диафрагмы. Далее постоянная диафрагма снова перекрывается, и, изменяя площадь переменной, добиваются  $U'_2 = U_2$ . Затем открывают обе и производят изменение  $U_3$  и т. д. Такой способ позволяет перекрывать диапазон в 1 ... 2 десятичных порядка. В случае идеальной линейности характеристики сигнал на выходе меняется линейно, т. е.  $U_n = nU_1$ . Однако в реальном случае характеристика нелинейна и отклонение от линейности оценивают степенью отличия от единицы коэффициента  $K_n = (U_n - U_T) / \{(n+1)U_1 - U_T\}$ , где  $U_T$  — темновой фон (сигнал исследуемого фотоприемника при закрытых диафрагмах). Описанный метод характеризуется высокой точностью, но достаточно трудоемок.

Распространенным методом измерения линейности преобразователя оптического сигнала в электрический является метод, основанный на использовании *поглощающих светофильтров* калиброванного ослабления потока излучения. Погрешностью определения линейности в этом случае определяется погрешностью аттестации светофильтров по пропусканию, их стабильностью во времени и т. п. Для определения линейности фотоприемников в широком диапазоне могут применяться сочетания методов сложения потоков и использования поглощающих светофильтров.

**О системе параметров ретрансляторов.** Как отмечалось раньше, третьим функциональным устройством наряду с передатчиком и приемником является ретранслятор. Квантово-электронный модуль-ретранслятор осуществляет функцию оптического усилителя в системе передачи. Система параметров ретранслятора включает входные характеристики КЭМ-приемника, выходные характеристики КЭМ-передатчика, измеряемые у приемника или передатчика соответственно, а также вероятность ошибки при преобразовании сигнала, напряжение питания, потребление мощности. Для аналоговых модулей вводят дополнительные параметры: коэффициент усиления, коэффициент нелинейных искажений или вводимых предискажений.

Вопросы автоматизации измерений параметров квантово-электронных модулей. Основными трудностями автоматизации измерения параметров КЭМ является разнообразие оптических, элек-

трических и временных параметров. Наряду с этим существуют принципиальные трудности измерения при высоких частотах модуляции.

Предложена система автоматизированного оборудования для измерений параметров элементов систем передачи во временной области с последующим переходом в частотную область с помощью дискретного преобразования Фурье. Модуляция излучения в этой системе осуществляется электронно-оптическим модулятором, работающим в режиме бегущей волны. Волноводная структура модулятора на кристалле танталата лития позволила получить полосу пропускания около единиц гигагерц. В качестве опорного используется сигнал, снятый с проходной нагрузки модулятора. Для формирования модулирующих импульсов применен формирователь на германиевых диодах с накоплением заряда и временем восстановления обратного сопротивления не более 120 нс. Получен испытательный импульс с длительностью фронта 0,3 нс и амплитудой 10 В. Предусмотрена возможность генерации двоянных импульсов с регулируемой относительной задержкой, что позволяет измерять временные разрешения фотоприемников прямым методом. Показана возможность создания генераторов оптических импульсов с частотой модуляции 500 и 1000 МГц на лазерном диоде. Длительность импульсов составляла 10 пс, мощность импульса излучения 160 мВт. Это достигнуто использованием синхронизации лазерного диода с помощью внешнего резонатора и накачки сверхкороткими импульсами. Альтернативой быстродействующим фотодиодам является оптический стробоскопический осциллограф, использующий стробоскопическое преобразование в вакуумных фотодетекторах типа ФЭУ. Удалось получить стробоскопические вырезки из фототока порядка  $10^{-10} \dots 10^{-12}$  с. Разработанный оптический осциллограф имеет диапазон временных разверток от 0,1 до 200 нс, время нарастания переходной характеристики менее 50 пс, диапазон мощностей оптических сигналов 60 дБ ( $10^{-2} \dots 10^{-8}$  Вт) без использования внешних ослабителей. Важным направлением в разработке автоматизированной аппаратуры для измерения параметров квантово-электронных модулей является создание статистических анализаторов импульсного излучения и синтезаторов многопараметрических воздействий. Существующий анализатор предназначен для исследования распределений амплитуды и длительности на заданном уровне оптических сигналов в регулярных и случайных потоках. Рабочий диапазон интенсивностей около 30 дБ. Временной диапазон лежит в интервале 2...40 нс. Максимальная частота повторения сигналов до 10 кГц. Максимальная основная приведенная погрешность амплитудного канала не превышает 2,5%, а временного 4,5%. Синтезатор предназначен для создания испытательных воздействий в форме: временных интервалов в диапазоне  $10^{-6} \dots 10^{-3}$  с и шагом дискретной перестройки 0,5 нс; напряжений с числом градаций  $2^{12}$  (4096) и в форме интенсивностей оптических сигналов с числом градаций  $2^{10}$ . Сигналы мо-

гут изменяться как по детерминированному закону, так и по случайным — равновесному и нормальному — законам с заданными параметрами распределения. В настоящее время существуют автоматизированные тестеры для испытания приемников и передатчиков оптических сигналов в диапазоне частот 0,4 ... 1000 МГц. Они измеряют отношение сигнал-шум, нелинейные искажения, чувствительность. Тестеры работают в двух режимах: измерения параметров приемников и передатчиков. Возможно как ручное управление, так и через магистраль интерфейса от ЭВМ.

Важным направлением развития автоматических комплексов и методов измерения параметров оптических систем является исследование косвенных методов оценки с возможностью быстрой математической обработки результатов, выявляющей зависимости между подлежащими исследованию параметрами. В этом качестве перспективным представляется использование в качестве измерительных сложных (шумоподобных) сигналов. Создание синтезаторов сложных воздействий — первый шаг в этом направлении.

### 4.13. РАБОЧИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Рабочие средства измерений (РСИ) параметров и характеристик оптических систем передачи разрабатываются и выпускаются в виде универсальных приборов общего назначения либо средств измерения целевого назначения. Обобщение сведений в библиографии, приведенной в [19], позволяет определять основные технические требования к РСИ параметров и характеристик световодных систем передачи и их номенклатуру:

1. РСИ мощности (оптические ваттметры): пределы измерения  $P_{ср}$ ,  $P_{и.ср}$  (средняя в импульсе),  $P_{и.маx}$   $10^{-12}$  ...  $10^{-10}$  Вт; длина волны излучения  $\lambda$  в окрестности 0,85, 1,3 и 1,55 мкм; ширина спектральной линии  $\Delta\lambda=0,1$  ... 60 нм; длительность импульсов оптического излучения не менее  $10^{-9}$  с (для многомодовых) и  $10^{-12}$  (для одномодовых); погрешности измерений не более 10 ... 30%.

2. РСИ затухания: пределы измерений до 60 дБ; длина волны в области  $\lambda=0,85$ ; 1,3; 1,55 мкм; погрешность измерений не более 0,5 ... 2 дБ.

3. РСИ длин и расстояний до мест повреждений волоконных световодов: пределы измерений  $L=10$  ...  $10^4$  м; погрешность измерения не более 0,5 ... 2 м.

4. Оптические измерительные аттенюаторы: рабочий диапазон по ослаблению 1 ... 60 дБ; погрешность градуировки 0,1 ... 0,5 дБ;  $\lambda=0,85$ ; 1,3; 1,55 мкм.

5. РСИ амплитудно-частотной характеристики: полоса частот 20 ...  $10^3$  МГц по уровню —3 дБ.

6. РСИ динамических параметров оптических импульсов должны обеспечивать измерение временных параметров с разрешением до  $5 \cdot 10^{-5}$  с и погрешностью не более 20%.

7. Пределы измерения угловых апертур излучателей, приемников, волоконных световодов и кабелей  $NA=0,08 \dots 0,8$  ( $5 \dots 60$ )°.

Остановимся на рассмотрении достаточно распространенных серийно выпускаемых РСИ, отражающих современные тенденции приборостроения применительно к световодным системам передачи информации<sup>1</sup>.

Измерительные генераторы оптических сигналов ОГЧ-162 ( $\lambda=0,85$  мкм) и ОГЧ-163 ( $\lambda=1,3$  мкм), прошедшие государственные испытания и включенные в государственный реестр СИ. Предназначены для генерирования оптических синусоидальных сигналов и измерения АЧХ элементов световодных систем передачи с диаметром световода 50/125 мкм. Могут использоваться для настройки, регулировки и испытаний измерительной аппаратуры, элементов, узлов. Принцип работы основан на преобразовании электрического сигнала (постоянного напряжения и переменного модулирующего) в оптический с помощью специальных световодов с линейной ватт-амперной характеристикой, что обеспечивает малые нелинейные искажения огибающей модулированного сигнала. Нестабильность уровня выходной мощности 10% обеспечивается термостатированием световода и обратной связью. Мощность излучения на выходном соединителе генераторов не менее  $10^{-5}$  Вт ( $\lambda=0,85$  мкм) и  $2 \cdot 10^{-6}$  Вт ( $\lambda=1,3$  мкм) при регулируемом коэффициенте амплитудной модуляции в пределах 0...85%. Предел допускаемого значения погрешности установки ослабления мощности оптических сигналов не более 20%, а коэффициента амплитудной модуляции — не более 15%. Диапазон частот огибающей модулированного синусоидального сигнала 20...10<sup>7</sup> Гц при амплитуде сигнала внешнего генератора не более 3 В. Коэффициент гармоник огибающей модулированного сигнала при глубине модуляции 30% для частот 100 Гц...20 кГц не более 2%, а для частот выше 20 кГц — не более 5%.

Комбинированный генератор оптических и электрических импульсов ОГ5-87, прошедший государственные испытания и включенный в государственный реестр СИ, предназначен для генерирования кодовых и псевдослучайных последовательностей оптических и электрических сигналов (импульсов) и обеспечения измерения параметров световодных систем передачи на длинах волн 0,85 и 1,3 мкм. Генератор является средством МО цифровых устройств световодных систем передачи по параметрам переходной характеристики, КО и чувствительности, а также систем с ИКМ, цифровых генераторов и фотоприемных устройств. Генератор может использоваться и как источник данных в оптическом и электрическом диапазонах для цифровых систем обработки, шифровки и дешифровки информации, имитации и моделирования цифровых потоков в указанных диапазонах оптического сигнала. Основные технические характеристики: средняя мощность оптического излучения 0,1...1,1 мВт; минимальная дли-

<sup>1</sup> Данные взяты из [19].

тельность импульсов, длительность фронта и среза импульсов  $5 \cdot 10^{-9}$  с; глубина модуляции оптического сигнала не менее 70%; тактовая частота 0,01 ... 50 МГц; регулярная последовательность оптических и электрических импульсов 15 и 16 бит; длина псевдослучайной последовательности импульсов  $2^{15}-1$  и  $2^{23}-1$  бит; пределы допускаемых значений погрешностей установки тактовой частоты 10%; амплитуды импульсов 10%, средней мощности оптического излучения 20%.

Разработаны и выпускаются генераторы оптических синусоидальных сигналов при внешней модуляции ОГЧ-162 ( $\lambda=0,87 \pm 0,7$  мкм) и ОГЧ-163 ( $\lambda=0,3 \pm 0,1$  мкм). В этих генераторах средняя мощность не менее  $10^{-5}$  Вт, погрешность установки выходной мощности 20%, частота модуляции 20 ...  $10^7$  Гц, глубина модуляции 10 ... 85%. Функциональная схема спекроанализатора (комбинированного СИ длины волны и мощности) показана на рис. 4.76,а. Принцип действия прибора основан на известной зависимости коэффициента пропускания фильтра от длины волны. В качестве избирательного элемента используется интерференционный фильтр. Излучение от оптического соединителя 1 коллимируется и подается на вход интерференционного фильтра 2, где часть излучения отражается. Затем по отношению проходящей и отраженной мощностей, снимаемых с фотоприемников 3, в логарифмическом преобразователе 4 вычисляется длина волны, причем результат не зависит от уровня входной оптической мощности.

Входная оптическая мощность измеряется суммированием отраженной и прошедшей через фильтр 2 оптических мощностей в сумматоре 5. Данные измерений отражаются на дисплее 6. Для двух спектральных областей ( $\lambda=0,85$  и  $\lambda=1,3$  мкм) применяют соответствующие интерференционные фильтры и погрешность измерения волны составляет  $\pm 1$  и  $\pm 2$  нм соответственно. Основная погрешность измерения длины волны обусловлена нелинейностью характеристик фильтра и широким спектром измеряемого излучения (особенно при исследовании светозлучающих диодов). В системах передачи, где световод возбуждается несколькими длинами волн излучения, необходимо раздельное изме-

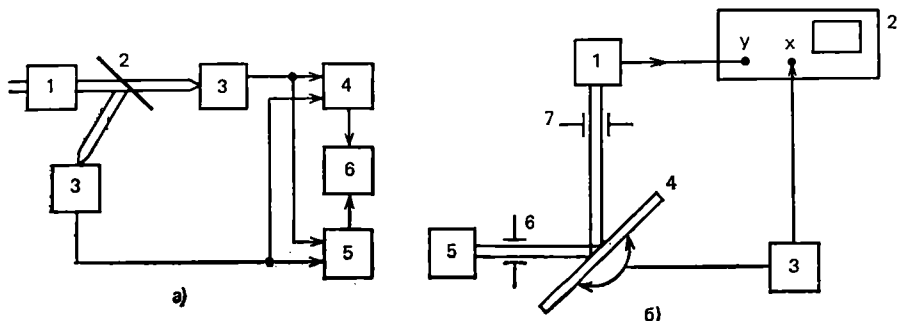


Рис. 4.76

рение длины волны. Кроме того, при точных измерениях затухания и дисперсии должна быть известна полуширина спектра излучения источника. Для подобных измерений пригоден простой оптический анализатор спектра с индикатором на электронно-лучевой трубке (ЭЛТ), устройство которого показано на рис. 4.76,б. Спектр излучения исследуется с помощью вращающейся дифракционной решетки 4, положение которой отображается на горизонтальной оси индикатора ЭЛТ 2 с помощью потенциометра 3. Анализируемое излучение подается через оптический разъединитель 5, входную щель 6 и отраженное от дифракционной решетки после выходной щели 7 подается на фотоприемник, с выхода которого электрический сигнал подается на канал У ЭЛТ. Спектральное разрешение зависит от параметров решетки и ширины щелей монохроматора и составляет 0,1 нм.

Средства измерений мощности оптического излучения построены на принципе агрегатирования, когда базовому блоку придаются несколько чувствительных оптических блоков, обеспечивающих перекрытие диапазона по мощности в пределах  $-90 \dots +10$  дБм в интервале длин волн 0,4 ... 1,8 мкм. Показательны в этом отношении измерители средних мощностей ML-93A (фирма ANRITSU, Япония) и AQ-1115 (фирма ANDO, Япония). В каждом из них используется по четыре сменных блока, цифровая индикация в 4—5 десятичных знака и аналоговый выход, разрешающая способность примерно 0,1% (при индикации, Вт) и 0,01 дБ (при индикации, дБм).

Необходимость в многофункциональных СИ выяснилась в процессе эксплуатации, поскольку основная часть времени измерение приходится на подключение прибора, т. е. на подготовку торцов, стыковку с СИ и юстировку. С развитием оптических систем передачи, когда контроль принял массовый характер, особенно остро встал вопрос снижения времени контроля. Эта задача решалась путем создания многофункциональной установки, в которой однажды соединенный световод автоматически контролируется по нескольким параметрам. Автоматическая многофункциональная измерительная система бюро стандартов США позволяет выполнять следующие операции: подготовку торцов световодов на максимальный сигнал в трех взаимноперпендикулярных направлениях (автоматически); измерение затухания в децибелах на длинах волн 0,85; 1,3; 1,6 мкм; измерение полосы пропускания на длинах волн 0,85 и 1,3 мкм; измерение длины световода и числовой апертуры — автоматически с одной остановкой для выполнения ручной операции обламывания световода. Система позволяет производить выходной контроль одного образца световода с выполнением указанных операций в течение 7 мин. Управление процессом измерения и обработки результатов проводится по программе ЭВМ.

Следующим примером многофункционального РСИ является импульсный оптический рефлектометр, основанный на методе обратного рассеяния. Он может обеспечивать измерение и исследо-

вание следующих параметров и характеристик световодов: мест неоднородности вследствие локации импульсных сигналов по длине световода; затухания и распределения потерь вдоль линии; коэффициента обратного рассеяния в световоде; диаметра сердцевины и его флуктуации по длине; показателя преломления сердцевины и форму профиля показателя преломления; наличия в световоде микротрещин и микроизгибов; временной стабильности затухания

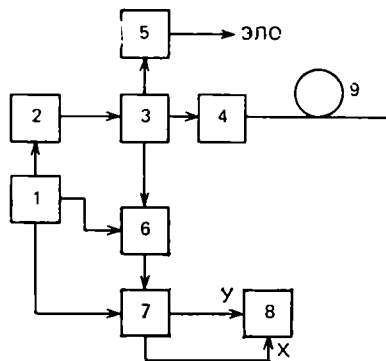


Рис. 4.77

оптических сигналов в световоде, затухания между двумя любыми точками световода; дополнительных потерь в местах соединений световодов. Структурная схема рефлектометра (производство СССР) приведена на рис. 4.77. Оптический сигнал от инжекционного лазера 2 через волоконно-оптический направленный ответвитель 3 и соединитель 4 вводится в исследуемое волокно 9. Сигнал обратнорассеянного излучения поступает на фотоприемник 6 и с него в систему регистрации. Задающий генератор 1 служит для синхронизации работы излучателя, фотоприемника и стробоскопического преобразователя 7 с графопостроителем 8 на выходе. Контрольный фотоприемник 5 предназначен для контроля стабильности мощности и формы импульсов излучения с помощью электронно-лучевого осциллографа ЭЛО.

Оптические тестеры предназначены для настройки, обслуживания и ремонта световодных систем передачи. Они позволяют измерять уровень оптического сигнала на разных участках линии и определяют затухание различных элементов. Оптические тестеры включают в себя генератор оптического излучения, измеритель средней мощности (уровня оптического сигнала) и набор оптических кабелей с различными соединителями. Конструктивно оптические тестеры выполняются в виде малогабаритных (один, два) блоков с питанием от сети или батарей. Схема оптического тестера модели М593А (фирма ANRITSU, Япония) изображена на рис. 4.78. Переключатель  $\Pi_1$  обеспечивает работу тестера как приемника оптического сигнала либо как источника. Тестер содержит внутренний генератор (модулятор) 8, управляющий работой возбуждателей 3, 6, возбуждающих лазерные диоды 4, 7 в соответствии с положением переключателя  $\Pi_3$ . При работе с внешним источником модуляции необходимый уровень модулирующего сигнала обеспечивается усилителем 5. Микрофон 1 с усилителем 2 позволяет получать амплитудную модуляцию оптического сигнала для телефонной связи по исследуемому каналу. Приемное устройство включает в себя фотодиод 9, усилители 10, 11, 12, полосовой фильтр 13, детектор 14 и выходной индикатор

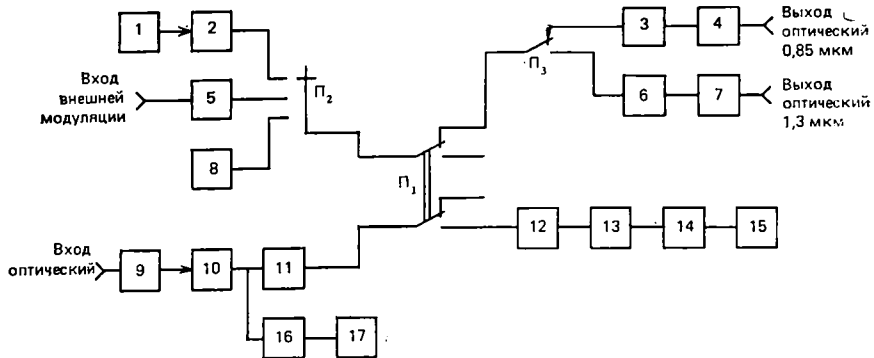


Рис. 4.78

15, проградуированный в милливаттах и децибелах превышения нулевого уровня сигнала. Параллельный канал, состоящий из усилителя 16 и телефона 17, обеспечивает возможность приема амплитудно-модулированного оптического сигнала, его демодуляцию и преобразование в звуковой сигнал. Телефонная связь осуществляется только при подключении переключателем  $\Pi_1$  микрофона 1 с усилителем 2. В режиме внутренней модуляции телефон работает как зуммер. Оптические тестеры «Электроника-ОТ-6» и «Электроника-ОТ-7» (цифровой) предназначены для измерения средней мощности в системах оптической связи в динамическом диапазоне 60 дБ (с погрешностью 1 дБ) и 30 (0,5 дБ) соответственно. Рабочие длины волны 0,81 ... 0,89 мкм, измеряемая мощность  $3 \cdot 10^{-9} \dots 3 \cdot 10^{-3}$  (для ОТ-6) и  $10^{-9} \dots 10^{-3}$  (для ОТ-7). Оба тестера позволяют измерять среднюю мощность оптического излучения активных элементов системы связи (передатчиков, ретрансляторов) либо коэффициент передачи ее пассивных элементов и порог чувствительности фотоприемников. Могут быть использованы при настройке и ремонтно-профилактических работах. Принцип действия тестеров основан на преобразовании приемным фотодиодом (кремниевым) мощности оптического излучения на выходе световода в электрический сигнал и измерении его уровня по шкале стрелочного индикатора (ОТ-6) или цифрового (ОТ-7). Тестеры калибруются на длине волны 0,85 мкм.

**Методы и средства поверки РСИ.** Средства поверки и аттестации РСИ мощности и энергии для систем оптической связи наиболее отработаны. Метрологическая обеспеченность измерений других параметров и характеристик систем передачи находится на уровне разработки, что особенно относится к параметрам и характеристикам световодов.

Аттестация РСИ продольных параметров световодов и кабелей. Эти средства в основном базируются на локационном методе, т. е. фактически измеряется время задержки  $t_z$  оптического сигнала в световоде при френелевском отражении рэлеевском рассеянии. Таким образом аттестации подлежит СИ времен-



ных интервалов, с помощью которого косвенно измеряется длина световода или место его повреждения. С этой целью создана измерительная установка, схема которой представлена на рис. 4.79. Аттестация производится методом замещения путем сравнения результатов измерений  $t_3$  в отрезке световода, полученных с помощью аттестуемого средства и на установке, которая обеспечивает измерение времени однократного  $t_3$  и двукратного  $2t_3$  пробега оптического импульса по световоду.

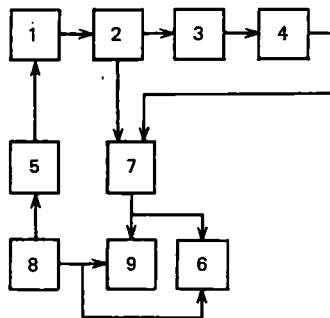


Рис. 4.79

Измерение времени заключается в точном определении временного интервала между сигналами зондирующего и задержанного импульсов. Импульс излучения лазера 1 через оптический ответвитель 2 и узел стыковки 3 вводится в отрезки световода 4 различной длины. С помощью фотоприемного устройства 7 и осциллографа 9 регистрируются зондирующий и прошедший через световод оптические импульсы. Точное измерение задержки определяется с помощью источника калиброванных временных сдвигов 8 и цифрового измерителя временных интервалов 6. Возбуждение лазера осуществляется генератором 5. Для определения времени двукратного пробега используют френелевское отражение выходного торца световода. Использование многократного пробега для многомодовых волокон нецелесообразно из-за затягивания фронта при многократном отражении. Граница неисключенной систематической погрешности оценена как  $\theta=0,36$  нс при доверительной вероятности  $p=0,95$ ; СКО равно 0,06 нс при  $p=10$ . Границы погрешности результата измерения составляют  $\Delta=\pm 0,5$  нс при  $p=0,95$ ,  $p=10$ . Таким образом, в единицах длины при значении показателя преломления сердцевины  $n_c=1,5$  это составляет примерно 10 см.

**Аттестация РСИ затухания.** Анализ методов измерения затухания в световодах показывает, что с точки зрения погрешности измерений и простоты реализации наиболее предпочтительным является измерение методом двух точек с использованием способа обламывания и способа согласованного ввода. Способ обламывания целесообразен при первичных измерениях затухания в конкретных образцах световода, а способ согласованного ввода — при измерениях затухания в кабелях и повторных измерениях в световодах. Функциональная схема высокоточной измерительной установки для измерения методов двух точек с использованием обламывания отличается от приведенной (см. рис. 4.66) введением особоточных стыковочных узлов, смесителей мод, фильтров, активных каналов регулировки мощности, канала свидетеля и т. п.

**Метрологическое обеспечение РСИ малых уров-**

ней мощности и энергии импульсного оптического излучения базируется на фотоприемном устройстве, состоящем из входного оптического устройства, фотоприемника, термостата, усилителя и преобразователя импульсного электрического сигнала в напряжение постоянного тока. Вторичным прибором является цифровой вольтметр постоянного тока. Особенности МО и анализ погрешности приведен в [19]. Показано, что погрешность воспроизведения размера единицы энергии в наиболее благоприятном случае не превышает  $\pm 5\%$ .

**Об эталонах и государственных поверочных схемах.** Приведенные выше параметры РСИ для оптических систем передачи и диапазоны измеряемых величин позволяют отнести это направление измерений к лазерной энергетической фотометрии малых и сверхмалых интенсивностей. Это сравнительно новое направление в области оптико-физических измерений, развитие которого тесно связано с внедрением ВОЛС. В настоящее время Всесоюзным научно-исследовательским институтом оптико-физических измерений (ВНИОФИ) разработаны методические указания по поверке ряда средств измерений для ВОЛС.

МИ 1818-87 — методические указания по поверке средств измерений средней мощности лазерного излучения от  $1 \cdot 10^{-10}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  Вт для волоконно-оптических систем передачи. Методические указания МИ 1686-87, МИ 1687-87, МИ 1688-87 и МИ 1689-87 представляют собой поверочные схемы для СИ числовой апертуры оптического волокна, СИ оптических вносимых потерь в компонентах волоконно-оптических систем передачи, СИ времени нарастания переходной характеристики и полосы пропускания световода, СИ профиля показателя преломления многомодового оптического волокна.

## Глава 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

---

### 5.1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Разработка, исследование, настройка и эксплуатация систем передачи требуют проведения большого числа измерений. При этом по мере нарастания сложности системы повышаются требования к точности, скорости и достоверности получаемых результатов. Возрастают удельный вес и значение косвенных и совокупных измерений, расширяется использование математических методов обнаружения ошибок и уменьшения погрешностей измерений. Усложняется обработка полученных результатов измерений — часто она должна выполняться в реальном масштабе времени по алгоритмам, изменяющимся в процессе измерения в зависимости от

получаемой измерительной информации. Все это приводит к значительному росту трудоемкости и стоимости измерений и требует создания специальных автоматизированных СИ.

Основные направления развития автоматизации

<i>Автоматизация</i>	<i>Конкретные мероприятия</i>
Частичная	Замена косвенных измерений прямыми — увеличение числа приборов с непосредственным отсчетом. Построение прямоказывающих приборов. Создание многофункциональных приборов. Применение панорамных приборов
Непрерывный контроль	Регистрация контролируемых значений. Сигнализация при выходе за пределы нормы. Использование отклонения от нормы в качестве сигнала, управляющего органом регулировки
Полная	Автоматизация регулировок в измерительных приборах. Регистрация результатов измерения: документальная, запоминание и ввод в ЭВМ. Создание измерительно-информационных систем и измерительно-вычислительных комплексов.

**Частичная автоматизация измерений.** Основной целью являются совершенствование измерительных приборов введением вычислительной процедуры в процессе косвенных измерений и получение в результате прямых показаний или использование таких структур приборов, алгоритм работы которых позволяет непосредственно измерять обратные величины, отношения, произведения и т. п. Указанное направление основано на использовании в приборах встроенных микропроцессоров, которые решают не только задачи управления, вычисления, но и позволяют расширять функциональные возможности приборов, улучшать МХ панорамных измерителей. Оператор выбирает вид измерений (измерения контрольных токов или измерения уровней каналов или групп) и тип тракта (групповые или линейные тракты систем), дальнейшие установки частот измерений производятся автоматически. Измеренные величины отображаются на дисплее в виде частотных характеристик и записываются в запоминающее устройство микропроцессора. Они же могут быть отсчитаны в цифровой форме.

**Непрерывный контроль.** Для выполнения высоких требований, предъявляемых к широкополосным трактам многоканальных систем передачи, необходим непрерывный контроль их работоспособности и качества передачи. Это особенно существенно для систем с большим числом каналов. Эксплуатационный контроль может проводиться с помощью различных устройств: встроенных устройств по контрольным точкам; высокочастотных измерительных устройств для измерения в линейном спектре; низкочастотных из-

мерительных устройств для измерений каналов в оборудовании коммутационных станций. Встроенные устройства контроля обычно дополняются устройствами периодического контроля (измерений), поскольку результаты последнего позволяют осуществлять дифференцированный анализ качества передачи, и прежде всего ряда важнейших параметров системы, не учитываемых устройствами контроля по контрольным точкам (например, амплитудно-частотные характеристики, шумы и др.).

**Полная автоматизация измерений.** Ей характерны автоматизация регулировок в измерительных приборах без участия человека, а также не только выдача информации в напечатанном виде, но и в форме, удобной для ввода в ЭВМ, которая хранит, обрабатывает данные измерений, проводит анализ, управляет процессом и выдает окончательный результат потребителю. Главным направлением, включающим в себя основные черты полной автоматизации измерений, является создание измерительно-информационных систем (ИИС), под которыми понимают системы, предназначенные для автоматического получения количественной информации непосредственно от изучаемого объекта с помощью измерения и контроля, обработки этой информации и выдачи ее в виде совокупности именованных чисел, графиков, общих выводов и команд, отражающих состояние объекта. Использование ИИС способствует совершенствованию технического обслуживания оборудования многоканальных систем передачи: все большая централизация работ по обслуживанию оборудования ввиду повышения его надежности; создание центров обслуживания, на которых собираются данные о состоянии оборудования; повышение производительности труда и сокращение штата обслуживающего персонала; увеличение объема контроля, повышение его качества и оперативности. Таким образом на основе ИИС строятся целые сети эксплуатационного контроля и измерений, которые обеспечивают целый ряд дополнительных преимуществ; проведение измерений на необслуживаемых станциях; обработку данных на центральных станциях; позволяют вести наблюдение на нескольких участках; все вычисления, требующие большого объема запоминающего устройства, могут производиться с помощью центральной ЭВМ; различные периферийные устройства облегчают наглядное представление результатов измерений на центральной станции. Последующее развитие ИИС привело к созданию измерительно-вычислительных комплексов (ИВК), отличительной чертой которых является больший удельный вес вычислительных и программных средств. Использование вычислительной техники в СИ и контроля определило развитие следующих методов: программного, аппаратного и программно-аппаратурного.

*Программный* метод контроля и измерения предполагает проведение контроля с помощью специальных испытательных программ при использовании микроЭВМ, входящих в состав СИ. Достоинством этого метода является отсутствие необходимости изменять структуру вычислительных средств и вводить дополнительное

оборудование. Однако этому методу свойственны относительно невысокая степень локализации отказов и значительный объем испытательных программ.

*Аппаратурный* метод контроля и измерения выполняется с помощью специального контрольного оборудования, осуществляющего все необходимые измерения и испытания. Это оборудование может входить в состав цифровых вычислительных средств (встроенный контроль) либо являться автономным по отношению к системе передачи и иметь свой микропроцессор. Достоинством этого метода является полнота охвата контролем объекта измерения и высокая степень локализации отказов. Однако этот метод требует дополнительного дорогостоящего оборудования.

Программно-аппаратурный метод сочетает в себе оба перечисленных выше метода и строится таким образом, чтобы свести к минимуму недостатки каждого из них и получить максимальный эффект.

Таким образом, наиболее перспективными путями автоматизации измерений в системах передачи являются разработка микропроцессорных средств измерений с автоматизацией всех этапов измерений (самокалибровка, самопроверка работоспособности, автоматический выбор пределов измерений, индикация не только среднего значения измеренной величины, но и погрешности результата измерений, в необходимых случаях запоминание измеренной величины и вычисление параметров регистрируемых сигналов) и создание на их основе ИИС и ИВК.

## 5.2. АГРЕГАТИРОВАНИЕ И УСЛОВИЯ СОВМЕСТИМОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Первые ИИС разрабатывались индивидуально для каждой конкретной измерительной задачи, причем каждый раз заново разрабатывались не только структура, но и все функциональные узлы. Такой подход оказался нерентабельным — срок разработки был большим, стоимость ИИС высокая. Поэтому был взят курс на агрегатный, блочно-модульный принцип построения, который позволяет строить систему из конструктивно законченных и выпускаемых серийно блоков и приборов. Агрегатный принцип построения резко сокращает сроки проектирования системы, система получается гибкой, упрощаются техническое обслуживание и модернизация, повышается надежность. Существуют два способа агрегатирования ИИС и ИВК. Первый способ — построение из унифицированных блоков, узлов и модулей, образующих агрегатные комплексы Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). В настоящее время промышленностью выпускается 20 агрегатных комплексов, среди них агрегатные комплексы средств электрорадиоизмерительной техники (АСЭТ), вычислительной техники (АСВТ), контроля и регулирования (АСКР) и др. Второй способ — построение системы из различных приборов, выпускаемых промышленностью, но в кото-

рые введены каскады (узлы), непосредственно не относящиеся к выполнению измерительных функций, а обеспечивающие только передачу сигналов между отдельными компонентами системы. Этот способ наряду с достоинствами первого позволяет осуществлять широкую кооперацию как в масштабах страны, так и международную.

И в первом, и во втором способах для обозначения средств сопряжения, обеспечивающих совместимость и взаимодействие устройств в ИИС или ИВК, принят термин *интерфейс* (англ. *interface*). Хотя такие системы сопряжения могут содержать цепи для передачи аналоговых сигналов, как правило, интерфейс рассчитан на выполняемый по командам обмен данных между устройствами в цифровой форме и содержит необходимую для этого номенклатуру цепей. Чтобы устройства, участвующие в обмене информацией, могли взаимодействовать, необходимо определить совокупность конструктивных механических, электрических и логических условий. Если такая совокупность условий определена, то интерфейс называется стандартным. По отношению к интерфейсу система (комплекс) в общем виде может быть представлена как совокупность приборов, передающих информацию в другие приборы (приборов-источников ПИ); приборов, воспринимающих информацию от других приборов (приборов-приемников ПП); устройств, управляющих обменом информацией по программе (контроллеров К). Конкретный прибор может выполнять не одну, а несколько функций. Например, цифровой частотомер может выдавать результаты измерения частоты — тогда он прибор-источник, и принимать команды о режимах работы, времени измерения и т. п. — тогда он прибор-приемник.

Соединение приборов и блоков осуществляется по линиям связи (линиям интерфейса); группа линий, предназначенных для выполнения одной операции в программно-управляемом процессе передачи, называется *шиной интерфейса*. Назначение отдельных шин и линий, их номенклатура и взаимное расположение являются базовыми для любого стандартного интерфейса. По взаимному расположению (топологии) различают в основном три структуры интерфейсов: цепочечную, радиальную и магистральную (рис. 5.1).

В цепочечной структуре (рис. 5.1,а) функциональные устройства соединены последовательно, контроллера может и не быть, скорость обмена минимальна. Применяется в сравнительно простых системах с малым числом приборов. В радиальной структуре (рис. 5.1,б) выделено центральное устройство — контроллер, с которым каждое устройство связано индивидуальными шинами, адресация определяется номером индивидуальных шин (соединителей), скорость обмена информацией максимальна. Контроллер должен иметь возможность подключаться к большему числу линий. В системах с магистральной структурой (рис. 5.1,в) имеются коллективные шины, к которым подсоединяются все источники, приемники и контроллер. Сигналы, проходящие по шинам магистрали, в принципе доступны всем приборам. Однако обычно в каждый момент

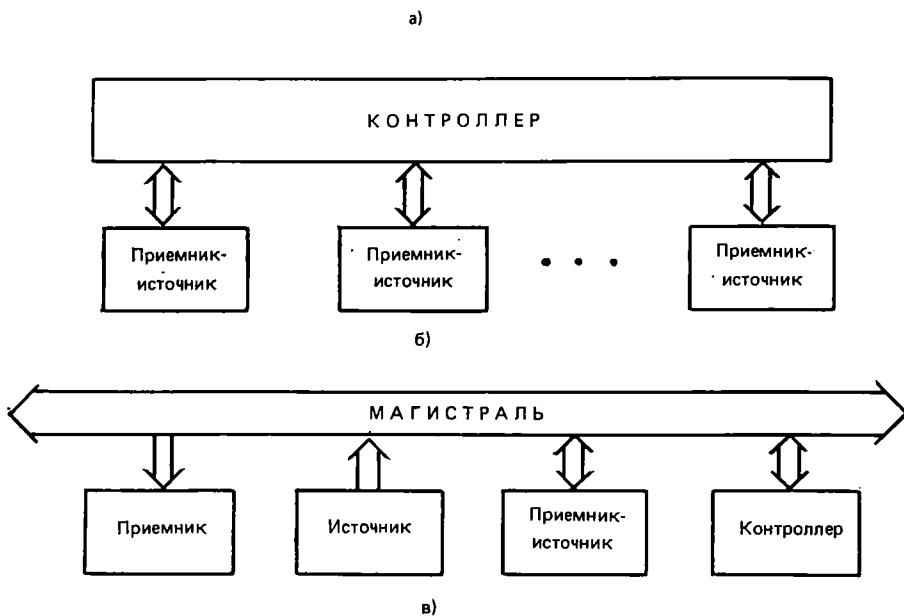


Рис. 5.1

обмен происходит между парой приборов, например ПИ—ПП (диалоговый режим), а контроллер с помощью процедуры адресации определяет приборы, участвующие в диалоге: между одним или между несколькими приборами системы и контроллером. В магистральной структуре по сравнению с радиальной меньше затрат на оборудование (кабелей, соединителей), скорость обмена ниже. Обычно магистральная структура предпочтительна при большом числе приборов в системе.

Существует большое число стандартных измерительных интерфейсов. Наибольшее распространение в технике связи получили международные стандартные интерфейсы: приборный интерфейс Международной электротехнической комиссии (МЭК) и внутриприборный интерфейс КАМАК (САМАС — Computer Applications for Measurement and Control), а для реализации сопряжения СИ с мини- и микроЭВМ — интерфейсы соответствующих типов мини- и микроЭВМ, которые получили общее название машинные интерфейсы.

### 5.3. СТАНДАРТНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

**Приборный интерфейс МЭК.** Международная электротехническая комиссия в 1975 г. приняла стандарт на интерфейс, который получил название «Стандарт МЭК». В СССР применение этого стандарта регламентирует ГОСТ 26.003—80, в странах СЭВ IMS-2, в США — IEEE-488, в ФРГ — DIN IEC 66.22 и т. д. Таким образом, этот международный стандартный измерительный интерфейс широко распространен во всех технически развитых странах и используется для создания ИИС и ИВК на основе различных измерительных приборов, различных ЭВМ и дополнительного оборудования.

Взаимосвязь приборов в системе осуществляется с помощью магистрали, состоящей из 16 линий, сгруппированных по функциональному признаку в три шины: информационную (8 линий), согласования передачи (3 линии) и общего управления (5 линий). Взаимосвязь приборов в интерфейсе МЭК иллюстрируется рис. 5.2, где система состоит из ПИ, ПП, контроллера К и прибора, совмещающего функции ПИ и ПП. Как видно из этого рисунка, приборы системы равноправны по отношению к линиям магистрали, все линии которой подключаются к приборам через специальные блоки. Эти блоки (называемые интерфейсным модулем, интерфейсной приставкой, интерфейсной картой и т. п.) должны переводить информацию с «языка» магистрали на язык прибора и наоборот. Большим преимуществом интерфейса МЭК является то, что для любого цифрового прибора можно создавать такой интерфейсный модуль, и прибор будет способен работать в составе ИВК или ИИС на основе интерфейса МЭК. Отметим, что такие модули, выпускаемые в виде интегральной схемы, практически не удорожают прибор.

Вся информация и многопроводные команды передаются по информационной шине асинхронно, в оба направления. Интерфейс не накладывает ограничений на кодирование информации; единственным требованием является необходимость передавать последовательность из восьми двоичных символов (байт). Но так как существует ряд мини-ЭВМ, применяемых в качестве контроллеров, используют определенные системы кодирования — чаще всего международный стандартный телеграфный код № 5 (в СССР ему соответствует с некоторыми модификациями код ГОСТ 13.052—74, в США — ASK11). Этот код содержит семь информационных символов, а восьмой используется в магистрали для проверки на четность, что позволяет обнаруживать единичную ошибку в пределах одного байта. Назначение шины, линий, а также их краткие характеристики приведены в табл. 5.1.

Для обращения к прибору или установления диалога ПИ—ПП контроллер должен вызвать нужные приборы посылкой их адресов. Адреса, как и команды, передаются по линиям информацион-



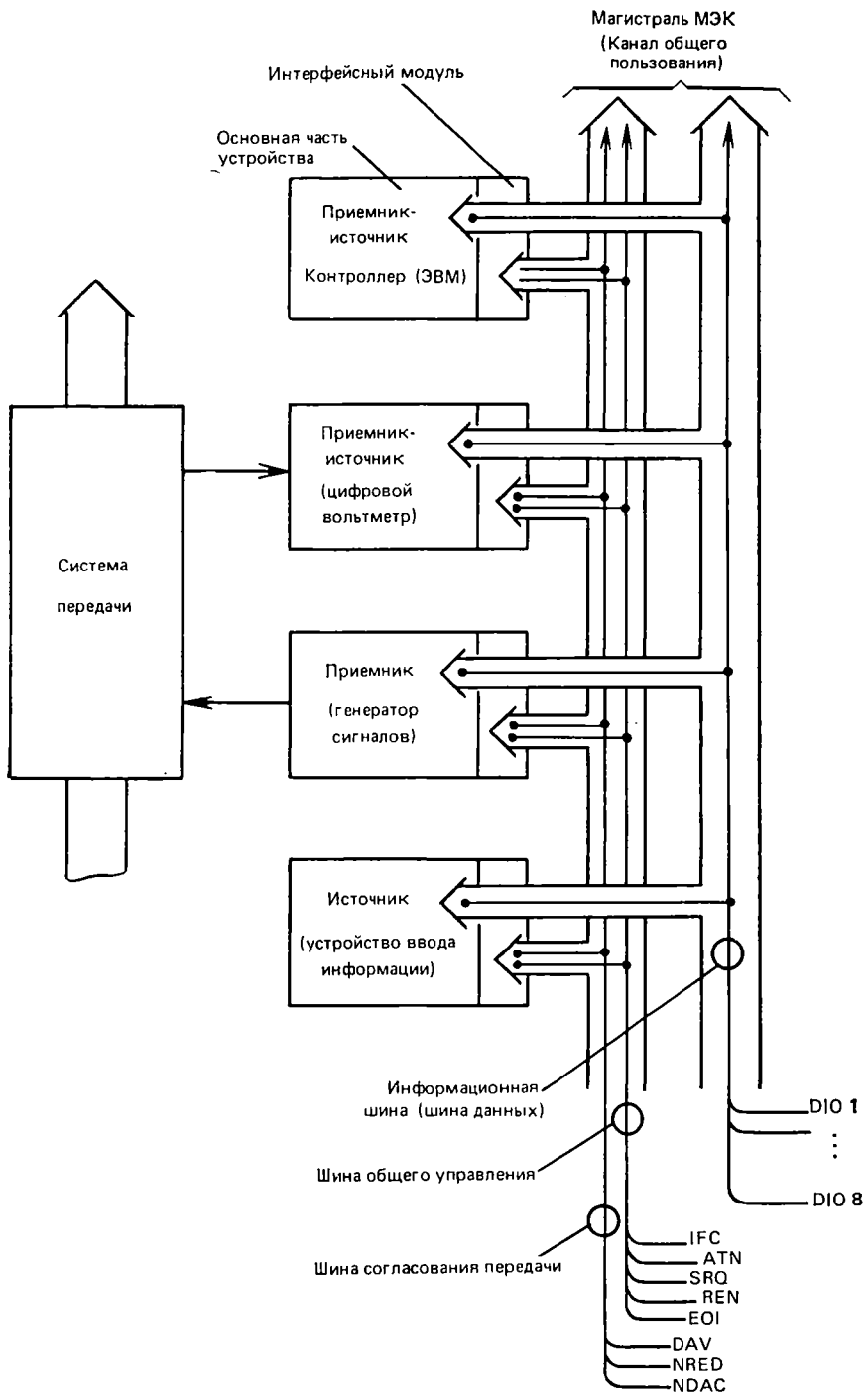


Рис. 5.2

Таблица 5.1

Название шины	Международное название линии	Название по ГОСТ	Передаваемый по линии сигнал	Источник сигналов
Согласования передачи (синхронизации)	DAV	СД	«Информация достоверна» Указывает, что данные, установленные на информационной шине, верны и можно принимать этот байт	ПИ
	NRFД	ГП	«Не готов к приему информации»	ПП
	NDAC	ДП	«Информация не принята»	ПП
	ATN	УП	«Интерпретатор команда — сообщение»	К
	IFC	ОИ	«Очистить интерфейс» — устанавливает магистраль в исходное состояние	К
Общего управления (управления)	SRQ	ЗО	«Запрос на обслуживание»	ПИ или ПП
	REN	ДУ	«Дистанционное управление»	К
	EOI	КП	«Конец или идентификация многобайтового сообщения»	ПИ или К
Информационная (шина данных)	DI01	ЛД0	Передается побайтно либо информация (ATN=0), либо адреса и команды (ATN=1)	ПИ или К
	⋮	⋮		
	DI08	ЛД7		

ной шины. По линиям DI01—DI05 передается либо сам адрес (присвоенный прибору), либо код команды, а по DI06—DI07 — признак, как это показано в табл. 5.2.

Каждому прибору в системе присваивается свой адрес в виде пятиразрядного двоичного числа (устанавливается обычно с помощью пяти тумблеров или переключателей в интерфейсном модуле). Максимальное число адресов равно 31 (одна комбинация, как видно из табл. 5.2, команда запрета), т. е. потенциально может быть до 31 ПИ и столько же ПП. При необходимости для увели-

Таблица 5.2

Назначение передаваемого по линиям DI0 байта	Линии информационной шины						
	7-я	6-я	5-я	4-я	3-я	2-я	1-я
Универсальная команда (UC)	0	0	×	×	×	×	×
Вторичная команда (SE)	1	1	×	×	×	×	×
Адрес приемника (ADL)	0	1	×	×	×	×	×
Адрес источника (ADT)	1	0	×	×	×	×	×
Запрет приемникам воспринимать	0	1	1	1	1	1	1
Запрет источнику передавать	1	0	1	1	1	1	1
Запрет воспринимать команду	1	1	1	1	1	1	1

Примечание: х означает, что в этом разряде может быть 0 или 1 в зависимости от кода адреса или команды.

чения числа адресов можно использовать вторичные команды (тоже 31), тогда адресов будет 961 и каждый адрес передается двумя байтами. Если нужно, чтобы группа приборов воспринимала одни и те же данные, то этой группе присваивается один и тот же адрес. После адреса посылаются команды, устанавливающие режим работы приборов.

В интерфейсе принята отрицательная логика, т. е. логической единице соответствует низкий уровень, логическому нулю — высокий, что необходимо для выполнения логического сложения сигналов, поступающих в линию от разных источников. Уровни сигналов соответствуют уровням ТТЛ: высокий уровень не менее 2,4 В, низкий не более 0,8 В; во входных и выходных цепях применяются ТТЛ схемы или устройства, совместимые с ТТЛ схемами по уровням. Приборы соединяются в систему с помощью гибких стандартных кабелей, каждый из которых заканчивается двусторонним штепсельным соединителем с винтовым креплением. Это позволяет устанавливать один соединитель на другой и собирать системы любой конфигурации. Максимальная длина кабелей магистрали не должна превышать 20 м, число приборов в обычном режиме не более 15. Существуют стандартные способы расширения как числа приборов, так и длины кабеля. При использовании служебной связи возможно использование интерфейса на разнесенных (приемной и передающей) станциях.

**Интерфейс КАМАК (САМАС<sup>1</sup>).** Он разработан международным комитетом ESONE<sup>2</sup> принят в качестве Европейского стандарта затем международного стандарта МЭК 516 и ГОСТ 26.201—80 (СССР). В настоящее время КАМАК находит широкое применение в качестве интерфейса ИВК для реализации измерительных систем и систем МО СИ отрасли связи.

Основными особенностями системы КАМАК являются: модульный принцип построения, обеспечивающий возможность создания агрегатного комплекса; конструктивная однородность системы, достигаемая унификацией несущих конструкций, включая корпус (крейт) для размещения сменных функциональных блоков (модулей); магистральная структура информационных связей между функциональными блоками, достигаемая за счет использования машинно-независимой магистрали крейта; широкое применение принципов программного управления, обеспечивающее гибкость реализуемых системой алгоритмов. Стандарт нормирует конструкцию крейта и сменных блоков, электрические сигналы, питание и логику обмена информацией, обеспечивающих совместимость СИ между собой.

В аппаратуре КАМАК СИ, выполненные в виде функциональных модулей, размещаются в едином корпусе (крейте), в котором для этой цели предусмотрены специальные установочные позиции (станции), магистраль и блок питания. Каждый сменный модуль

---

<sup>1</sup> САМАС — Computer Automated Measurement and Control.

<sup>2</sup> ESONE — Европейский стандарт на ядерную электронику.

может занимать одну или несколько станций крейта. На каждой станции смонтирован 86-контактный соединитель, создающий возможность прямого соединения любого из 25 сменных блоков с магистралью крейта — многопроводным пассивным каналом связи, соединяющим все станции крейта, служащим для передачи сигналов и подачи питания. Связь с ЭВМ осуществляется через крейт-контроллер, а при одновременной работе нескольких крейтов — через контроллер магистрали. Однако не исключается возможность связи с ЭВМ через функциональный модуль, а также использование микропроцессорного набора в модульном исполнении в конструктивах КАМАК. Однокрейтный вариант ИВК на базе КАМАК представлен на рис. 5.3. Магистраль крейта состоит из сигнальных шин и шин питания. Шины соединяют между собой соединители станций, которые в зависимости от характера доступа к магистрали подразделяются на управляющую и рабочие (так же как и сменные блоки). На соединителях станций имеются дополнительные (резервные) контакты, назначение которых стандартом не регламентируется. Каждый соединитель содержит 86 контактов, из которых 67 распаяны на сигнальные шины (адресов, команд, данных), 11 на шины питания, 1 — «Земля» и 7 резервных. На рис. 5.3: Р — рабочий блок, У — управляющий блок, И — интерфейсный блок. В настоящее время промышленность выпускает большое число модулей, предназначенных для работы в системе КАМАК и позволяющих создавать ИИС и ИВК самого

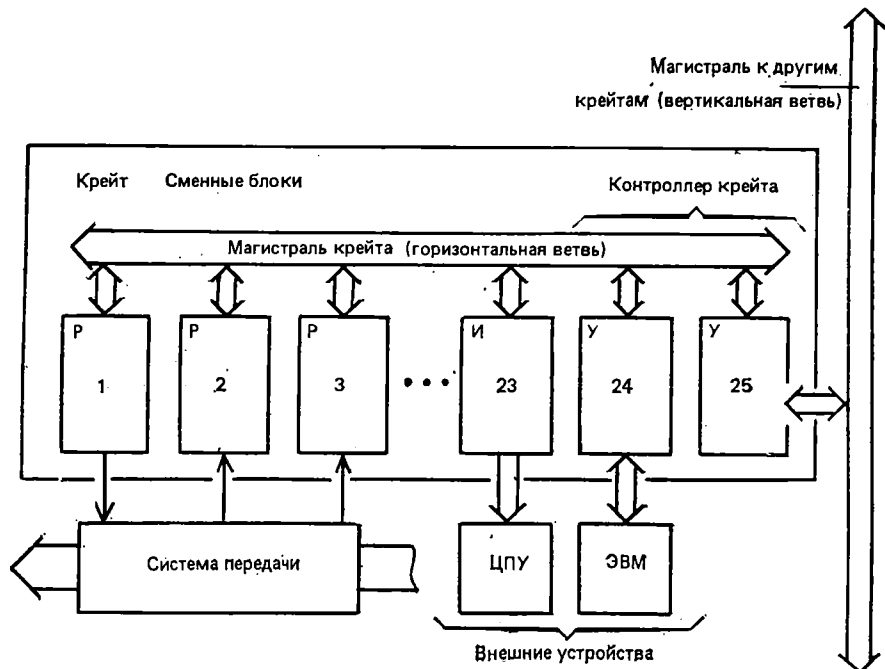


Рис. 5.3

различного назначения. Для расширения области применения интерфейса КАМАК ведутся работы в двух направлениях. Так, ГОСТ 26.201.1—84, соответствующий стандартам EUR 6500 и МЭК 552, позволяет создавать многокрейтовую систему КАМАК на основе интерфейса параллельного обмена информацией по машинно-независимой магистрали ветви, которая, в отличие от магистрали внутри крейта (горизонтальная магистраль), получила название вертикальной магистрали. В вертикальной магистрали допускается объединять до 7 крейтов. Максимальная длина магистрали 25 м и она связывает контроллер ветви с контроллерами крейтов. Характеристики контроллера ветви определяются используемой ЭВМ. Контроллер ветви организует асинхронную передачу информации команды, данные и прием данных. Контроллер крейта, получая соответствующий сигнал, транслирует его в свою магистраль и осуществляет синхронную связь с нужным модулем. Второе направление — разработка принципиально нового стандарта КОМПЕКС (СОМРЕХ). Проект нового стандарта обеспечивает механическую и электрическую совместимость с ГОСТ 26.201—80 и ГОСТ 26.201—84 и дальнейшее расширение аппаратных и функциональных возможностей интерфейса КАМАК.

В ИИС и ИВК, используемых для контроля и измерения параметров систем передач, нашли широкое применение электронно-вычислительные машины серии СМ ЭВМ (система малых ЭВМ). Основными особенностями СМ ЭВМ являются: широкий диапазон организации структуры в соответствии с конкретными условиями применения, наличие магистральной структуры интерфейса с аппаратурной реализацией большинства системных функций ввода — вывода информации, возможность простой реализации многопроцессорных и многомашинных систем, высокая скорость обработки информации. Программное обеспечение СМ ЭВМ строится на базе систем разделения времени, телеобработки, диалоговых систем и т. д. с большим набором процедурно-ориентированных программ. В связи с этим рассмотрим краткие характеристики основных машинных интерфейсов, используемых в ИИС и ИВК.

**Интерфейс «Общая шина» (ОШ).** Этот интерфейс разработан в США фирмой DEC (Digital Equipment Corp.) для мини-ЭВМ типа PDP. Его модификации для конкретных машин являются интерфейс ОШ (Unibus — U — bus) для машин серии СМ ЭВМ (СМ-3, 4, 5; СМ-1420 и др.) и интерфейс LSI-11 (Q — bus) для микроЭВМ «Электроника-60», «Электроника НЦ-80», их модификаций, а также совместимых с ними микроЭВМ.

Взаимодействие функциональных блоков в интерфейсе ОШ основано на принципе источник — приемник, т. е. аналогично, как и в приборном интерфейсе МЭК. Сущность указанного принципа заключается в том, что любой источник, передающий информацию, управляет магистралью. Он же осуществляет подготовку к передаче данных. Функциональный блок (ФБ) — приемник выступает в роли исполнителя и выполняет операцию чтения в соответствии с командами ФБ-источника, который без привлечения

процессора и памяти организует асинхронный обмен данными по методу с квитированием (подтверждением). Выбор ФБ-источника осуществляется устройством управления (арбитром), расположенным в центральном процессоре (ЦП). Каждый ФБ, который может стать источником, имеет свой присвоенный ему приоритет. Выбор очередного ФБ-источника производится на основе сравнения приоритетов. Конфликтные ситуации среди ФБ, имеющих одинаковый приоритет, разрешаются в пользу ФБ, расположенного ближе к устройству управления шиной. Конструктивно ОШ представляет собой унифицированную магистраль, состоящую из 56 функционально объединенных линий связи с тремя отдельными шинами: передачи данных, арбитража приоритетов и управления состоянием системы. Шина передачи данных содержит: 18 линий адреса, 16 линий данных, 6 линий контроля управления операцией обмена данными и синхронизации источника и приемника. Шина арбитража приоритетов содержит 13 линий, и 3 линии имеет шина управления состоянием системы. Максимальная длина кабеля ОШ 15 м, и к магистрали одновременно могут подключаться не более 20 ФБ. Для увеличения числа каналов связи и ФБ на магистрали применяются расширители ОШ, позволяющие при использовании одного расширителя увеличивать длину магистрали на 15 м, а число ФБ на 18.

**Машинные интерфейсы микроЭВМ.** В них используется частичное мультиплексирование шин для уменьшения числа линий. Последнее объясняется небольшим числом выводов БИС из-за небольших размеров кристалла. Развитием идеологии ОШ для микроЭВМ является интерфейс типа LSI-11 (Q—bus), число линий в котором значительно уменьшено (до 34) за счет совмещения шин адреса и данных. Для последних используется 16 двунаправленных линий связи, которые мультиплексированы во времени относительно адресов и данных, что снижает скорость обмена данными.

Фирма Intel для микроЭВМ, использующих микропроцессорную базу фирмы, разработала системный интерфейс Multibus (M-bus), который в СССР получил название И-41. Этот интерфейс используется в серийных отечественных микроЭВМ СМ-1800, СМ-1803, СМ-1810 и их разновидностях, в которых широко применяется микропроцессорный набор БИС серии К580 и К1810. Интерфейс И-41 имеет магистральную структуру, включающую многоштинную магистраль, содержащую до 73 линий. Среди шин: 20-разрядная адресная шина, 16-разрядная шина данных, 8-разрядная шина запросов прерывания, шина сигналов управления, число разрядов которой в конкретных структурах может колебаться. Магистраль включает в себя также линии для подачи питания на отдельные модули от общих источников. К магистрали с общей длиной до 3 м может быть подключено не более 20 ФБ. Среди подключаемых ФБ допускается использование до 8 ЦП, каждый из которых чаще всего содержит МП КР580ИК80А, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) объемом 2К байт и постоянное

запоминающее устройство (ПЗУ) объемом 1 К байт, схемы сопряжения с шинами интерфейса И-41. В необходимых случаях может быть использован модуль ЦП повышенной производительности на базе 16-разрядного МП К181ОВМ86. В интерфейсе могут быть включены модули устройств связи с объектом для приема разнообразных аналоговых и дискретных сигналов, а также модули для подключения широкого набора внешних устройств. Достоинством интерфейса И-41 является возможность реализации многопроцессорной структуры. Так как каждый ЦП имеет в своем составе ОЗУ, то он может при решении отдельных задач или их частей работать автономно, периодически обмениваясь информацией через шины интерфейса с другими устройствами. Это дает возможность организовать распараллеливание вычислительных процессов при решении сложных измерительных задач в ИИС и повысить надежность работы всей системы.

#### 5.4. МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРОЭВМ В ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

Дальнейший прогресс современного приборостроения, в том числе методов и средств цифровой измерительной техники, неразрывно связан с использованием микропроцессоров (МП) и создаваемых на их основе микроЭВМ.

Появление МП (1971 г.) обусловлено успехами микроэлектроники, приведшими к созданию больших интегральных схем (БИС). Микропроцессор — это программируемое цифровое логическое устройство для обработки данных, выполненное в виде одной или нескольких БИС, т. е. МП — это аналог процессора обычных ЭВМ только в микрон исполнении. Так же как процессор ЭВМ, МП позволяет под программным управлением производить логическую и математическую обработку цифровой информации.

На основе МП и ряда вспомогательных БИС (ввода — вывода — интерфейсных, приоритетного прерывания и др.), образующих так называемый микропроцессорный комплект (МПК), а также БИС запоминающих устройств (ЗУ), включающих оперативные, постоянные и перепрограммируемые ЗУ (ОЗУ, ПЗУ, ППЗУ), создаются микроЭВМ. Так, промышленностью выпускается ряд микроЭВМ семейств «Электроника-С5», «Электроника-НЦ», «Электроника-60» и др., среди которых имеются модификации в многоплатном, одноплатном и (последнее достижение интегральной технологии) в однокристалльном исполнении. Малые габаритные размеры, экономичность, надежность и достаточная дешевизна МП и микроЭВМ способствуют их быстрому внедрению в цифровые измерительные приборы (ЦИП).

Развитие техники все больше повышает требования к МХ измерительных средств, автоматизации процессов измерения и обработки измерительной информации, обеспечению возможности со-

пряжения отдельных измерительных средств в ИИС. Удовлетворение этих требований с помощью синтеза для каждого ЦИП специальных устройств с жесткой структурой на базе цифровых логических схем малой и средней степени интеграции ведет к резкому усложнению самих ЦИП, снижению их надежности, сильному увеличению материальных и временных затрат при их проектировании и изготовлении и практически сдерживает дальнейший прогресс в развитии ЦИП. Синтез указанных устройств в виде специализированных БИС, как правило, также оказывается экономически нецелесообразен, так как проектирование и изготовление таких БИС может быть оправдано лишь при очень большой серийности (как, например, для электронных часов, калькуляторов).

Появление МП, являющихся универсальными и поэтому в силу большой серийности достаточно дешевыми БИС, позволяет создавать также достаточно дешевые микроЭВМ, которые могут непосредственно встраиваться в ЦИП и производить всю логическую и математическую обработку цифровой измерительной информации программными методами. При этом микроЭВМ может выполнять функции управления процессом измерения (контроллера), математической обработки измерительной информации (вычислителя — калькулятора) или преобразования информации к виду, необходимому для отображения на средствах индикации и регистрации, а также для передачи на внешние устройства в автоматизированных измерительных комплексах в соответствии с требованиями интерфейса.

Важным достоинством использования программных методов является то обстоятельство, что функции одной и той же микроЭВМ могут достаточно легко изменяться при соответствующем изменении программы путем смены ПЗУ или перепрограммирования ППЗУ. При этом схема самой микроЭВМ может минимизироваться в соответствии с решающей задачей путем установки ЗУ лишь необходимого объема, установки необходимого числа БИС ввода — вывода и пр.

Таким образом, одна и та же микроЭВМ может использоваться в самых разнообразных ЦИП и выполнять различные функции, достаточно лишь ввести в нее соответствующую программу. Это, во-первых, позволяет значительно сократить время и материальные затраты на разработку и изготовление новых ЦИП и приводит к их значительному упрощению, удешевлению и увеличению надежности. В частности, в настоящее время считается, что цифровое устройство, содержащее около 50 корпусов малой и средней степени интеграции, экономически целесообразнее выполнить на МП. Этот чисто количественный критерий уже может служить основанием для использования МП. При этом МП может использоваться самостоятельно (как, например, в качестве устройства управления в АЦП поразрядного уравнивания), так и в составе соответствующей микроЭВМ. Во-вторых, наличие в составе ЦИП микроЭВМ с ее огромными возможностями по проведению сложнейшей обработки измерительной информации и автоматическому



управлению процессом измерения позволяет реализовать сложнейшие алгоритмы измерения, ранее невозможные из-за технической сложности. Поэтому можно утверждать, что создание современных ЦИП не может быть выполнено оптимальным образом без учета тех возможностей, которые дает использование в них МП и микроЭВМ. Рассмотрим функции МП и микроЭВМ в ЦИП, представленные в табл. 5.3:

1. Микропроцессор и микроЭВМ разрешают полностью автоматизировать процесс управления ЦИП. Анализируя цифровую информацию о состоянии внешних (на лицевой панели) и внутренних органов управления работой ЦИП, команды и другую цифровую информацию, поступающую от интерфейса при работе ЦИП в составе ИИС, а также информацию о самой измеряемой величине, неинформативных параметров сигнала и влияющих величинах, микроЭВМ может вырабатывать команды для автоматической установки соответствующих режимов работы ЦИП в процессе измерения. При этом возможность быстрой логической обработки большого количества информации и выработки соответствующих управляющих команд позволяет реализовать такие алгоритмы, связанные со сложной коммутацией узлов и даже отдельных элементов ЦИП, которые ранее не представлялись возможными из-за больших технических затрат. В результате наряду с автоматизацией выбора вида измерений в универсальных ЦИП, пределов измерений, вида обработки измерительной информации возникает возможность автоматического выбора оптимального режима работы ЦИП, изменения режима по заданной программе, самонастройке ЦИП.

2. Широкие возможности математической обработки измерительной информации в микроЭВМ позволяют реализовать сложные виды измерений (косвенные, совместные, совокупные), измерение случайных величин и характеристик процессов, расширить

Таблица 5.3

№ п/п	Функции МП	Операции, выполняемые МП в ЦИП
1	Контроллерные (управления)	Управление измерительными цепями; управление АЦП и ЦАП; управление средствами общения с оператором (клавиатура, дисплей); управление цифropечатающим устройством; управление внешними ЗУ
2	Вычислительные	Калибровка, нормализация, линейарзация, цифровая фильтрация, кодирование, статистическая обработка результатов измерения, вычисление вторичных параметров сигнала, амплитудно-временной анализ сигнала
3	Тестовые	Автономное (внутреннее) тестирование (диагностика), внешнее тестирование, реализация комбинированного метода
4	Сервисные	Работа в ИИС (реализация интерфейсных функций), обеспечение многофункциональности, обеспечение миниатюризации и экономичности эксплуатации

функциональные возможности ЦИП для измерения различных величин. Математическая обработка также легко позволяет представить информацию в удобном виде. Например, результат измерения напряжения в цифровом вольтметре (ЦВ) можно представить как в вольтах, так и в логарифмическом масштабе, в децибелах, результат измерения в цифровом частотомере можно легко пересчитать из частоты в период и наоборот. Сравнимая результат измерения с некоторыми значениями, хранимыми в памяти микроЭВМ, можно осуществить допусковый контроль изделий. Возможность вычислить отношение двух результатов измерения напряжения позволяет, например, легко реализовать с помощью ЦВ измерение коэффициентов передачи четырехполюсников, сопротивления двухполюсников и т. д. МикроЭВМ, анализируя результаты отдельных аналого-цифровых преобразований (выборок) исследуемого процесса, может определять его максимальные и минимальные значения, статистические и спектральные характеристики.

Таким образом, математическая обработка позволяет строить многофункциональные приборы, причем изменение функций достигается выбором соответствующей программы, хранимой в памяти (или вводимой перед началом измерения) микроЭВМ.

Важным достоинством применения микроЭВМ является возможность улучшения основных МХ ЦИП, в первую очередь точности, уменьшением случайных и систематических погрешностей измерения. Уменьшение случайных погрешностей достигается статистической обработкой результатов повторных наблюдений, что позволяет уменьшить среднее квадратическое значение погрешности в  $\sqrt{n}$  раз, где  $n$  — число измерений. Уменьшение систематических погрешностей может осуществляться различными методами. Во-первых, автоматическим введением в результат измерения поправки, которая хранится в памяти или вычисляется микроЭВМ при известном законе изменения погрешности. При этом возникает возможность линеаризации характеристик прибора и автоматического учета действия влияющих величин и неинформативных параметров сигнала. Во-вторых, проведением автоматической калибровки, которая позволяет уменьшить аддитивную и мультипликативную составляющие систематической погрешности, а при определенных условиях и погрешность нелинейности. Идея автокалибровки в простейшем виде сводится к тому, что на вход калибруемого измерительного преобразователя автоматически подключается мера измеряемой ФВ и поочередно производится измерение сначала нулевого ( $X_0=0$ ), затем предельного ( $X_{пр}$ ) значений ФВ, после чего производится измерение неизвестного значения  $X$  и вычисление окончательного скорректированного результата измерения ( $Y$ ).

Пусть систематическая погрешность  $\Delta$  калибруемого преобразователя имеет вид

$$\Delta := \Delta_0 + \delta_m X_1,$$

где  $\Delta_0$  — аддитивная,  $\delta_m$  — мультипликативная составляющие погрешности;  $X_i$  — измеряемое значение.

Соответственно результат  $Y_i$  каждого измерения:

$$Y_i = \Delta_0 + (1 + \delta_m) X_i.$$

Если погрешность  $\Delta$  на промежутке времени всех трех измерений постоянна, то их результаты соответственно равны:

$$Y_1 = \Delta_0 + (1 + \delta_m) X_0;$$

$$Y_2 = \Delta_0 + (1 + \delta_m) X_{пр};$$

$$Y_3 = \Delta + (1 + \delta_m) X.$$

Вычисляя  $Y$  по приводимой ниже формуле и подставляя значения  $Y_i$ , получаем

$$Y = X_{пр} \frac{Y_3 - Y_1}{Y_2 - Y_1}$$

Полученный результат не содержит погрешности  $\Delta$ . МикроЭВМ позволяет проводить автокалибровку очень быстро, за доли секунды, практически перед каждым измерением и, таким образом, устранять систематическую погрешность, постоянную на интервале времени указанных трех измерений. Наличие такой быстрой автокалибровки позволяет резко снижать требования к точности и стабильности элементной базы ЦИП, требуется лишь их кратковременная стабильность на время между калибровками. Это приводит к упрощению элементной базы и удешевлению измерительного устройства. Соответственно снижается влияние стабилизирующих внешних факторов, в том числе таких, как температура, напряжение питания и др. Это, в свою очередь, приводит к расширению диапазона условий эксплуатации прибора.

Следует также заметить, что в любом ЦИП осуществляется преобразование измерительной информации в соответствии с определенным математическим алгоритмом. Преобразователи, осуществляющие эти преобразования, всегда вносят некоторую погрешность. Математическая обработка информации в микроЭВМ может выполняться с любой требуемой точностью. Отсюда вытекает, что любой ЦИП с микроЭВМ следует строить так, чтобы информацию об измеряемой величине с наименьшими аппаратурными затратами и погрешностью преобразовать в цифровую форму, а дальнейшую обработку осуществлять математически. На этом пути имеются большие резервы увеличения точности измерения, возникает возможность разработки принципиально новых методов измерения.

МикроЭВМ позволяет также упростить решение задачи преобразования измерительной информации (кодирование, перекодирование) для ее индикации или регистрации на внутренних или внешних устройствах отображения (цифровых индикаторах, алфавитно-цифровых или графических дисплеях, цифропечатающих устройствах и др.), а также для передачи по линиям интерфейса в

другие приборы ИИС. Облегчает отображения разнообразной алфавитно-цифровой информации делается более наглядной.

3. МикроЭВМ разрешает осуществлять диагностику и самодиагностику исправности ЦИП контролем режимов работы отдельных узлов и даже элементов прибора. Для этого вводятся тестовые сигналы или дополнительные пороговые устройства, сигнализирующие об отклонении режимов работы от допустимых значений (например, в целях контроля напряжений питания). Самодиагностика осуществляется в микроЭВМ с помощью специальных диагностических программ. Эти меры позволяют предотвращать появление грубых погрешностей измерения.

4. Использование микроЭВМ позволяет программными методами (или с небольшими дополнительными аппаратными затратами) реализовать в ЦИП интерфейсные функции, т. е. функции обмена информацией с различными внешними устройствами в ИИС.

Следует указать, что задачи управления и математической обработки информации могут сильно отличаться по требуемому быстродействию, либо их объем может быть слишком велик для одной микроЭВМ. В этом случае используют две микроЭВМ, обычно одну для задач управления, а другую для математической обработки.

Использование МП и готовых микроЭВМ, а также разработка специализированных микроЭВМ для решения конкретной измерительной задачи требует учета целого ряда факторов. Прежде всего необходимо определить алгоритмы управления измерительным процессом и математической обработки измерительной информации, требуемую точность математической обработки и максимально допустимое время для их осуществления. Затем необходимо проанализировать характеристики существующих МП и микроЭВМ. К ним относятся: быстродействие, развитость системы команд, разрядность информационного слова, объем памяти и возможность ее наращивания, возможность организации прерываний выполняемой программы, возможности устройств ввода — вывода и др. Для проведения разработки очень важным является наличие математического обеспечения и средств отладки программ.

Несмотря на все увеличивающееся число и качество микроЭВМ, выпускаемых промышленностью, их использование не всегда является оптимальным решением задачи. Выпускаемые микроЭВМ, рассчитанные на широкий круг задач, могут быть избыточны для конкретной задачи, что при крупносерийном производстве ЦИП может привести к излишним затратам. С другой стороны, они могут не удовлетворять ряду важнейших требований, выдвигаемых конкретной задачей, или возможность их использования может ограничиться по какой-либо причине. Например, очень заманчиво использование однокристалльных микроЭВМ. Однако их программирование производится непосредственно при изготовлении БИС и при малой серийности ЦИП использование этих микроЭВМ экономически невыгодно. В результате может потребоваться разработка специализированной микроЭВМ. Необходимо отме-

тить, что ограниченное быстроедействие существующих МП и ряд экономических факторов не позволяют решать с их помощью все задачи цифровой обработки сигналов, и поэтому при проектировании ЦИП необходимо искать разумный компромисс между аппаратными и программными средствами.

## 5.5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

*Измерительная информационная система* — это совокупность средств измерений (технических средств, используемых при измерениях и имеющих нормированные МХ) и вспомогательных средств (технических средств, используемых для обработки измерительной информации, ее отображения и пр., точностные характеристики которых могут быть определены), функционально объединенных в измерительный канал постоянной или переменной структуры, поставляющая потребителю информацию в соответствии с ее назначением (измерение, контроль, диагностика, идентификация). При этом имеется в виду, что по одному измерительному каналу проходит один измерительный сигнал. В состав измерительного канала могут входить линии связи и каналообразующая аппаратура. На рис. 5.4 представлена обобщенная ИИС для измерения параметров систем передачи. В связи с развитием ИИС и расширением использования средств вычислительной техники — МП, мини- и микроЭВМ — разработчики ИИС стали выделять в составе ИИС универсальное ядро, подсистему — ИВК. Как видно из рис. 5.4, в состав ИВК не включают первичные измерительные преобразователи (датчики), канал связи, исполнительные устройства, предназначенные для реализации управляющих воздействий в системе передачи, и проблемноориентированное программное обеспечение, которое разрабатывается при создании ИИС с учетом ее назначения.

Классификация ИИС:

<i>Признак классификации</i>	<i>Измерительные информационные системы</i>
По назначению	Измерительные системы: прямых измерений, статистических измерений; системы: автоматического контроля, технической диагностики, распознавания образов, единого времени
По методам сбора информации	Последовательные (сканирующие), параллельные, параллельно-последовательные
По расстоянию до объекта измерения	Системы ближнего действия; системы дальнего действия (телеизмерительные)

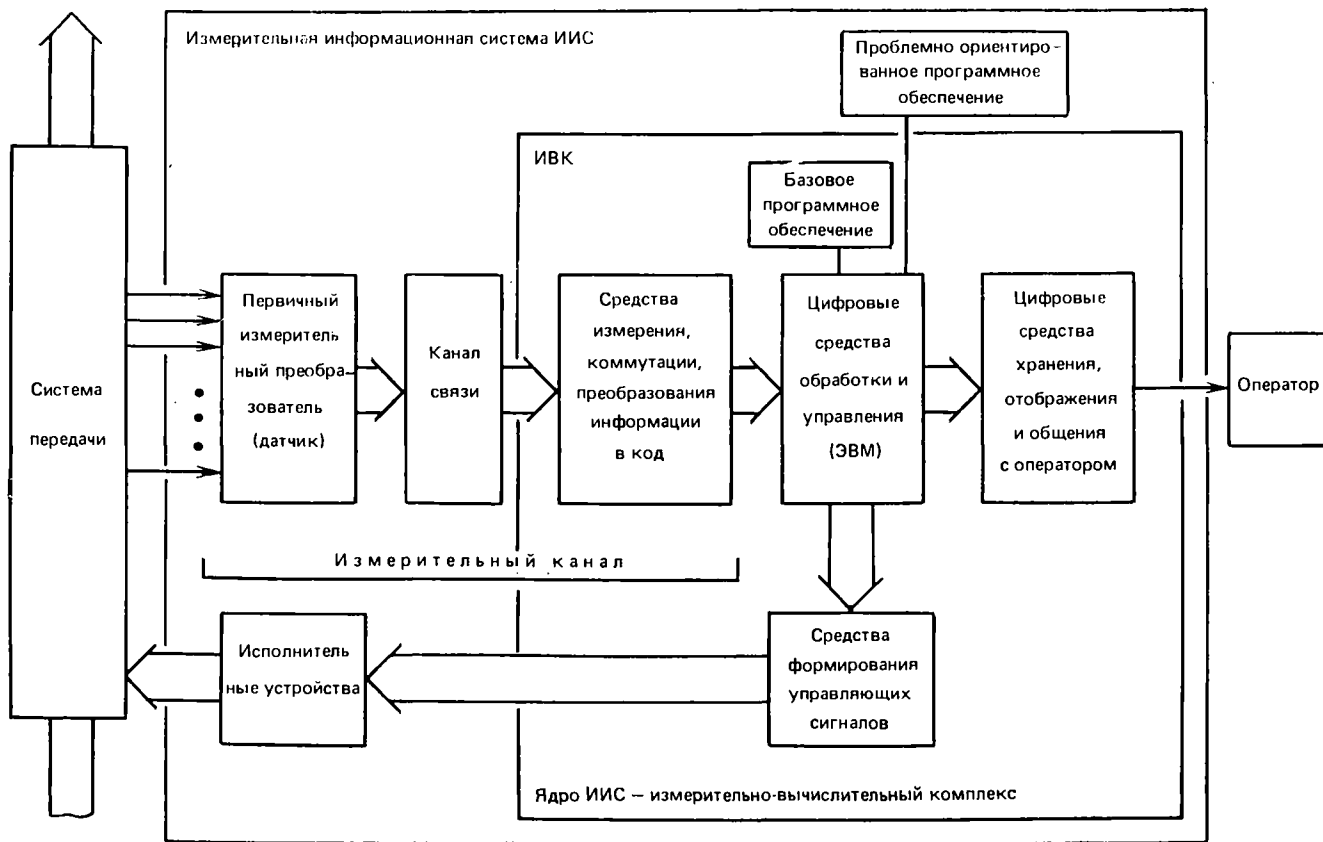


Рис. 5.4

По взаимодействию с объектом измерения	Пассивные системы; активные системы: с жесткой программой работы; с гибкой программой — адаптивные
По методу управления системой (интерфейсу)	Децентрализованная структура — каскадная; централизованная структура: радиальная, магистральная, комбинированная

Рассмотрим классификацию ИИС по назначению. **Измерительные системы** имеют два класса: прямых и статистических измерений. Системы для прямых измерений осуществляют измерение как одинаковых, так и различных параметров во многих точках объекта. Информация в таких системах имеет количественный характер и выдается в виде именованных чисел и, как правило, представляется оператору. Статистические измерительные системы относятся к системам косвенных измерений, а также осуществляют совместные и совокупные измерения. Они способны выполнять сложную математическую обработку измерительной информации и включают в себя системы для измерения параметров распределения вероятностей случайных процессов, корреляционные и другие измерительные системы, в которых результат измерения выдается в виде логических заключений или обобщенных данных.

**Системы автоматического контроля** устанавливают соответствие между состоянием объектов и заданной нормой с целью суждения о функционировании объектов в настоящее время и в будущем (прогнозирующий контроль). В отличие от измерений при автоконтроле производится сравнение контролируемой величины не с мерой, а с установленной нормой, и нет необходимости знать численные значения контролируемой величины. Задается только сравнительный допуск на отклонение от заданной нормы, и этот допуск значительно превышает погрешность измерительных систем.

**Системы технической диагностики** предназначаются для обнаружения неисправностей (отказов) и их местоположения в работе системы передачи. В отличие от близких к ним систем автоконтроля здесь ставятся более сложные задачи контроля за отклонениями от нормы не отдельных параметров, а качества функционирования контролируемого объекта. Состояние объекта определяется проверкой по диагностическим программам, или тестам. Системы технической диагностики выполняются либо в виде отдельных систем, либо совмещенно с другими информационными системами в виде подсистем технической диагностики.

**Системы распознавания образов** предназначаются для установления соответствия между исследуемым объектом и заданными образами. Из большого разнообразия возможных образов в технических системах ограничиваются образами, характеризующимися параметрами, которые можно определить и измерить. Задача распознавания заключается в сравнении по определенным призна-

кам эталонного образа с исследуемым объектом. Системы распознавания образов во многих случаях выполняют функции, аналогичные функциям систем технической диагностики, и имеют близкие структурные схемы.

**Системы единого времени** выполняют функции обеспечения единой информацией о точном времени и заменяют автономные часы, которые могут расходиться с течением времени. Они выпускаются в нескольких модификациях для различного применения и имеют специальные устройства для автоматической коррекции вторичных часов, питание и коррекция которых осуществляется, например, через силовую сеть переменного тока.

Анализ обобщенной структуры ИИС (рис. 5.4) показывает, что преобразование сигналов измерительной информации в системе можно разделить на следующие основные этапы: аналоговое преобразование сигнала ФВ с помощью датчиков, нормирующих преобразователей, усилителей, фильтров; результатом аналогового преобразования является непрерывный во времени сигнал измерительной информации; дискретизация непрерывного сигнала измерительной информации во времени и преобразование дискретных значений в цифровую форму (код), ввод полученных цифровых значений в ячейки памяти ЭВМ; цифровая обработка полученных данных в ЭВМ по заданным программам, вывод результатов обработки в форме, удобной для оператора.

Рассмотрим гипотетическую ИИС, в которую включены разнотипные измерительные каналы, объединенные одной общей ЭВМ (рис. 5.5) [8, 9]. На рис. 5.5 обозначено: Д — датчик; КД — ко-

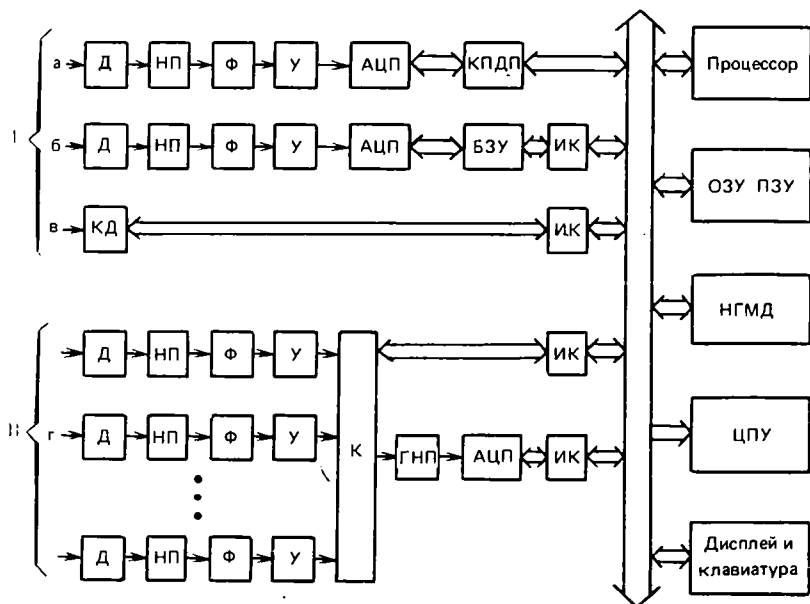


Рис. 5.5



довый датчик; НП — нормирующий преобразователь; Ф — фильтр; У — усилитель; К — коммутатор; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; КПДП — канал прямого доступа в память ЭВМ; ИК — интерфейсная карта; ГНП — групповой нормирующий преобразователь. Обмен цифровыми сигналами между СИ и ЭВМ осуществляется с помощью интерфейса, который представляет собой совокупность элементов аппаратного и программного обеспечения обмена информацией. Вид интерфейса определяется типом применяемой ЭВМ. По принципу организации и типу подключения к ЭВМ измерительные каналы, представленные на рис. 5.5, можно разделить на две группы. Измерительные каналы (5.5,а, 5.5,б, 5.5,в) отличаются тем, что каждый из них подключен к магистрале ЭВМ индивидуально. Такие каналы обычно применяются в случаях, когда требуется обеспечить высокую скорость измерений в одном канале. Обычно в состав подобных каналов после АЦП вводят буферное запоминающее устройство БЗУ или выход АЦП подключают непосредственно к ЗУ ЭВМ через канал прямого доступа в памяти КПДП. Во время работы КПДП остальные измерительные каналы работать не могут. Напротив, измерительный канал, снабженный БЗУ, работает автономно, не препятствуя работе других каналов. Время центрального процессора тратится лишь на то, чтобы запустить этот канал в работу, а затем после появления сигнала конца измерений (по признаку переполнения БЗУ, сигналу таймера или по заданному числу измерений) переписать содержимое БЗУ в память ЭВМ. Скорость измерений в канале определяется быстродействием АЦП. Вырожденным частным случаем каналов группы I является измерительный канал с кодовым датчиком (КД), на выходе которого формируется код, соответствующий значению измеряемой величины (рис. 5.5,в). В этом канале также вначале выполняется аналоговое преобразование измеряемой величины (в чувствительном элементе датчика), а затем его дискретизация и преобразование в цифровой код.

Измерительные каналы группы II (рис. 5.5,г) используют меньше аппаратуры, так как они поочередно подключаются ко входу одного и того же АЦП с помощью коммутатора К. Между коммутатором и АЦП может быть помещен групповой нормирующий преобразователь ГНП. Переключение коммутатора, проверка готовности и запуск того или иного АЦП, а также запись выходных кодов АЦП в ячейки памяти ЭВМ производятся по командам ЭВМ в соответствии с адресами коммутатора и АЦП. Специально организованная последовательность таких команд управления одним или несколькими устройствами представляет собой управляющую программу, называемую драйвером. Обычно для каждого устройства, имеющего отдельный выход на интерфейсное соединение, в программном обеспечении управляющей ЭВМ имеется отдельный драйвер этого устройства. Если требуется измерить мгновенное значение сигнала в нужный момент, программа ЭВМ обращается к драйверу таймера, и от появления в заданный момент импульса от таймера до момента измерения проходит время, затрачиваемое

на проработку драйверов устройств, переключение коммутатора, аналого-цифровое преобразование. В эту работу может вмешаться по высокоприоритетному прерыванию работа других устройств или программ. Кроме того, измерительные каналы группы II подключаются к ЭВМ поочередно, следовательно, измерения в этих каналах происходят неодновременно. Все эти причины вызывают отличие момента, когда входной сигнал АЦП принял значение, зафиксированное в цифровом виде в выходном регистре АЦП, от того момента, которым датируется результат этого измерения. Разность между указанными моментами есть погрешность датирования отсчета. В динамическом режиме измерений, когда сигнал ФВ изменяется во времени, это обстоятельство приводит к погрешности, вызванной тем, что за время, истекшее между этими двумя моментами, сигнал ФВ изменяется.

В измерительных каналах группы I погрешность датирования значительно меньше, чем в каналах группы II, в силу прямой записи выходной цифровой информации АЦП в то или иное устройство памяти, в то время как выходная цифровая информация каналов группы II записывается каждый раз с затратой времени на проработку драйверов коммутатора и АЦП, а также на переключение коммутатора.

**Погрешности ИИС** определяются рядом факторов. Вне зависимости от вида измерительного канала каждый из них можно представить обобщенной структурной схемой (рис. 5.6), на которой одним эквивалентным модулем представлено аналоговое преобразование сигнала ФВ, после которого осуществляют дискретизацию непрерывного сигнала и преобразование дискретных значений в цифровой код. На блоке, изображающем реальную дискретизацию, отмечено, что эта дискретизация производится не в заданные моменты  $t_i$ , а в другие, отличающиеся от  $t_i$  на величину погрешности датирования отсчета  $\Delta t_i$ . Через  $e_0(t)$ ,  $v(t)$  и  $\eta(t)$  обозначены аддитивные погрешности, вызванные действием помех на входе измерительного канала и сопровождающие аналоговое преобразование и дискретизацию соответственно. Погрешность  $v(t)$  вызвана взаимодействием датчика с объектом измерения. Таким образом, погрешности прямых измерений вызывают следующие факторы: аддитивные погрешности  $e_0(t)$ ,  $v(t)$ ,  $\varepsilon(t)$ ,  $\eta(t)$ ; погрешность датирования отсчетов  $\Delta t_i$ ; инерционные искажения сигнала ФВ при аналоговом преобразовании; отличие МХ измерительных преобразователей от номинальных, изменение этих характеристик под действием влияющих величин.

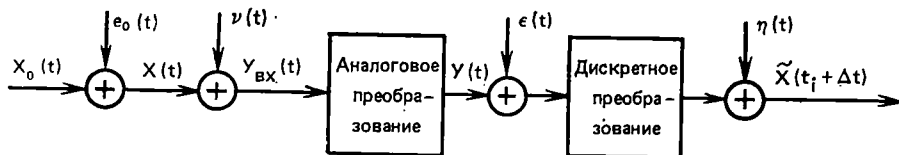


Рис. 5.6

Для прямых измерений без дискретизации идеальным является тождественное преобразование. С учетом дискретизации в качестве идеального преобразования примем идеальную дискретизацию, выполняемую без погрешностей точно в заданные моменты  $t_1$  с коэффициентом передачи, равным единице. В результате выражение для погрешности измерений будет иметь вид  $\Delta x(t_1) = \tilde{x}(t_1 + \Delta t) - x_0(t_1)$ .

Как уже было указано выше, следующим этапом преобразования измерительной информации в ИИС является цифровая обработка результатов прямых измерений по заданным алгоритмам с целью получения результатов косвенных, совместных или совокупных измерений. При такой обработке информации могут возникать: погрешности операции масштабирования результата измерения; погрешности аппроксимации из-за замены точных формул на приближенные; эти погрешности имеют место также при итерационных вычислениях, когда по тем или иным причинам ограничивают число итераций; генерированные погрешности накапливаются вследствие округления чисел при последовательном выполнении вычислительных операций; параметрические погрешности возникают из-за неточного задания параметров формул или алгоритмов, причем эти параметры не являются входными данными (аргументами), но влияют на результат вычислений; трансформированные погрешности возникают из-за того, что входные данные, поступающие на цифровую обработку, содержат в себе погрешности, которые трансформируются при вычислениях в соответствии с используемыми формулами или алгоритмами. Это значит, что трансформированные погрешности результата цифровой обработки данных в ИИС обязаны своим появлением погрешности результатов прямых измерений, включая погрешности масштабирования.

Методы и формулы для оценки указанных погрешностей результатов цифровой обработки измерительной информации в ЭВМ приведены в [10].

**Нормирование характеристик ИИС** возможно при наличии МХ отдельных СИ, входящих в ее состав. Целью нормирования характеристик погрешности СИ является, во-первых, обеспечение сопоставимости СИ между собой, во-вторых, поддержание и контроль требуемого качества выпускаемых СИ и, в-третьих, обеспечение возможности расчета погрешности результатов измерений, выполняемых конкретным СИ в реальных условиях применения.

Разработка инженерных методов решения вопросов МО ИИС и стандартизация этих методов находятся в стадии становления.

Для того чтобы обеспечить выполнение конечной задачи, решаемой с использованием МХ измерительной системы (оценку погрешности измерений), необходимо компенсировать отсутствие норм на МХ системы в целом. Такая компенсация возможна тремя путями:

определением МХ измерительной системы расчетным путем по МХ составных частей системы;

экспериментальным определением МХ измерительной системы в целом для каждого ее экземпляра индивидуально;

расчетным определением погрешности измерений по МХ составных частей, минуя (явно) этап определения, МХ измерительной системы в целом.

В общем случае в соответствии со стандартами для ИИС нормируют следующий комплекс МХ, обеспечивающий использование расчетного метода определения погрешности конечного результата измерений:

1. Характеристики систематической составляющей основной погрешности измерительного канала: предел  $\Delta_{сд}$  допускаемого значения, математическое ожидание  $M[\Delta_c]$  и СКО  $\sigma(\Delta_c)$  систематической составляющей  $\Delta_c$  основной погрешности измерительного канала данного типа.

2. Характеристики случайной составляющей основной погрешности измерительного канала: предел  $\sigma_{\Delta}(\Delta)$  допускаемого значения СКО, номинальная нормализованная автокорреляционная функция  $\gamma_{\Delta}(\lambda)$  или номинальная спектральная плотность  $S_{\Delta}(\omega)$  и пределы допускаемых отклонений от указанных номинальных функций случайной составляющей  $\Delta$  основной погрешности измерительного канала данного типа.

3. Предел  $b_{д}$  допускаемого значения вариации выходного сигнала измерительного канала данного типа.

4. Характеристики, отражающие взаимодействие измерительного канала с объектом измерений или перед включенным измерительным компонентом.

5. Выходной импеданс измерительного канала, заканчивающегося измерительным преобразователем.

6. Динамическая характеристика измерительного канала: одна из номинальных функций связи между изменяющимися во времени входным и выходным сигналами (передаточная функция, импульсная весовая функция, переходная характеристика, амплитудно-фазочастотные характеристики и т. п.) и предел допускаемого отклонения от указанной номинальной функции связи или любая характеристика, позволяющая устанавливать связь изменяющихся входного и выходного сигналов.

7. Неинформативные параметры выходного сигнала измерительного канала, заканчивающегося измерительным преобразователем.

8. Номинальная функция влияния  $\psi_n(\xi)$  и предел допускаемого отклонения от номинальной функции измерительного канала.

9. Метрологические характеристики, отражающие взаимное влияние канала на канал.

Что касается цифровой обработки результатов прямых измерений в ИИС, то, в отличие от СИ, одна и та же программа вычислений, реализованная в среде одной и той же операционной системы на ЭВМ одного типа, не будет иметь таких источников изменчивости от экземпляра к экземпляру, каким для СИ является

технологический разброс параметров. Мало того, программа любой длины и сложности может быть сопоставлена с ее контрольной копией с помощью ЭВМ вплоть до каждой элементарной команды. Тем самым контролируется взаимная идентичность тиражируемых программ. Изменение в программе может возникнуть при смене ЭВМ, транслятора, операционной системы. Поэтому нормирование характеристик погрешности результатов цифровой обработки данных в ИИС может иметь только одну цель — обеспечить расчет погрешности цифровой обработки результатов прямых измерений. Для достижения этой цели все программы, предназначенные для вычисления результатов косвенных, совместных и совокупных измерений, должны содержать в своем составе подпрограммы вычисления характеристик погрешности результата. Иными словами, входными данными программ должны быть не только результаты прямых измерений или каких-то предыдущих вычислений, но и характеристики погрешности этих результатов. Выходными данными программ должны быть также результаты вычислений и характеристики их погрешности.

## 5.6. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ

Достижение высоких показателей в области метрологической деятельности по обслуживанию измерительной техники возможно лишь при широком использовании вычислительной техники и средств автоматизации. Из множества объектов автоматизации в области МО применительно к рассматриваемым вопросам следует отметить образцовые СИ и установки высшей точности, которые могут возглавлять: ведомственные поверочные схемы; периодическую аттестацию и поверку СИ в органах метрологической службы; первичную поверку СИ на предприятии при выпуске из производства; ремонт и настройку СИ; разработку, создание и внедрение секций технической эксплуатации цехов и станций, а также аппаратуры связи с встроенными СИ.

В настоящее время лучшие используемые автоматические поверочные установки и другие автоматизированные технические средства МО построены по принципу измерительно-вычислительных комплексов (ИВК). Основные МХ существующих автоматизированных систем находятся практически на одном уровне и определяются возможностями тех образцовых СИ, которые находятся сейчас в производстве и уже в основном не удовлетворяют возросшим потребностям практики. Кроме того, при создании автоматизированных систем для метрологических исследований, построенных по принципу ИВК, в одну измерительную систему объединяются приборы, рассчитанные на автономное самостоятельное применение. В этом случае возникает значительная аппаратная избыточность, связанная с тем, что многие функциональные узлы при совместном применении СИ не используются. Анализ показывает, что если исключить эти избыточные узлы, то оставшиеся из-

мерительные и управляющие устройства могут быть размещены на одной или нескольких печатных платах и конструктивно объединены с одноплатными ЭВМ, выпускаемыми серийно отечественной промышленностью. Применение современной алгоритмической теории измерений и программных средств представляет возможность большую часть аппаратно реализованных функций СИ и поверочных комплексов возлагать на программное обеспечение, создавать при минимальных затратах режимы самокалибровки и внутренней коррекции МХ в процессе эксплуатации. Таким образом, для достижения высокого уровня автоматизации метрологических исследований целесообразно создавать проблемно-ориентированные программно-управляемые СИ с высокими МХ.

Создание ИВК на основе унифицированных типовых функциональных модулей приведет к значительному росту коэффициентов гибкости и смежности поверочного оборудования, обеспечит внедрение автоматизированной поверки и документирования и тем самым — рост производительности труда и перестройку всего поверочного дела в сторону интенсивного развития. Это существенно при переходе на полный хозрасчет.

Системы, создаваемые на основе унифицированных типовых функциональных модулей в системе Госстандарта СССР, строятся по магистрально-модульному принципу на общей магистрали. Предусматриваются три вида системы, отличающиеся мощностью используемых вычислительных средств: на основе персонального компьютера, оснащенного специальным адаптером; одноплатной ЭВМ; микроконтроллером ввода — вывода.

В качестве системного интерфейса для измерительных модулей ВНИИФТРИ предложен специальный интерфейс АЗ, который представляет собой аналого-цифровой интерфейс, оптимизированный по быстродействию, числу и составу линий на применение в измерительных системах.

Ряд унифицированных типовых функциональных модулей делится на отдельные подгруппы по функциональному назначению. Первую подгруппу (рис. 5.7) составляют вычислительные модули с различными системами команд (INTEL, DEC и др.), что должно создавать определенные удобства при разработке программного обеспечения. Ко второй подгруппе отнесены цифровые вспомогательные модули, которые позволяют согласовывать существующие магистрали персональных компьютеров с магистралью измерительных модулей, а также подключать серийные СИ при построении автоматизированных рабочих мест (АРМ) поверителей. Третья подгруппа — модули измерительные одноплатные для связи с изделиями ГСП, имеющими электрические аналоговые входные и выходные сигналы тока и напряжения согласно ГОСТ 26.001—80 «ЕССП. Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические непрерывные входные и выходные», а также для подключения образцовых мер при построении АРМ. Четвертая подгруппа специальных измерительных модулей предусматривается для выходного контроля качества продукции. Пятую

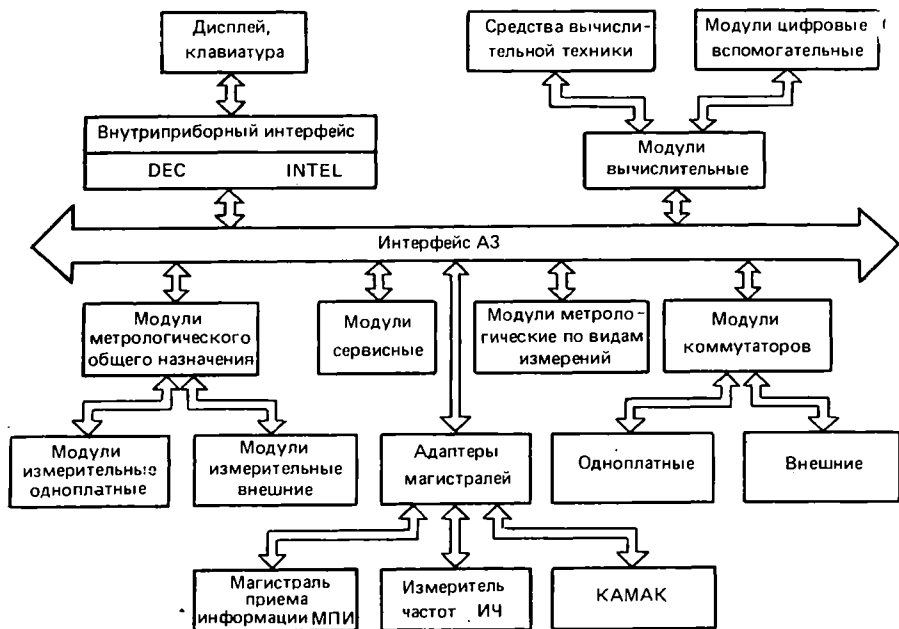


Рис. 5.7

подгруппу составляют модули, которые пока нельзя или нецелесообразно создавать в одноплатном исполнении и которые должны подключаться к системе через КОП по ГОСТ 26.003—80. Шестую и седьмую подгруппы модулей составляют модули и блоки коммутаторов. Для ведения настройки и ремонта контрольно-измерительных систем и средств автоматизации служат сервисные модули.

Программное обеспечение для универсальности делается машинно-независимым и призвано осуществлять управление приборами, модулями и устройствами системы; автоматизацию процедур измерения (выбор пределов и диапазонов измерений, введение поправок, самонастройку и т. п.); обработку результатов измерений; самопроверку, самокалибровку и другие метрологические операции по изучению измерительных каналов систем и устройств связи с объектами контроля.

### 5.7. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ КАМАК В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

В системе Министерства связи СССР разработан специализированный метрологический комплекс с использованием рассмотренного выше интерфейса КАМАК. Его применение решает при мини-

мальных затратах задачу объединения в единую систему разнотипных СИ и обеспечения независимости метрологического комплекса от типа применяемой ЭВМ. Кроме того, использование системы КАМАК в метрологическом комплексе позволяет наращивать возможности комплекса без переработки аппаратных и программных средств.

Специализированный метрологический комплекс предназначен для автоматизации поверки СИ как одной из наиболее трудоемких работ, выполняемых метрологическими службами.

Анализ состава СИ, используемых на предприятиях электро-связи, показывает, что от 60 до 70% всех радиоизмерительных приборов приходится на долю ИУ, измерительных генераторов и магазинов затухания. Поэтому в первоначальном варианте автоматизированный метрологический комплекс (АМК) рассчитан на автоматизацию всех операций по поверке этих трех видов СИ (кроме внешнего осмотра и опробования). По мере совершенствования АМК планируется обеспечить автоматическую поверку всех СИ ведомственного назначения.

В разработанном варианте рабочий диапазон АМК составляет  $20 \dots 21 \cdot 10^6$  Гц и перекрывает частотные диапазоны каналов и трактов вплоть до третичного. Метрологические характеристики комплекса определяются в основном применяемыми ОСИ, а также встроенными калибратором уровня, измерительными преобразователями, каналами и коммутаторами.

Предел допускаемого значения относительной основной погрешности измерения уровня из-за влияния каналов и коммутаторов АМК может превышать инструментальную погрешность образцового ИУ в настоящее время не более чем на  $\pm 0,05$  дБ, а измерения затухания — на  $\pm 0,1$  дБ погрешности образцового магазина затуханий. Предел допускаемого значения относительной основной погрешности измерения частоты не превышает  $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ . Характеристики АМК постоянно улучшаются.

Метрологический комплекс состоит из аппаратных средств и программного обеспечения. Аппаратные средства — это серийные цифровые приборы с программным обеспечением, специализированные преобразователи, интерфейсные модули и системные блоки (устройства ввода — вывода и управляющие устройства, т. е. контроллеры). Программное обеспечение является модульным для лучшей адаптации комплекса к различным аппаратным средствам и состоит из системной части, языковых средств и прикладного программного обеспечения. Аппаратные средства АМК и его программное обеспечение позволяют автоматизировать следующие процессы: коммутационную организацию поверочной схемы; программное управление режимом работы образцовых и поверяемых СИ в процессе выполнения операций поверки (при наличии у СИ дистанционного или программного управления); считывание результатов измерений (при наличии у СИ цифрового выхода результата измерения); обработку и коррекцию результатов измерений; печать протокола поверки.



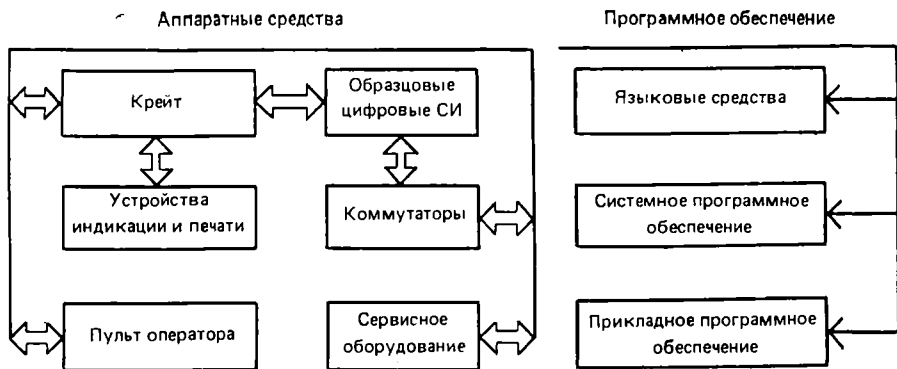


Рис. 5.8

О составе аппаратных средств АМК дает представление схема рис. 5.8. Использован крейт по ГОСТ 26.201—80 «ЕССП. Система КАМАК. Требования к интерфейсу параллельной ветви» в составе управляющей микроЭВМ и модуля «Вычислитель комплекса» на базе микропроцессоров, модуля «Измерительный аналого-цифровой преобразователь», модулей интерфейсов, коммутатора, телеграфного аппарата, индикатора и образцовых СИ.

Особенностью построения АМК является использование магистрали крейта для обмена данными между модулями крейта, а также для обмена данными между микропроцессором и памятью. Работой АМК управляет микроЭВМ через микропроцессорный контроллер, в свою очередь, микропроцессорный контроллер управляет также работой всех модулей в крейте. Информация от ОСИ через индивидуальные интерфейсные модули поступает в магистраль крейта по командам микроЭВМ. Далее, информация через микропроцессорный контроллер поступает в модуль «Вычислитель комплекса», выполняющий локальные вычисления. Результаты вычислений передаются в микропроцессорный контроллер, а через модуль «Интерфейс индикатора» поступают в матричный газоразрядный индикатор. Результаты вычислений по желанию оператора могут быть выведены на печать. Диалог оператора с АМК осуществляется с помощью пульта оператора и индикатора. Информационная совместимость устройств, входящих в состав АМК, обеспечивается аппаратным способом, модули передают в магистраль и принимают из магистрали информацию в коде КОИ-7Н<sub>0</sub>. Модули коммутатора производят коммутацию цепей поверяемых, образцовых и вспомогательных СИ.

Известно, что в настоящее время развитие средств вычислительной техники происходит быстрее, чем совершенствование СИ. Поэтому при оптимизации структуры комплекса приняты меры к локализации элементов аппаратных и программных средств, ориентированных на конкретный тип управляющей ЭВМ. При использовании ЭВМ другого типа нужно заменить только указанные



Рис. 5.9

обобщенный алгоритм автоматизированной поверочной операции. Ручные операции сгруппированы таким образом, что одна их группа выполняется до начала основного цикла, а другая группа — непосредственно после начала основного цикла. При этом можно вносить коррекцию в положение органов управления РСИ и ОСИ, наблюдая результаты своих действий на табло электронного индикатора. Программное обеспечение АМК включает в себя языковые средства, системное и программное обеспечение (см. рис. 5.8).

Для решения задач, связанных с функционированием метрологического комплекса, в независимости от задач, решаемых пользователем, применяется системное программное обеспечение, т. е. комплекс программ (управляющих и обрабатывающих), описаний и инструкций. Основные его задачи: подготовка комплекса к работе после включения питания; управление процессом ввода, лексический анализ; организация диалога с поверителем; интерпретация и исполнение операторов прикладных программ; управление процессом вывода прикладных программ на бумажный носитель или на магнитную ленту. Системное программное обеспечение написано на языке ассемблера.

Для обеспечения проведения поверочных операций используется прикладное программное обеспечение, имеющее модульную

элементы. Остальные блоки и программы не изменяются. Исследование структуры поверочных операций показывает, что наиболее часто повторяются операции, связанные с управлением ОСИ, отсчетом, регистрацией и обработкой измерительной информации. Так как подавляющее большинство рабочих СИ представляют собой стрелочные приборы с ручным управлением, то принципиально неустраняемы ручные операции инженер-поверитель.

Быстродействие измерительно-вычислительного комплекса зависит от организации диалога между поверителем и программой, а также от того, как сгруппированы ручные и автоматические операции.

структуру. Основные функции прикладного программного обеспечения: начальная подготовка системных и интерфейсных модулей; установление необходимых электрических соединений, соответствующих схеме поверки; диалог с поверителем; управление ОСИ и процессом вычисления; вывод результатов на световой индикатор; распечатка результатов.

Прикладное программное обеспечение представляет собой открытую для поверителя систему, т. е. может дополняться и изменяться при изменении состава ОСИ и расширении круга задач, которые ставятся перед метрологическим комплексом. Прикладные программы могут составляться на языке ассемблера либо на разработанном для данного комплекса специализированном языке, условно названном КАМИН (КАМАК-интерпретатор), в последнем случае значительно упрощается процесс составления прикладных программ и отпадает необходимость их трансляции.

Расширение аппаратных средств комплекса возможно увеличением числа используемых крейтов. Разработанные аппаратные и программные средства позволяют использовать до восьми крейтов, управляемых одной микроЭВМ, а система коммутации сигналов позволяет подключать к одному интерфейсу коммутатора до восьми блоков, в каждом из которых может быть восемь модулей.

Модульность аппаратных средств и программного обеспечения предопределяет структурную гибкость АМК, возможность объединения в систему различных СИ и внешних устройств, независимость структуры комплекса от типа применяемой ЭВМ, возможность расширения АМК как по количественному составу включаемых приборов и блоков, так и по классу решаемых задач. При этом упомянутые возможности, как указывалось выше, в системе КАМАК реализуются с минимальными затратами.

Особого внимания заслуживают вопросы, связанные с МО АМК, основные из них: выбор и обоснование норм и показателей точности на измерительные каналы АМК; разработка и обоснование перечня НМХ АМК; разработка методик поверок, обеспечивающих необходимую достоверность с учетом вариации параметров соединительных и коммутационных цепей АМК.

Эксплуатационные испытания АМК показали, что производительность труда поверителей при проведении поверок с использованием АМК возрастает, как минимум, в 3 раза.

Перспективным направлением совершенствования АМК, позволяющим исключить избыточность аппаратных средств, связанную с дублированием функций отдельных узлов образцовой аппаратуры, как указывалось в § 5.5, представляется оснащение его ОСИ в виде встроенных узлов и модулей, конструктивно выполненных в стандарте КАМАК.

## 5.8. ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС КЗ-3 С ИНТЕРФЕЙСОМ КОП

Примером автоматического ИВК узковедомственного назначения для отрасли связи может служить комплект КЗ-3. Комплекс реализован на базе рассмотренного выше (см. § 5.3) стандартного интерфейса для измерительных устройств КОП по ГОСТ 26.003—80 «ЕССП. Система интерфейса для измерительных устройств с байт-последовательным, байтпараллельным обменом информацией. Требования к совместимости».

В состав комплекта входят ИУ универсальный ИУ 2.1-1, генератор измерительный ГИ-2.1-1 и управляющее устройство для связи с алфавитно-цифровым печатающим устройством (телеграфным аппаратом Т-63).

Комплект КЗ-3 предназначен для использования при проведении измерений параметров линий передачи, групповых и линейных трактов систем передачи в диапазоне частот 10...2100 кГц. Имеется программное управление и выход на магистраль КОП. Предусмотрена возможность работы измерителя в магистрали КОП как в качестве контроллера, так и приемника-источника (ГОСТ 26.003—80).

Ниже кратко рассматриваются назначение, принцип действия, основные технические данные и организация совместной работы через КОП измерительного генератора ИУ и управляющего устройства для телеграфного аппарата на примере ИВК КЗ-3. Рассмотренные выше общие вопросы построения интерфейса КОП в КЗ-3 нашли конкретное решение.

**Генератор измерительный ИГ-2.1-1** является источником высокостабильных немодулированных гармонических сигналов и предназначен для эксплуатационных, настроечных и производственных измерений параметров групповых трактов ЕАСС в диапазоне частот 10...2100 кГц.

В генераторе предусмотрена возможность ручного и программного управления частотой, уровнем выходного сигнала и вывода информации на внешнее регистрирующее устройство через КОП.

Рабочий диапазон частот от 10 до 2100 кГц, дискретность установки частоты не более  $\pm(1 \cdot 10^{-6}f + 1)$  Гц, где  $f$  — установленная частота, Гц.

Пределы измерения уровня выходного сигнала от 0 до  $-79,9$  дБн с дискретностью 0,1 дБн, основная погрешность установки уровня не более  $\pm 0,1$  дБн, дополнительная — в пределах  $\pm 0,05$  ...  $\pm 0,4$  дБн в зависимости от значений ослабления и частоты. Предусмотрен режим автоматических перестроек частоты в заданном диапазоне частот с заданным шагом.


«Шаг F1, F2» — кнопки выбора режима для набора частотного шага, значений начальной и конечной частоты развертки; «Пуск», «Стоп» — кнопки включения и остановка автоматической развертки частоты; «Непрер.» — включение режима непрерывной развертки; «Сброс» — сброс набранных значений исходных данных;


«1»...«9», «0» — набор значений частоты, времени развертки и выходного уровня; «Ввод» — ввод в регистр памяти набранных значений частоты, времени развертки, выходного уровня; «,» — набор запятой; «S»/шаг — включение режима для набора значений времени автоматической развертки частоты: «однокр.» — включение режима однократной развертки частоты; «Уров.» — включение режима для набора значений выходного уровня; «Част.» — включение режима для набора значения частоты выходного сигнала; «↔», «←» — ручная перестройка частоты в сторону ее увеличения или уменьшения и выбор знака значения уровня выходного сигнала.

Свечение цифр сектора «кГц» на информационном табло обозначает установку частоты при ее наборе или частоту настройки во время работы; надписи «F1, F2, шаг» сектора «Частота» — обозначает включение генератора в режим установки начальной и конечной частот развертки и частотного шага; свечение цифр перед надписью «S/Шаг» обозначает скорость развертки частоты.

Индикация символов   «Стоп» сектора цифрового

табло «S/Шаг» обозначает развертку частоты соответственно в сторону ее уменьшения или увеличения и остановку развертки. В секторе «Развертка» индицируется включение либо непрерывной («Непрер.»), либо однократной («Однокр.») режимов развертки,

в секторе «Выход вкл.» — вида выхода генератора: 

или 

Надпись «Ввод» совместно со светящейся точкой указывает о необходимости ввода характерных значений в регистр памяти микропроцессора. Свечение цифр сектора dВн обозначает значение уровня выходного сигнала. Надписи А0—А4 обозначают переключатели, устанавливающие необходимый код адреса при работе генератора в магистрали КОП (положения 0 или 1).

Интересно то, что в секторе «кГц» отображаются также ошибки программирования в формате ЕгN, где N — одноразрядный номер ошибки. Например, 3.4 — набранные частоты выходят за пределы F1 и F2 соответственно, а 6 — набранный уровень не соответствует диапазону выходных уровней и т. д.

Генератор соответствует ГОСТ 26.003—80 и обеспечивает следующие интерфейсные функции (табл. 5.4).

Программирование генератора через КОП аналогично программированию в местном режиме. Коды программирования соответствуют стандарту КОП. В качестве примера приведены коды, соответствующие нажатию некоторых кнопок управления генератором (табл. 5.5).

Таблица 5.4

Обозначение функции	Наименование функции	Функциональные возможности
СП 1	Синхронизация приема	Все
СИ 1	Синхронизация источника	Все
П 4	Приемник	Основной приемник. Освобождается от МАП, если МАИ
И 6	Источник	Основной источник. Последовательный опрос. Освобождается от МАИ, если МАП
З 1	Запрос на обслуживание	Все
ДМ 2	Дистанционный местный	Нет записания местного
СБ 1	Очистить устройство	Все

Примечание. МАП — мой адрес приемника; МАИ — мой адрес источника.

Таблица 5.5

Наименования кнопок и команд	Вид кода										
	Десятичный	Шестнадцатеричный	Обмена информацией	Двоичный							
				7	6	5	4	3	2	1	0
1	66	42	В	0	1	0	0	0	0	1	0
2	35	23		0	0	1	0	0	0	1	1
ШАГ	36	24		0	0	1		0	1	0	0
ВВОД	62	3E		0	0	1	1	1	1	1	0
1	49	31	1	0	0	1	1	0	0	0	1
ОШИБКА ПРГ	69	45	Е	0	1	0	0	0	1	0	1
НЕПРЕР	42	2A		0	0	1	0	1	0	1	0
УРОВ	33			0	0	1	0	1	0	0	1

При подаче символа 1 и требуемого параметра с последующей адресацией МАИ в КОП выдается сообщение, примеры которых приведены в табл. 5.6.

Сигнал запрос обслуживания (ЗО) выдается в КОП при ошибке программирования и по окончании однократной развертки.

Генератор ИГ-2.1 по принципу действия относится к устройствам с диапазонной кварцевой стабилизацией частоты, т. е. все выходные частоты являются производными одной опорной частоты, стабилизированной кварцевым резонатором. Структурная схема такого генератора приведена на рис. 5.10. С помощью клавиатуры или через КОП возможно управление частотой и уровнем выходного сигнала. Данная структура измерительного генератора во многом является типовой [6].

Синтезатор частоты вырабатывает гармонический сигнал в диапазоне частот 5,01... 7,1 МГц с шагом 10 Гц. Синтезатор используется также в качестве гетеродина в преобразователе частоты измерителя уровня ИУ-2.1-1. В генераторе при смешивании сигнала синтезатора с напряжением фиксированной частоты 5 МГц на

Таблица 5.6

Запрос вы- дачи сооб- щения	Сообщение	Формат сообщения побайтно в кодах КОИ	Длина со- общения, байт
1 Б	Частота начальная	ЧН— FFFF.FF кН ВК ПС	15
1 #	Частота конечная	ЧК— FFFF.FF кН ВК ПС	15
☒	Шаг частоты	ШЧ— FFFF.FF кН ВК ПС	15
Е	Номер ошибки	ОШ=Е ВК ПС	6
*	Выбрана ли непрерыв- ная развертка A=1 — да, A=0 — нет	RH=A ВК ПС	6
Δ	Выходной уровень	ВУ— LLLL.L дВч ВК ПС	13
%	Время на шаг	ВШ TT ВК ПС	8

Примечание. F — символы соответствующих цифр значения частоты; L — символы знака и цифр значений уровня; — знак пробела; ВК — команда возврата каретки; ПС — команда перевода строки.

выходе преобразователя частоты образуется напряжение в диапазоне частот 10...2100 кГц. В выходном усилителе происходит усиление сигнала до необходимого уровня 0 дБн на сопротивлении 75 Ом. Для улучшения стабильности выходного уровня и уменьшения частотной неравномерности применена эффективная система обратной АРУ. Программируемый аттенюатор предназначен для ослабления сигнала, поступающего с выходного усилителя в пределах 0...—79,9 дБн с дискретностью 0,1 дБ. Интерфейс используется для подключения генератора к другим измерительным приборам через магистраль КОП.

Таким образом, особенность ИГ-2.1-1 заключается в том, что перестройка частоты и уровня выходного измерительного сигнала может осуществляться как в ручном режиме, так и автоматичес-

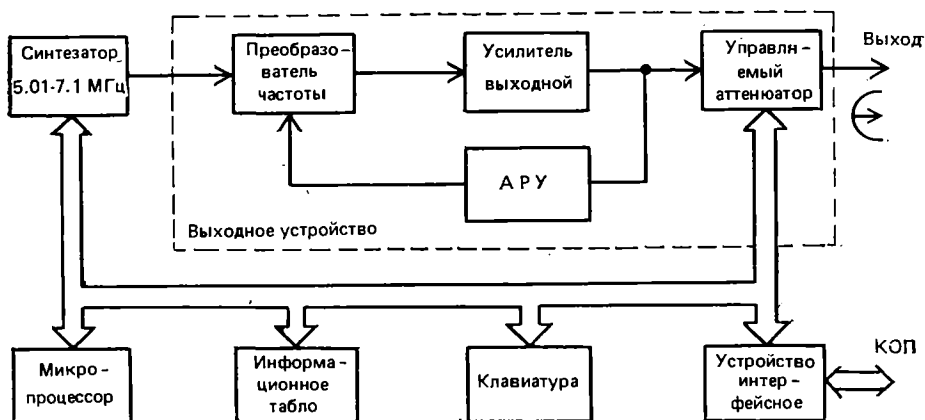


Рис. 5.10

ки. Управление режимами и перестройкой синтезатора частоты осуществляется с помощью МП.

**В ручном режиме** на клавиатуре набираются код желаемой частоты и уровень выходного сигнала. Для однозначного понимания информации, поступающей от клавиатуры, в техническом описании прибора приводятся требуемые трафареты ввода. Наличие информационного табло позволяет не только контролировать вводимую информацию, но и служить «подсказкой» пользователю. Так, свечение надписи «F1» сектора «Частота» информационного табло означает включение генератора в режим установки начальной частоты развертки. После появления надписи «F1» пользователь набирает на клавишном пульте соответствующее значение частоты (клавиши цифр 0, 1, ..., 9). Затем нажимается кнопка «Ввод». На МП при этом поступает сигнал запроса на прерывание. После выдачи МП сигнала готовности к прерыванию набранный код частоты поступает из буферного регистра в порт ввода МП. Микропроцессор в соответствии с программой формирует код перестройки генератора и выдает этот код на шину данных синтезатора и в МП. Последний сравнивает код поступившей частоты с кодом набранной и по разности выдает новый код подстройки.

Аналогичным образом происходит установка уровня выходного сигнала. Как видим, в режиме ручной настройки измерителя вручную вводятся только значения желаемой частоты и уровня измерительного сигнала. А все управление реализовано в программном обеспечении МП.

**Автоматический режим** характеризуется применением развертки по частоте. Дело в том, что при измерениях на первичных сетях ЕАСС, как правило, необходимо производить измерения уровня (остаточного затухания) на контрольных частотах и в диапазоне частот. При этом генератор и ИУ необходимо перестраивать синхронно с определенным шагом. Желательно, чтобы при измерениях перестройка, фиксация результатов и даже пороговый контроль происходили автоматически. Такой режим работы и называется *разверткой*. Конечно, можно и в ручном режиме задать начальную частоту F1, шаг частоты  $\Delta F$  и последовательно запускать МП на выполнение. Но такая операция трудоемкая и длительная. В автоматическом режиме развертка осуществляется программно. Причем под управлением МП развертка частоты от начальной F1 до конечной F2 будет происходить с введенным шагом и периодом перестройки. Человек может не успеть воспринять и зафиксировать эту информацию. Таким образом, прибор-потребитель (например, ИУ) должен воспринимать измерительные сигналы также в автоматическом режиме. Более того, реакция прибора-потребителя на измерительную информацию должна быть зафиксирована в МП и выведена на печатающее устройство. Подача измерительного сигнала (в линию или канал связи) потребителю, ответная реакция потребителя, приходящая в МП, должны происходить в определенной форме, обусловленной протоколом обмена.



В приборе КЗ-3 принят протокол обмена интерфейса КОП. В КОП, как указывалось выше (§ 5.3), по одним и тем же линиям связи в цифровом коде происходит передача информации от измерителя к потребителю и ответ от потребителя к измерителю с разделением во времени. Магистраль КОП подразделяется на ШД — шину данных; ШС — шину синхронизации; ШУ — шину управления (рис. 5.11). Шина данных используется для передачи и приема данных: адресных, программных, основных и о состоянии.

В автоматическом режиме МП измерителя вырабатывает по программе на свою ШД адрес потребителя. Этот адрес поступает на ШД измерительной части (см. рис. 5.10). С шины данных измерителя адрес поступает в буферную память данных устройства интерфейсного (см. рис. 5.10). Затем МП в соответствии с программой выдает код интерфейсной функции. В интерфейсном уст-

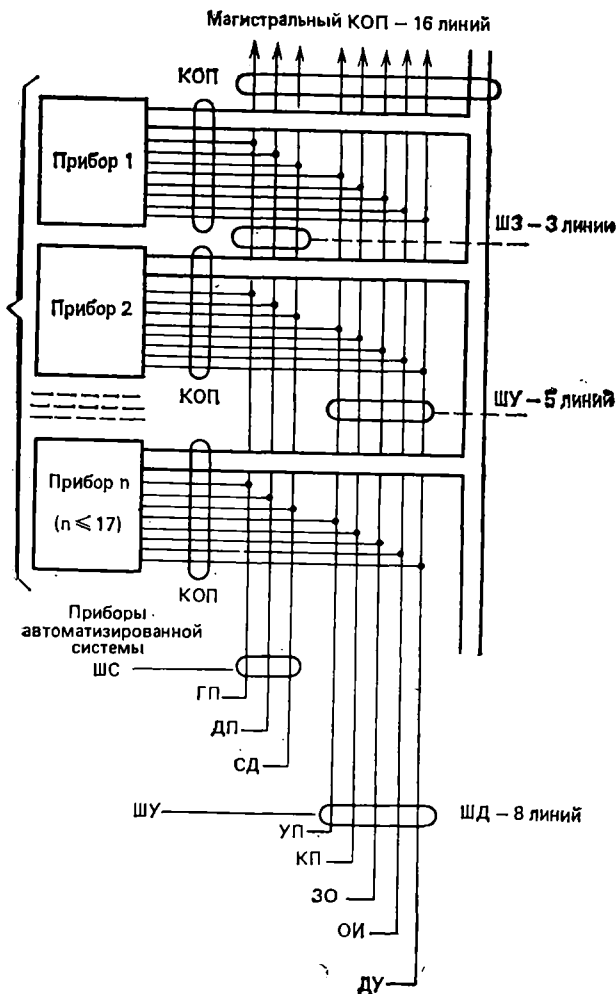


Рис. 5.11

ройстве логика синхронизации (комбинационные схемы) вырабатывает сигналы для ШС и ШУ в соответствии с интерфейсной функцией. В частности, используются следующие регламентируемые стандартом функции интерфейса: СИ — синхронизация передачи источника; СП — синхронизация приема; ЗО — запрос на обслуживание; СБ — очистить устройство; ЗП — запуск устройства; УП — управление; КП — конец передачи; ОИ — очистить интерфейс; ДУ — дистанционное управление. Функция интерфейса СИ — контролировать начало и окончание передачи сообщения. Эта функция использует линии шины управления СД — сопровождение данных; ДП — данные приняты; ГП — готов к приему. Команды, назначения адресов и коды приведены в табл. 5.5 и в технических данных измерителя.

**Клавиатура генератора** предназначена для ручной установки режимов и параметров выходного сигнала с индикацией на информационном табло. Узел клавиатуры предназначен для выработки кодов для МП, соответствующих нажатым кнопкам. Структурная схема узла клавиатуры приведена на рис. 5.12. Формирование кодов производится так. Пятиразрядный двоичный счетчик работает в режиме счета импульсов частоты 10 кГц. Код с четырех разрядов счетчика поступает на дешифратор. Кнопки клавиатуры разделены на две группы и подключены к выходам дешифратора. При нажатии какой-либо кнопки клавиатуры существующий выход дешифратора принимает низкий уровень на период нажатия кнопки. В момент появления в пятом разряде счетчика низкого уровня через логику совпадения тактовыми импульсами частотой 10 кГц запускается ждущий мультивибратор. Выходной импульс мультивибратора закрывает устройство совпадения, и поступление тактовых импульсов на двоичный счетчик прекращается. На выходе счетчика устанавливается код, соответствующий нажатой кнопке. Триггер фиксирует нажатие кнопки. Микропроцессор

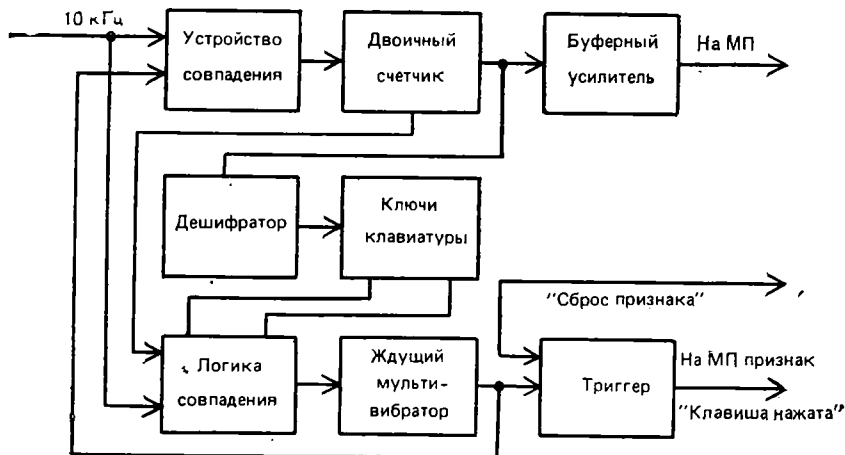


Рис. 5.12

через буфер считывает выходной код счетчика, соответствующий приведенному в табл. 5.5. Режим и параметры сигнала генератора индицируются на информационном табло, размещенном в одном узле управления с клавиатурой.

**Узел табло** (рис. 5.13) реализует индикацию методом мультиплексирования. Период мультиплексирования определяется коэффициентом деления делителя. Импульсы с выхода делителя дифференцируются и используются для бланкирования буферов и формирования сигнала прерывания для МП. Индикаторы табло разделены на группы по две цифры. После прерывания сигналами АДР ВН, АДР СН, АДР ДН, АДР Д из шины данных МП в память записываются коды групп, коды информации первой и второй цифр в соответствии с табл. 5.6. Сигнал кода группы через буфер и ключи мультиплексирует питание индикаторов. Сигналами информации первых и вторых цифр через буферы и ключи включаются сегменты цифровых индикаторов и светодиодов.

**Микропроцессор** предназначен для контроля частоты синтезатора, выходного уровня генератора, индикации параметров сигнала генератора, обслуживания клавиатуры и дисплея и программной реализации части функций КОП. Структурная схема микроЭВМ комплекта КЗ-3 приведена на рис. 5.14. Тактовый сигнал 1 МГц от синтезатора поступает на формирователь фазовых сигналов тактовых импульсов Ф2 и Ф1 для центрального процессорного элемента ЦПЭ. Из ЦПЭ через адресный буфер выходит 14-разрядная адресная шина, которая предназначена для обращения к ПЗУ, ОЗУ, внешним устройствам и 8-разрядная двунаправленная шина данных, которая позволяет непосредственное подклю-

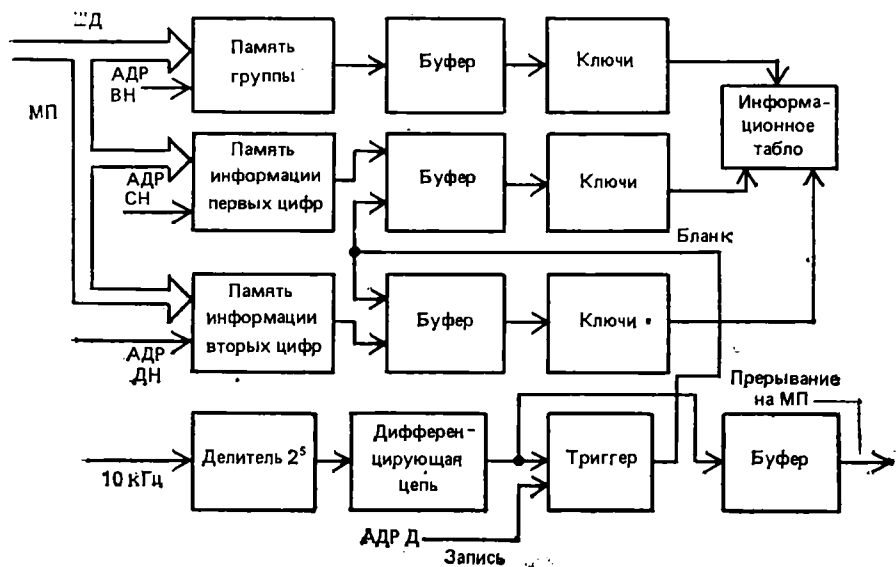
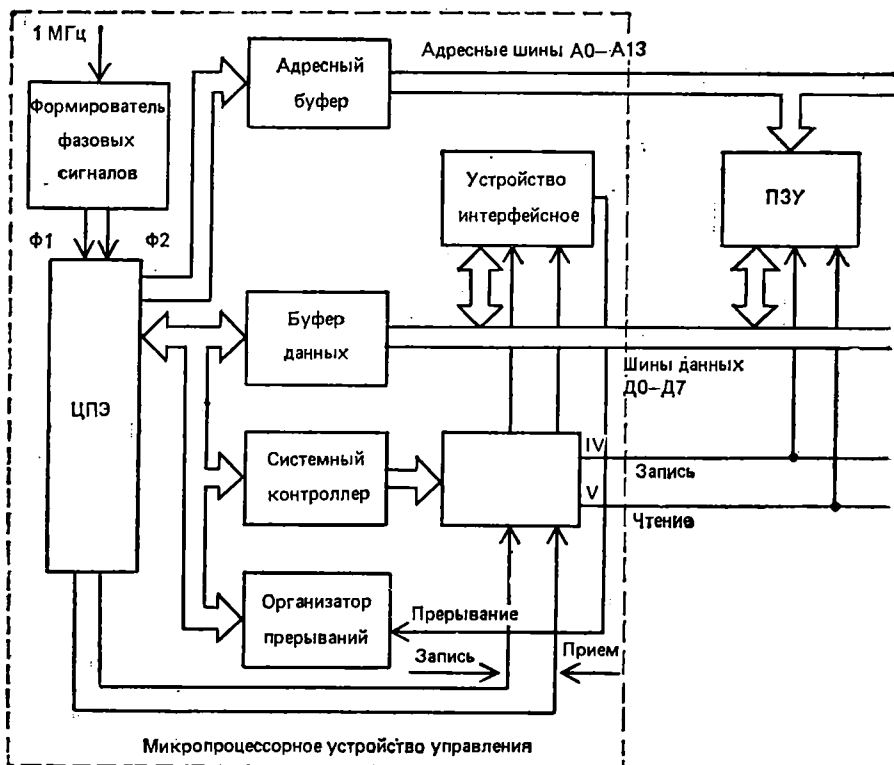


Рис. 5.13



нение к МП памяти внешних устройств. Центральный процессорный элемент формирует также сигналы управления. Команды ЦПЭ состоят из одного, двух или трех байт, требуют для выборки и выполнения от одного до пяти машинных циклов. Каждый машинный цикл занимает от трех до пяти тактов. Выполняемая процессором программа хранится в ПЗУ. Для хранения оперативных данных используется ОЗУ с произвольной выборкой.

При поступлении команды прерывания, организатор прерываний выдает сообщение ЦПЭ о выполнении заданной программы. Во время прерывания МП выдаются необходимые данные на информационное табло генератора. Код команды дешифруется в дешифраторе и МП, выдаются команда записи — чтения кодов ШД и команда прерываний. Для организации адресов чтения и записи в дешифрующем устройстве используется четыре разряда адресной шины МП. Дешифраторы адресов чтения и адресов записи представляют собой дешифраторы типа 4 В-16. Ждущий мультивибратор, запускаемый последним адресом установки частоты синтезатора, вырабатывает сигнал для организации бланкирования уровня генератора на время переходных процессов перестройки частоты сигнала синтезатора.

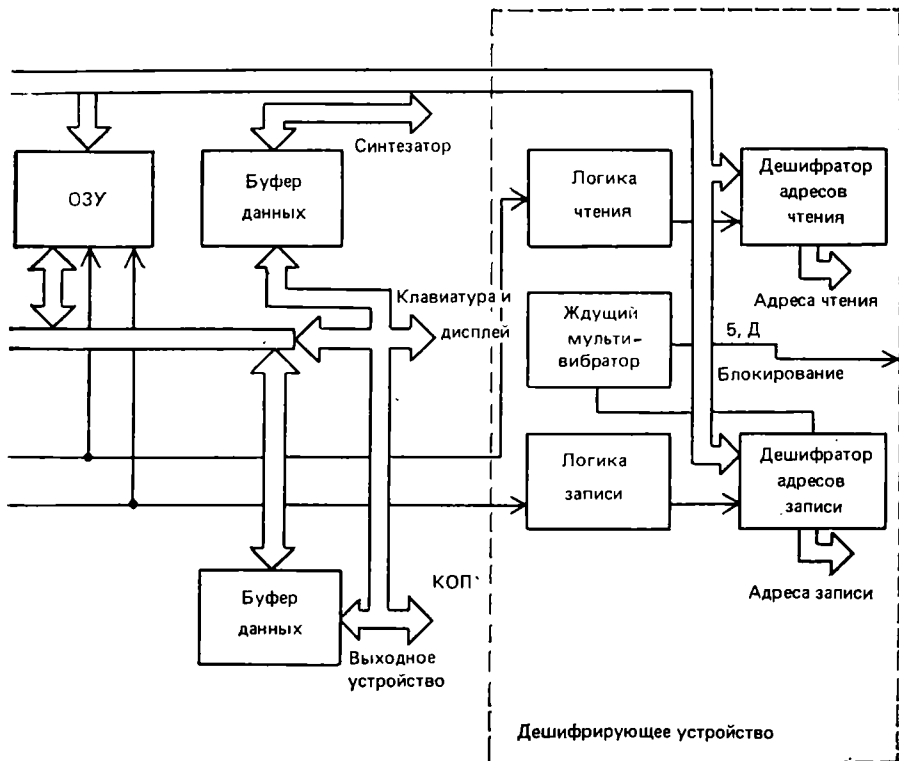


Рис. 5.14

**Интерфейс** предназначен для соединения генератора с другими измерительными приборами через магистраль КОП. В интерфейсном устройстве (рис. 5.15) аппаратно реализуются интерфейсные функции (см. табл. 5.4), имеющие временные ограничения. Интерфейсные функции УП и СИ фиксируются триггерами, что исключает необходимость организации прерывания МП. Функция СБУ используется для перезапуска МП. Сигналы данных и управления, поступающие по шине данных микропроцессора (D0—D7), фиксируются в буферной памяти данных при поступлении соответствующих адресов. При поступлении сигналов из логики синхронизации возбудители магистрали передают в магистраль КОП сигналы данных и управления.

**Измеритель уровня универсальный ИУ-2.1-1** предназначен для измерения уровня по напряжению и исследованию амплитудно-частотных характеристик трактов систем передачи, работающих по симметричным и несимметричным цепям. Уровень и частота настройки определяются по цифровому табло. Измеритель может использоваться в режимах ручного и автоматического управления по заданной программе, работать как автономно, так и через стандартный КОП совместно с ГИ-2,1-1 и другими СИ.

Основная погрешность измерения уровня 0 дБн на частоте 100 кГц, не превышает  $\pm(0,1 \text{ дБн} \pm 1 \text{ ед. счета})$ , пределы измерения от  $-60$  до  $+20$  дБ в широкополосном и от  $-100$  до  $+20$  дБн в избирательном режимах, погрешность от  $\pm(0,1 \text{ дБ} + 1 \text{ ед. счета})$  до  $\pm(1,3 \text{ дБ} + 1 \text{ ед. счета})$ .

Рабочий диапазон частот измерителя 10...2100 кГц для неуравновешенного и 10...600 кГц для уравновешенного входов, частотная погрешность не превышает  $\pm(0,1 \dots 0,2 \text{ дБн} + 1 \text{ ед. счета})$  в зависимости от диапазона частот, полоса пропускания на уровне  $-3$  дБн составляет  $22 \pm 3$  Гц в режиме узкой и  $\pm(1740 \pm 250)$  Гц в режиме широкой полосы пропускания, основная погрешность настройки на частоту не более  $(1 \cdot 10^{-6} + 1)$  Гц с дискретностью установки 10 Гц.

Имеется индикация режимов работы и ошибок программирования, аналогичная реализованной в ГИ-2,1-1.

Измеритель соответствует ГОСТ 26.003—80 на интерфейс КОП. Сообщения в КОП для управления частотой ГИ-2,1-1 посылаются в формате: LFFFF:FF>ВК ПС, где L — команда подготовки к занесению в регистр частоты генератора; F — символы, соответствующие цифрам значения частоты в килогерцах; : — команда ввода десятичной точки; > — команда ввода для измерительного генератора.

Аналогично тому, как это реализовано в ГИ-2,1-1, производится программирование через КОП органов управления и выдача в КОП приборозависимых сообщений. Так, о текущей частоте и измеренном уровне и соответствии его заданным пределам сообщение имеет формат: FFFF.FFLLLL.LI (ВК) (ПС), где указаны значения текущей частоты, кГц, (F), уровня, дБн, (L), 1 — признак соответствия заданным пределам при измерениях уровня: на месте 1 передается символ пробела, если в пределах, и < или >, если за нижним и верхним пределами. Выдается также сигнал «Запрос обслуживания» (ЗО) и сообщения об ошибках программирования.

Прибор является универсальным ИУ с цифровым программным управлением. Структурная схема измерителя приведена на рис. 5.15. В измерительном режиме устройство работает как селективный измеритель уровня с тройным преобразованием частоты. В качестве первого гетеродина служит синтезатор частоты. Управление синтезатором осуществляется МП через память данных. В селективной части формируются соответствующие полосы пропускания, осуществляется детектирование, измерение уровня сигнала и выдача данных измерений в МП [6]. Микропроцессором осуществляется общий контроль и управление измерителем, обрабатываются данные и выдаются в цифровой форме на дисплей, производится опрос клавиатуры передней панели и устанавливается частота синтезатора, управляется преобразователь код-аналог и осуществляется через интерфейсное устройство работа измерителя с магистралью КОП.

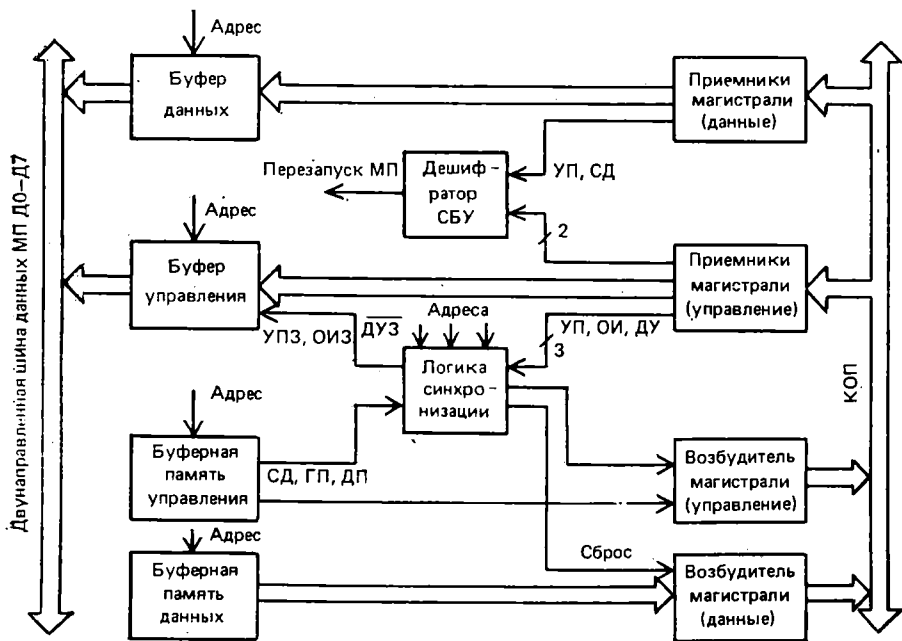


Рис. 5.15

Дешифратор адресов вырабатывает адрес команд, с помощью которых осуществляется выдача и прием всей информации МП. Принцип действия отдельных функциональных узлов измерителя подобен изложенному выше для соответствующих устройств генератора ГИ-2,1-1 и здесь не приводится.

**Метрологическое обеспечение** комплекта КЗ-3 соответствует стандартам на поверку измерительных генераторов и универсальных ИУ. Особенностью МО ИВК, отличающей его от обеспечения других приборов многоцелевого назначения для систем передачи, является определение соответствия требованиям ГОСТ 26.003—80 при проведении поверки. Это достаточно сложная операция обусловлена необходимостью проверки возможности использования комплекта для работы в магистрали КОП. При поверке применяются анализатор логических состояний КОП 814, устройство управления и обработки данных 903, устройство управления 501А, считывающее устройство 516 и пишущая машина «Консул 360». Поверка производится по специальной программе (прилагается к КЗ-3) в диалоговом режиме. Поверитель следует за печатаемым текстом и выполняет предписываемые действия. Результаты поверки считаются удовлетворительными, если выдаваемые измерителем сообщения соответствуют приведенным в описании интерфейсных функций ГИ-2,1-1 таблицам, а печатаемый текст имеет типовую для метрологически исправного СИ форму.

Описанные принципы построения и МО измерительного генератора и ИУ комплекта КЗ-3 являются типичными для СИ, в которых реализован стандартный интерфейс КОП, и иллюстрируют приведенные выше принципы построения ИВК и ИИС для систем передачи ЕАСС.

### 5.9. ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС АИСТ-ТЧ

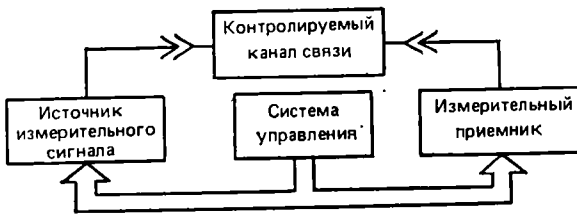
Прибор является средством измерения нового поколения с высокой степенью автоматизации процессов измерения, самокалибровки и самопроверки во всех режимах работы. Автоматический измеритель статистических параметров канала ТЧ АИСТ-ТЧ предназначен для автоматического измерения случайно измеряющихся (статистических) параметров каналов ТЧ в процессе настроечных и эксплуатационных измерений при подключении его к каналу ТЧ с четырехпроводным окончанием. Измерение электрических параметров канала ТЧ производится в соответствии с требованиями ГОСТ 21655—87 и рекомендациями МККТТ, в том числе: измерение дрожания фазы по Рекомендации МККТТ 0,91, скачков фазы — 0,95, скачков амплитуды — 0,95 и измерение импульсных помех по Рекомендации 0,71.

Измеритель включает в себя специализированную микроЭВМ, не требует дополнительного программирования потребителем и обеспечивает обмен информации с внешней ЭВМ, совпадающей по системе команд и МП интерфейсу с микроЭВМ «Электроника-60». Это позволило измерять как отдельные характеристики канала ТЧ — амплитудно-частотные, амплитудные и фазовые, так и характеристики, определяющие помехоустойчивость, и его статистические параметры. Индицируются и могут документироваться результаты цикловой (за одну минуту) и темповой обработки за целое наперед заданное число циклов. Интересно, что управление измерителем осуществляется в диалоговом режиме (режим «меню») и одновременно может измеряться восемь параметров. Реализованы автоматические калибровки и самопроверка.

Метрологические свойства источника измерительного сигнала характеризуются пределами допускаемых значений основной погрешности установки частоты 1020 Гц, равной  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$  (для других частот —  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ ), погрешностью установки выходного уровня —10 дБ, равной  $\pm 0,15$  дБ. Измерительный приемник характеризуется погрешностью измерения уровня —10 дБн на частоте 1020 Гц, равной  $\pm 0,2$  дБ. Погрешность измерения частоты 1020 Гц равна  $\pm 0,1$  Гц, а погрешность измерения дрожания фазы в пределах  $\pm 20^\circ$  составляет  $\pm 1,5^\circ$ .

Измеритель представляет собой аппаратно-программный ИВК, включающий в себя встроенную микроЭВМ системы LS-1, выполняющую функции управления измерителем, обработки результатов, систему измерительных датчиков и источник измерительных





сигналов. Структурная схема измерителя АИСТ-ТЧ показана на рис. 5.16.

Источник измерительных сигналов под управлением ЭВМ формирует испытательный сигнал, который подается в контролируемый канал связи. С выхода сигнал подается на вход измерительного приемника, осуществляющего преобразование сигнала в форму, удобную для обработки с помощью ЭВМ. МикроЭВМ обеспечивает в виде диалога общение оператора с измерителем при программировании режимов работы измерителя. В процессе измерений ЭВМ осуществляет управление работой датчиков, съем показаний датчиков, статистическую обработку результатов, а также вывод их на индикацию и документирование. Сопряжение микроЭВМ с измерительными датчиками и источником измерительных сигналов осуществляется с помощью общего канала обмена информацией с 16-разрядным представлением адреса и данных. Обращение измерительных датчиков к процессору микроЭВМ осуществляется прерыванием его работы. Очередность и приоритеты обращения измерительных датчиков (внешних устройств) к процессору обуславливаются временным распределением работы датчиков и их расположением вдоль «цепи» сигнала относительно процессора. Схема размещения внешних устройств вдоль «цепи» сигнала прерывания представлена на рис. 5.17.

Временное распределение работы датчиков осуществляется устройством временного управления, синхронизация которого осуществляется сигналами стробов запуска. Внутреннее переключение устройства временного управления производится в соответствии с циклами работы АЦП. Измерения осуществляются по трем независимым программам: измерение амплитудно-частотной характеристики канала; измерение амплитудной характеристики канала; измерение статистических параметров канала.

При измерениях амплитудно-частотных характеристик в испытуемый канал от источника испытательных сигналов по-

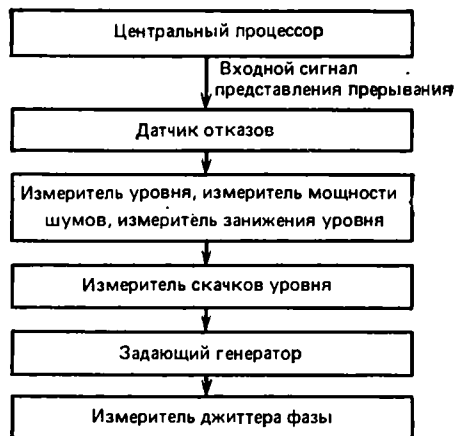


Рис. 5.17

следовательно с периодом 5 с передаются сигналы 12 частот от 300 до 3400 Гц. Измерительный приемник их принимает, измеряет уровень и индицирует результаты измерений в виде значения уровня приема на каждой из частот либо его отклонение от уровня приема на частоте 800 Гц. При измерении амплитудных характеристик в испытуемый канал аналогичным образом передаются сигналы частотой 1020 Гц, уровень которых принимает последовательно одно из 12 значений, зависящих от точки подключения. Результаты измерений индицируются либо в виде уровня приема, либо как отклонение от номинального уровня передачи. Проведение измерений амплитудно-частотных и амплитудных характеристик, требующих наличия двух, расположенных по обоим сторонам канала приборов, начинается с их синхронизации, в результате чего осуществляется привязка временных шкал обоих приборов. В режиме «Автомат» производятся пять циклов измерений характеристик, после чего результаты измерений для каждой из частот либо уровня усредняются и выводятся. Программы измерения и результаты документируются на внешнем телеграфном аппарате. При измерении статистических параметров обеспечивается одновременное измерение любой совокупности остальных контролируемых измерителем параметров. Измерения производятся в течение устанавливаемого при программировании измерений сеанса. Длительность измерительного темпа программируется при подготовке измерений от 15 мин до 1 ч.

По окончании измерительного темпа производится темповая обработка, заключающаяся в обработке массива результатов цикловой обработки. Результаты темповой обработки выводятся для документирования на внешний телеграфный аппарат.

Контролируемые измерителем АИСТ-ТЧ параметры канала связи могут быть условно разбиты на две категории: амплитудные, измерения которых связаны с различного рода преобразованиями амплитудных характеристик поступающего на вход измерителя сигнала; и фазовые измерения, которые выполняются измерением мгновенной длительности периода входного сигнала с последующей обработкой. К данному классу относятся измеритель отклонения частоты, измеритель дрожания и скачков фазы.

Измерения амплитудных параметров в основном осуществляются аналого-цифровым методом — необходимое усиление и детектирование определенного вида производятся аналоговым путем, а сравнение с установленными порогами в датчиках отказов, помех и колебаний уровня и выбор пределов измерения в измерителе уровня производятся цифровым методом после преобразования в код аналоговых сигналов. В измерителе мощности шума аналого-цифровое преобразование результатов измерений производится непосредственно перед передачей их процессору. Измерение фазовых характеристик выполняется непосредственным преобразованием в код мгновенной длительности периода входного сигнала и последующей цифровой обработкой полученных данных микроЭВМ.

Аппаратные и программные СИ амплитудных параметров для большинства ИВК в основном являются типовыми и описывались выше (§ 5.2). Интерес представляет реализация фазовых измерений — изменений частоты, дрожания (джиттера) и скачков фазы. В измерителе преобразование длительности мгновенного дрожания сигнала в код осуществляется в блоке датчика измерителя фазы (ДИФ), а определение фазовых параметров — с помощью встроенной ЭВМ. Изменение частоты сигнала, флуктуация фазы обычно характеризуются размахом, т. е. разностью между максимальным и минимальным отклонениями фазы, а также скачками (изменениями) величины  $\Delta\varphi/\Delta t$  до значения заданного порога: «а» и больше в течение времени  $\tau$ . По Рекомендации МККТТ  $a = 5$  град/мс,  $\tau = 4$  мс.

В традиционных фазометрах, выполняемых по Рекомендации МККТТ 0.91, обязательно имеется опорный генератор с системой ФАПЧ для совмещения фазы опорного сигнала с математическим ожиданием фазы измеряемого сигнала и получения нуля шкалы измерения. Поэтому здесь на каждом периоде можно вести отсчет отклонения фазы  $\varphi(t)$  относительно «абсолютного» нуля математического ожидания (см. § 5.2). В отличие от традиционных фазометров в АИСТ-ТЧ определяется среднее значение периода исследуемого сигнала и исключением системы ФАПЧ совмещается начало шкалы отсчета фазовых искажений с началом произвольно выбранного перехода сигнала через нуль — характерного момента. Относительно этого «относительного» нуля и производится отсчет «относительной» фазы  $\varphi_R(t)$  [7].

Действительно, для квазигармонических сигналов на входе измерителя из-за джиттера фазовый сдвиг является функцией времени и для моментов, когда сигнал переходит через нуль, справедливо выражение

$$2\pi f_i t_i + \varphi(t_i) = i\pi, \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

В датчике измерителя дрожания фазы определяется интервал между близлежащими характерными точками

$$T_1 = t_{i+1} - t_i = \frac{1}{2f_i} - \frac{\varphi(t_{i+1}) - \varphi(t_i)}{2\pi f}$$

Отклонение частоты определяется через разность между заданным значением периода сигнала на передаче  $T_0$  и выборочным средним  $\tilde{T}$  по  $n$  интервалам  $T_1$  — оценкой математического ожидания длительности периода сигнала на приеме

$$\Delta f = f_0 \frac{\tilde{T} - T_0}{T}$$

где  $\tilde{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$ ;  $f_0 = 1/T_0$ .

Флуктуация фазы для любого последующего интервала времени  $j = n+k$  пропорциональна сумме  $k$  разностей  $\Delta T_j$  между сред-

ним  $T$  и мгновенным  $T_j$  значениями для всех анализируемых за сеанс интервалов от  $n+1$  до  $m$  ( $j = \overline{n+1, m}$ ):

$$\Delta\varphi_{Rk} = \sum_{n=1}^{n+k} \Delta T_j.$$

Действительно,

$$T_{n+1} - \tilde{T} = \Delta T_{n+1};$$

$$T_{n+1} - T_{n+2} - 2\tilde{T} = \Delta T_{n+1} + \Delta T_{n+2};$$

$$\sum_{k=1}^{m-n} T_{n+k} - (m-n)\tilde{T} = \sum_{k=1}^{m-n} \Delta T_{n+k}.$$

Интервалы между двумя характерными точками квантуются с помощью заполнения импульсами — метками времени с частотой повторения  $F$ . Число импульсов  $\tilde{N} = F\tilde{T}$ ,  $N_j = FT_j$  и  $\Delta N_j = N_j - \tilde{N}$ .

Относительное значение фазы на  $(n+k)$ -интервале

$$\xi_k = 2\pi \sum_{j=n+1}^{n+k} \left( \frac{N_j}{\tilde{N}} - 1 \right)$$

Максимальный размах джиттера при традиционном абсолютном отсчете и при относительном, принятом в АИСТ-ТЧ, совпадают:

$$R_\varphi = \max_{\varphi_j > 0} \varphi_j - \min_{\varphi_j \leq 0} \varphi_j = \max_{\xi_j > 0} \xi_j - \min_{\xi_j \leq 0} \xi_j.$$

При фиксации скачка фазы программным путем проверяется последовательно соблюдение приведенных выше условий в отношении скорости, превышения порога и времени превышения.

На рис. 5.18 приведена функциональная схема датчика, а на рис. 5.19 его основные временные соотношения. Квазигармонический сигнал со входного устройства (см. рис. 5.18) через полосовой фильтр 1, формирующий частотный диапазон измерения джиттера 300 Гц, поступает на усилитель-ограничитель 2, в котором формируются прямоугольные импульсы с той же частотой повторения. В выделителе характерных моментов 3 формируются короткие импульсы при смене знака сигнала на плюс в момент перехода через нуль. Этот сигнал дает разрешение на работу счетчикам 4 и 5 в случае, если измерение параметров было разрешено устройством управления 6, которое, в свою очередь, получает информацию о режимах работы с магистрали прибора 7. Счетчики параметров подсчитывают счетные импульсы (метки времени), следующие с частотой 12,240 МГц, за интервалы времени между выделенными характерными моментами. В зависимости от измеряемого параметра информация со счетчиков через мультиплексор параметров поступает в магистраль и во внутриприборную мини-ЭВМ. Представление адреса и данных 16-разрядное. Далее производится расчет фазовых параметров по описанной выше процедуре. Общее

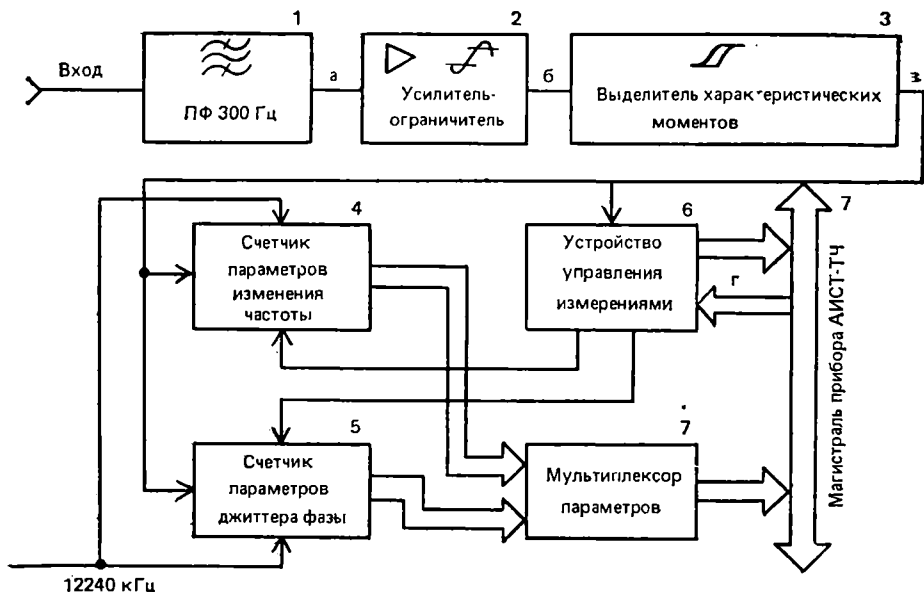


Рис. 5.18

взаимодействие ДИФ с микроЭВМ измерителя поясняется временной диаграммой (рис. 5.19,з). Пусть в момент 2, блок 3 зафиксировал очередной характеристический момент, блок 6 при этом выставляет приборной микроЭВМ «флаг готовности» результатов измеряемого параметра за промежуток, предшествующий моментам 0—2. Информация в буфере счетчика сохранится до момента 3, т. е. за это время она должна быть считана микроЭВМ, так как счетчик уже измеряет период между моментами 2—4. После считывания со счетчика «флаг готовности» снимается (моменты 1, 3, 5) до прихода следующего характерного момента. Блок 6 запрещает работу счетчикам, если не было произведено считывание параметров в течение следующего интервала между характеристическими моментами после выставления «флага готовности».

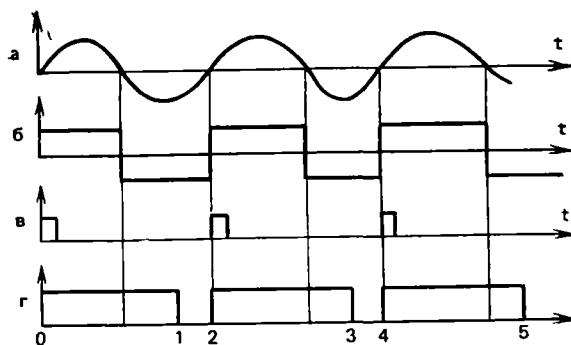


Рис. 5.19

При таком построении получена основная погрешность измерения частоты не более  $\pm 0,1$  Гц для сигналов частоты 1020 Гц в пределах  $\pm 20$  Гц. Измерение дрожания фазы обеспечивается в диапазоне  $\pm 20^\circ$  при частоте  $(1020 \pm 10)$  Гц и уровне сигнала от  $-25$  до  $-5$  дБм0 с пределом допускаемой основной погрешности при частоте дрожания 100 Гц  $\pm (0,2 + 0,05\varphi)$ , где  $\varphi$  — измеренное значение, градус. Измерение числа скачков фазы производится на одном из порогов  $\varphi_u$ , устанавливаемых через  $5^\circ$  в диапазоне от 5 до  $45^\circ$  с основной погрешностью не более  $\pm 0,5 + 0,1\varphi_u$ , градус.

Измеритель представляет собой сложный электронный аналого-цифровой прибор, построенный на современной элементной базе. В измерителе используются современные схемные решения с применением цифровых микросхем средней степени интеграции, БИС серии КР588, прецизионных аналоговых линейных и нелинейных микросхем, в силовых схемах применяются транзисторы. В целом прибор представляет собой специализированный контроллер. Выбор режима работы осуществляется последовательно с помощью программно-управляемых кнопок тастатуры и индикатора, по которому можно получать и контролировать значительное число параметров. На индикаторе может отражаться меню: управления, режима работы, программирования, а также результаты измерений. Самокалибровка происходит автоматически после включения измерителя. При самопроверке автоматически проверяется также работоспособность прибора в основных режимах и неисправные датчики блокируются, о чем выводится информация на индикатор.

Поверка АИСТ-ТЧ согласно указаниям по поверке производится в статике во всех основных режимах. Определяются основные погрешности установки частоты, уровня и порогов, а также измерения изменений частоты, средней мощности шума на частоте 800 Гц, дрожание фазы сигнала 1020 Гц и абсолютной погрешности установки порогов при измерении скачков фазы сигнала 1020 Гц с уровнем  $-10$  дБм0. Остальные нормируемые МХ определяются высокой стабильностью параметров измерителя и контролируются косвенно программным путем. Применяемые образцовые и вспомогательные средства поверки — ОСИ общего назначения, что обеспечивает возможность поверки измерителя в условиях поверочных лабораторий Министерства связи СССР. Высокая степень автоматизации упрощает работу с прибором и его поверку.

# Глава 6. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ И В ОРГАНИЗАЦИЯХ ВЕДОМСТВЕННОЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

---

## 6.1. НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ПОВЕРКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В НТД по методикам поверки устанавливаются методики и средства поверки СИ, позволяющие определять пригодность СИ к применению. Нормативно-технические документы по поверке предназначаются либо для общего (межведомственного применения), либо для применения в одном ведомстве, а НТД по поверке общего применения — это ГОСТы. Ведомственная НТД разрабатывается применительно к СИ, изготавливаемым для применения на предприятиях ведомства. Так, в отрасли связи издана серия сборников указаний по поверке, охватывающих большинство СИ, применяемых в электросвязи и радиосвязи. В качестве НТД по поверке нестандартных СИ разрабатываются и используются методические указания предприятия по поверке.

Стандарты и методические указания по поверке разрабатываются, если СИ обеспечены средствами поверки. Методические указания Государственного комитета СССР по стандартам по поверке разрабатываются и применяются для серийно выпускаемых СИ или СИ ввозимых из-за рубежа партиями. Стандарты методик поверки разрабатываются и пересматриваются центрами государственных эталонов или центрами стандартизации и метрологии Государственного комитета СССР по стандартам по специализации. Стандарты методик поверки РСИ разрабатываются организациями-разработчиками СИ или головными организациями ВМС. Ведомственные методические указания по поверке и методические указания предприятий разрабатывают организации-разработчики СИ или головные (базовые) организации МС министерств. В Министерстве связи СССР такой организацией является ЦНИИС. Порядок разработки, согласования, утверждения, оформления, регистрации и издания ведомственных методических указаний по поверке и методических указаний предприятий установлены министерством, в которое входит организация-разработчик НТД по поверке.

Допускаемая погрешность поверки, регламентируемая в НТД по поверке, должна быть обоснована в соответствии с МИ 187—86, МИ 188—86 и ГОСТ 8.061—80. Методики поверки должны обеспечить поверку с погрешностью, не превышающей предельно

допустимую для поверяемого СИ. Наиболее сложной задачей при разработке НТД является определение обоснованного минимума МХ, достаточного для решения вопроса о пригодности поверяемых СИ к применению и обеспечивающего максимальную технико-экономическую эффективность поверки. Вопрос осложняется еще тем, что многие НТД не приведены в соответствие с вероятностным подходом к НМХ СИ, установленным ГОСТ 8.009—84.

В НТД указывается перечень физических величин, влияющих на МХ поверяемых СИ, с указанием номинальных значений влияющих величин и допускаемых значений пределов отклонений от номинальных значений. Согласно этому стандарту в качестве номинальных условий для определения основной погрешности поверяемого СИ указываются условия, при которых составляющая погрешности поверяемого СИ от действия совокупности влияющих величин не превышает 35% предела допускаемой основной погрешности поверяемого СИ. Выход аппаратурной составляющей погрешности результата измерений других величин, определяемых при поверке в нормальных условиях, за пределы допускаемой основной погрешности СИ от действия влияющих величин не должен быть более 35% установленного предела допускаемой погрешности измерений.

## 6.2. МЕТОДЫ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Метод передачи размера единицы от вышестоящих в поверочной схеме СИ нижестоящим называется *методом поверки СИ*. Поверка рассматривается как процесс измерений с участием поверяемого и образцового СИ. При поверке используются методы и средства поверки, указанные в НТД по поверке. При разработке НТД на поверку обосновывается выбор критериев достоверности и параметров методик поверки, а также определяются требуемые значения параметров методик поверки.

Рассмотрение методов поверки целесообразно производить в соответствии с приведенным в ГОСТ 8.061—80 делением на общие методы поверки, указываемые на поверочных схемах.

**Метод непосредственного сличения двух СИ** — поверяемого и образцового — без применения компарирующих или каких-либо других промежуточных приборов заключается в одновременном измерении одного и того же значения ФВ  $X$  одинаковыми по роду измеряемой величины СИ — поверяемым и образцовым. Вначале устанавливается требуемое значение ФВ, затем отсчитываются показания образцового  $X_0$  и поверяемого  $X$  СИ, и рассчитывается абсолютная погрешность

$$\Delta X = X - X_0.$$

Метод реализуется двумя способами:

регистрацией совмещений, при котором изменением входной величины совмещают указатель отсчетного устройства с поверяе-



мой отметкой шкалы, а погрешность определяют расчетным путем как разность показаний поверяемого и ОСИ;

отсчитыванием погрешности по шкале поверяемого СИ, при котором номинальное для поверяемой отметки шкалы значение ФВ устанавливается по шкале ОСИ, а погрешность определяют по расстоянию между поверяемой отметкой поверяемого прибора и его указателем.

Метод непосредственного сличения показаний достаточно прост и не требует высокой квалификации поверителя.

Первый способ предпочтительнее, поскольку дает меньшую погрешность при ее отсчете по шкале ОСИ, однако при одновременной поверке нескольких СИ одного типа применяют второй способ.

**Метод сличения с помощью компаратора** заключается в косвенном сравнении двух однородных или разнородных ФВ с помощью компарирующего устройства (компаратора) — СИ, одинаково реагирующего на сравниваемые ФВ.

Так, при сличении мер сопротивления, индуктивности, электрической емкости в качестве компараторов применяют мосты, источники ЭДС и резисторы.

В зависимости от свойств СИ и условий поверки могут использоваться различные разновидности метода сравнения — противопоставления, замещения, нулевой.

Применение метода *противопоставления* позволяет уменьшать воздействие на результаты поверки влияющих величин, поскольку они действуют одинаково на оба сигнала, подаваемые на входы компаратора.

При методе *замещения* сличаемые величины включаются в одни и те же точки компаратора последовательно во времени, так что при неизменных условиях поверки влияние таких факторов, как внешние электромагнитные поля, параметры измерительных кабелей и шнуров, вообще исключается.

Частным случаем метода противопоставления является *нулевой* метод, при котором эффект одновременного воздействия на компарат доводится до нуля. Этим достигается высокая точность сличения, но требуется плавно регулируемая во всем диапазоне поверки образцовая мера, сохраняющая требуемую точность во всем диапазоне поверки.

**Метод прямых измерений** при поверке заключается либо в измерении поверяемым СИ величины, воспроизводимой образцовой мерой, либо в измерении ОСИ действительного значения ФВ, воспроизводимого поверяемой мерой. В ряде случаев при поверке производится преобразование в промежуточную ФВ, которую, в свою очередь, непосредственно сопоставляют с величиной, воспроизводимой мерой.

**Метод косвенных измерений** величин, измеряемых поверяемыми СИ или воспроизводимыми подвергаемыми поверке мерами, применяется в тех случаях, когда действительные значения величин невозможно или нецелесообразно определять прямым измере-

нием. Результат косвенного измерения находится расчетным путем, основанным на известных зависимостях между искомой величиной и результатами прямых измерений.

**Автономная (независимая) поверка СИ** заключается в сравнении величин воспроизводимых отдельными элементами или устройствами поверяемого СИ, с величиной выбранной в качестве опорной и конструктивно воспроизводимой в самом поверяемом СИ.

Данный способ поверки носит подчиненный, вынужденный характер и связан с отсутствием на местах образцовых СИ, обладающих требуемой точностью с соответствующими пределами измерений. Широкое распространение метод нашел в поверке высокоточных рабочих и образцовых СИ. Применение автономной поверки представляется особенно перспективным для автоматизированных и программно-управляемых СИ, в которых благодаря программным и встроенным аппаратным средствам может достаточно просто реализовываться самопроверка, самокалибровка и самоградуировка.

Получило распространение также подразделение поверки на *комплектную* и *поэлементную* в зависимости от того, поверяется СИ в полном комплексе его основных частей без нарушения взаимодействия между ними или по частям с последующим расчетом результирующей погрешности СИ. Комплексная поверка в большинстве случаев представляется в условиях, приближенных к реальным условиям применения, и поэтому больше вероятность установить скрытые отказы. Поэлементная поверка предусматривается в НТД по поверке в вынужденных случаях при отсутствии необходимых ОСИ, обеспечивающих поверку во всех режимах, диапазонах уровней сигналов, частот и т. д. В частности, при автономной поверке мостов и потенциометров используется, как правило, поэлементная поверка. Важнейшими вопросами поверки являются вопросы установления межповерочного интервала и необходимой достоверности поверки.

### 6.3. ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОВЕРКИ И УСТАНОВЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДИК ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

С введением ГОСТ 8.009—84 на НМХ СИ утвердился статистический подход к оценке результатов измерений и контроля СИ на соответствие установленным нормам при поверке. К комплексу НМХ предъявлено требование достаточности для определения результата измерения и расчетной оценки инструментальных составляющих погрешности СИ в реальных условиях применения. Одновременно МХ, входящие в установленный комплекс, должны быть такими, чтобы был возможен их контроль при приемлемых затратах. В связи с этим в стандарте указано, что в НТД на СИ,

содержащих методику поверки, и в методиках поверки должна быть указана наибольшая допустимая погрешность поверки. В результате поверки эта величина устанавливается на основании принятой в МИ 1317—86 наибольшей допускаемой вероятности признания неисправного экземпляра СИ исправным  $P_{\text{бам}}$  и наибольшего допускаемого отношения реальной характеристики погрешности такого экземпляра СИ  $(\delta_{\text{м}})_{\text{ба}}$  к ее нормированному пределу. Полная номенклатура критериев достоверности поверки и правила определения параметров методик поверки установлены МИ 187—86 и МИ 188—86. Согласно этим указаниям при задании допускаемых параметров поверки необходимо руководствоваться результатами технико-экономического анализа с учетом назначения и конкретных условий применения СИ. В зависимости от требуемой достоверности поверки для первичной, периодической и послеремонтной поверки могут задаваться различные допускаемые значения критериев. Может быть учтено также, какую долю в общей погрешности измерений составляет погрешность поверяемых СИ. Все это дает возможность инженерам-метрологам обоснованно выбирать методы и средства поверки и оптимально строить ведомственные и локальные поверочные схемы.

В методических указаниях по поверке наряду со стандартными терминами, определениями и обозначениями вводятся новые, связанные с поверкой [11]. Погрешность поверки рассматривается как погрешность измерений при поверке  $\Delta_1$ . Если производится одно наблюдение при поверке, его погрешность совпадает с погрешностью поверки. Применяется общий термин — контролируемая характеристика погрешности СИ  $Q$ , под которой понимается либо основная погрешность  $\Delta_0$ , либо в зависимости от характера операции поверки отдельные составляющие основной погрешности СИ:  $\Delta_{\text{ос}}$  — систематическая составляющая основной погрешности СИ;  $\sigma(\Delta_0)$  — СКО случайной составляющей погрешности СИ;  $\Delta_0$  — случайная составляющая основной погрешности СИ.

Для удобства сопоставления с предельно допускаемыми значениями (общий индекс  $p$ ) применяются относительно-нормализованные значения:  $\kappa = Q/G_p$  — нормализованная контролируемая характеристика, где  $G_p$  — предельно допускаемое значение;  $\tilde{\kappa} = \tilde{Q}/|G_p|$  — нормализованная оценка контролируемой характеристики  $\tilde{Q}$ , получаемая измерением  $Q$  при контроле.

Нормализованные оценки основной погрешности  $\Delta_0$ , систематической и случайной составляющих  $\Delta_{\text{ос}}$  и  $\Delta_0$ , а также СКО  $\sigma(\Delta_0)$  соответственно в МИ обозначаются так же, как и нормализованные значения. В процессе выполнения операций поверки сравнивается получаемая оценка  $\tilde{Q}$  контролируемой характеристики  $Q$  в поверяемых точках с границами  $\pm G_p$  поля контрольного допуска с целью принятия решения о годности или дефектности конкретного экземпляра СИ.

Поверяемые точки — это значения входного (выходного) сигнала, при которых производится контроль дискретных значений характеристик основной погрешности, являющейся непрерывной функцией входного сигнала в диапазоне измерений СИ.

В НТД по поверке может предусматриваться различное число наблюдений  $n$  при экспериментальном определении значений погрешности в поверяемой точке, подлежащих совместной обработке для получения результата измерения погрешности. Если случайная составляющая основной погрешности пренебрежимо мала, то  $n=1$  и, как указывалось выше, погрешность поверки  $\Delta_1$  совпадает с погрешностью наблюдения.

Многочисленные наблюдения ( $n>1$ ) в НТД по поверке свидетельствуют, что у СИ конкретного типа существенна случайная составляющая погрешности. Критерии существенности различных составляющих погрешности установлены ГОСТ 8.009—84.

Для описания достоверности поверки введена оперативная характеристика, описывающая зависимость условной вероятности признания поверяемого экземпляра СИ годным (при условии, что контролируемая характеристика  $x$  приняла некоторое конкретное значение) от значения нормализованной оценки контролируемой характеристики погрешности СИ:

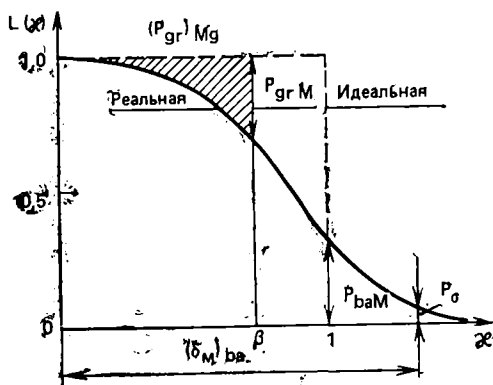
$$L(x) = \int_{-\gamma}^{\gamma} \varphi\left(\frac{\tilde{x}}{x}\right) d\tilde{x},$$

где  $\varphi\left(\frac{\tilde{x}}{x}\right)$  — плотность распределения условной вероятности нормализованной оценки  $x$ , получаемой измерением  $Q$  при контроле. Здесь интегрирование ведется в пределах нормализованных границ поля контрольного допуска  $\pm\gamma$ .

В идеальном случае, когда методика поверки идеализирована и обеспечена полная достоверность поверки, оперативная характеристика имеет вид ступенчатой функции, проходящей через значение  $x=1$  (на рис. 6.1 показана штриховой линией). Действительно, пока контролируемая характеристика погрешности СИ  $Q$ , увеличиваясь от нуля, не достигнет предельно допускаемого для нее значения  $G_p(x<1)$ , СИ считается годным, а при  $x>1$  СИ признается негодным. Соответственно условная вероятность признания экземпляра поверяемого СИ годным при  $x=1$  изменяется скачкообразно от 1 до 0.

При следовании реальным методикам поверки с увеличением значения контролируемой характеристики  $Q$  от нуля к предельному значению монотонно растет вероятность ошибочного признания дефектным любого в действительности годного СИ и наоборот — плавно падает условная вероятность признания поверяемого экземпляра СИ годным при условии, что контролируемая характеристика погрешности приближается к наиболее возможному значению. За наибольшее возможное принимается такое значение контролируемой характеристики экземпляра СИ, при

Рис. 6.1



котором вероятность ошибочного признания его годным, уменьшаясь, достигает значения  $P_0$ , равного или практически близкого нулю (приемлемая область  $0 \leq P_0 \leq 0,05$ ).

Аналогично установлены границы области  $0 \leq Q \leq G_\beta$  таких значений  $Q$ , для которых отрицательные результаты контроля (экземпляр СИ признается дефектным) рекомендуется считать ошибочными ( $G_\beta \leq G_p$ ). Нормализованная граница  $\beta = \frac{G_\beta}{|G_p|}$ . При этом выбирается  $\beta \leq 1$ , что создает определенную гарантию потребителю того, что после проверки контролируемая характеристика не выйдет из поля допуска. Обычно допусковый контроль ведется с запасом 20%. Это соответствует нормализованной границе  $\beta = 0,8$ . В МИ 187—86 установлены следующие критерии достоверности проверки:  $P_{\text{баМ}}$  — наибольшая вероятность ошибочного признания годным любого в действительности дефектного экземпляра СИ;  $(\delta_M)_{\text{ба}}$  — отношение наибольшего возможного модуля контролируемой характеристики погрешности экземпляра СИ, который может быть ошибочно признан годным, к пределу ее допускаемых значений;  $(P_{\text{гр}})_{\text{Mg}}$  — наибольшая средняя для совокупности годных экземпляров СИ вероятность ошибочного признания дефектным в действительности годного экземпляра СИ.

Первые два критерия характеризуют достоверность проверки любого дефектного экземпляра СИ, совпадают с критериями, установленными ГОСТ 8.009—84, и принимаются за основные с точки зрения обеспечения единства измерений.

Критерий  $(P_{\text{гр}})_{\text{Mg}}$  определяет достоверность проверки совокупности годных экземпляров СИ в среднем и принят за дополнительный. При одном или нескольких поверяемых СИ допускается вместо него применять наибольшую вероятность  $P_{\text{грМ}}$  ошибочного признания дефектным любого в действительности годного экземпляра СИ.

Графически (см. рис. 6.1) критерию  $P_{\text{баМ}}$  соответствует ордината кривой  $L(x)$  в точке  $x=1$ , действительно являющейся наибольшей из тех, которые могут иметь место при  $x > 1$ .

Критерию  $(\delta_M)_{\text{ба}}$  отвечает абсцисса функции  $L(x)$ , при которой ее ордината  $P_0$  равна или близка нулю. При этом  $(\delta_M)_{\text{ба}} = Q_M / |G_p|$ , где  $Q_M$  — наибольшее возможное значение контролируемой характеристики  $Q$  экземпляра СИ, который может быть ошибочно признан годным с вероятностью  $P_0$ .

Критерию  $(P_{gr})_{Mg}$  соответствует заштрихованная площадь на рис. 6.1, численно характеризующая отношение числа ошибочно забракованных в области  $0-\beta$  экземпляров СИ к их общему в области  $0-1$  числу.

На основании принятых критериев достоверности поверки определяются требуемые параметры методик поверки.

**Параметры методик поверки.** За параметры методик поверки приняты характеристики погрешности поверки (или наблюдений при поверке) и алгоритма контроля основной погрешности, входящие параметрами в выражение оперативной характеристики  $L(x)$  и непосредственно влияющие на достоверность поверки экземпляров СИ.

В общем случае установлены следующие параметры методик поверки:  $m$  — число поверяемых точек в диапазоне измерений СИ;  $\Omega_p$  — допускаемая при выборе числа  $m$  разность между наибольшим модулем непрерывной нормализованной функции  $\Delta_{os}(x)$  систематической составляющей основной погрешности в диапазоне измерения СИ и его значением в точке, соседней с поверяемой;  $p$  — число наблюдений при экспериментальном определении значений погрешности в поверяемой точке, подлежащих совместной обработке для получения результата измерения погрешности;  $\gamma$  — абсолютное значение отношения границ  $\pm G_\gamma$  поля контрольного допуска, с которыми сравнивается полученная при поверке оценка  $Q$  контролируемой характеристики  $\tilde{Q}$  с целью принятия решения о годности или дефектности конкретного экземпляра СИ.

Поле контрольного допуска — интервал  $\pm G_\gamma$ , при нахождении в котором оценки контролируемой характеристики основной погрешности конкретного экземпляра СИ  $\tilde{Q}$ , принимается решение о его годности.

Нормализованные границы контрольного допуска  $\gamma = \left| \frac{G_\gamma}{|G_p|} \right|$

равны:  $\gamma = \frac{\lambda_{os\gamma}}{|\Delta_{op}|}$  — при контроле основной погрешности и  $\gamma_s =$

$= \frac{\Delta_{os\gamma}}{\Delta_{op}|}$  — при систематической составляющей;  $\gamma_\sigma = \frac{\sigma_\gamma(\Delta_0)}{\sigma_p[\Delta_0]}$  —

при контроле СКО  $\sigma[\Delta_0]$  ее случайной составляющей  $\Delta_0$ ,  $\alpha$  — отношение предела допускаемой погрешности поверки  $\Delta_1$  (при  $p=1$ ) или характеристик погрешностей наблюдений (при  $p>1$ ) к пределу допускаемого значения контролируемой характеристики.

Это отношение равно:  $\alpha_p = \frac{\Delta_{1p}}{|\Delta_{op}|}$  — если контролируется ос-

новная погрешность  $\Delta_0$  при  $n=1$ ;  $\alpha_{sp} = \frac{\Delta_{Isp}}{|\Delta_{osp}|}$  и  $\alpha_{\sigma p} = \frac{\sigma_p[\Delta_1]}{\sigma_p[\Delta_0]}$  — если контролируются характеристики ее отдельных составляющих  $\Delta_{os}$  и  $\sigma[\Delta_0]$  соответственно при  $n > 1$ .

Параметры методик поверки подразделяются на две группы. Первую группу составляют  $m$  и  $\Omega_p$ , которые входят в число исходных данных для определения параметров второй группы. Ко второй группе относятся  $\alpha_p$  (или  $\alpha_{sp}$  и  $\alpha_{\sigma p}$ ),  $\gamma$  (или  $\gamma_s$  и  $\gamma_\sigma$ ),  $p$ . Значения параметров устанавливаются в соответствии с рекомендациями МИ 188—86.

Методические указания определяют правила установления значений параметров методик поверки (производимой с помощью контроля основной погрешности СИ на соответствие норме, установленной в НТД на СИ) по заданным критериям достоверности поверки.

В соответствии с этими правилами устанавливаются значения параметров  $\alpha_p$  (или  $\alpha_{sp}$  и  $\gamma$ ), (или  $\gamma_s$  и  $\gamma_\sigma$ ) и  $p$ , обеспечивающих выполнение требований:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{вaM}} &\leq \{P_{\text{вaM}}\}_p \\ (\delta_{\text{M}})_{\text{ba}} &\leq \{(\delta_{\text{M}})_{\text{ba}}\}_p \end{aligned} \right\},$$

где  $\{P_{\text{вaM}}\}_p$  и  $\{(\delta_{\text{M}})_{\text{ba}}\}_p$  — допускаемые значения критериев  $P_{\text{вaM}}$  и  $(\delta_{\text{M}})_{\text{ba}}$  соответственно.

Функциональные связи критериев с погрешностью и параметрами методики следуют из выражений характеристики и критериев поверки и представляются в виде

$$\begin{aligned} P_{\text{вaM}} &= \int_{-\gamma}^{\gamma} \Phi \left( \frac{\tilde{x}}{|\kappa|} = 1 \right) d\tilde{x}, \\ \int_{-\gamma}^{\gamma} \Phi \left( \frac{\tilde{x}}{|\kappa|} = (\delta_{\text{M}})_{\text{ba}} \right) d\kappa &= P_0, \\ (P_{\text{gr}})_{\text{Mg}} &= \beta - \int_0^{\beta} \left[ \int_{-\gamma}^{\gamma} \left( \Phi \frac{\tilde{x}}{|\kappa|} \right) d\tilde{x} \right] d\kappa, \\ P_{\text{grM}} &= 1 - \int_{-\gamma}^{\gamma} \Phi \left( \frac{\tilde{x}}{|\kappa|} = \beta \right) d\tilde{x}. \end{aligned}$$

Значения параметров методик поверки конкретных типов СИ, установленные МИ 188—86, указываются в НТД по поверке этих СИ. Аналогично по известным параметрам методик поверки при проведении метрологической экспертизы НТД по поверке может быть произведена оценка достоверности.

Число  $m$  поверяемых в диапазоне измерения СИ точек равно 1 для однозначных мер и  $m > 1$  для многозначных мер и измерительных устройств, измерительных приборов и преобразователей. Номенклатура критериев достоверности и параметров методик по-

Таблица 6.1

Категория СИ, число поверяемых точек	Однозначные меры $m=1$		Измерительные устройства $m>1$	
Случайная погрешность, число наблюдений Основные исходные данные	Несущественная $n=1$ $\{P_{\text{вaM}}\}_p^*$ $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_p^*$	Существенная $n>1$ Для $\Delta_{\text{os}}$ : $\{P_{\text{вaM}}\}_{\text{sp}}^*$ и $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_{\text{sp}}^*$ Для $\sigma[\dot{\Delta}_0]$ : $\{P_{\text{вaM}}\}_{\sigma_p}^*$ и $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_{\sigma_p} = 1,35$	Несущественная $n=1$ $\{P_{\text{вaM}}\}_p^*$ $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_p^*$	Существенная $n>1$ Для $\Delta_{\text{os}}$ : $\{P_{\text{вaM}}\}_{\text{sp}}^*$ и $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_{\text{sp}}^*$ Для $\sigma[\dot{\Delta}_0]$ : $\{P_{\text{вaM}}\}_{\sigma_p}^*$ и $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_{\sigma_p} = 1,35$
Дополнительные исходные данные	$P_0 = 0$ $\beta = 0,8$ $\Omega_p = 0$	Для $\Delta_{\text{os}}$ $P_{\text{os}} = 0$ Для $\sigma[\dot{\Delta}_0]$ $P_0 = 0,01$ , $\beta = 0,8$ , $\Omega_p = 0$	$P_0 = 0$ $\beta = 0,8$ $\Omega_p^{**} > 0$	Для $\Delta_{\text{os}}$ $P = 0$ Для $\sigma[\dot{\Delta}_0]$ $P_0 = 0,01$ , $\beta = 0,8$ $\Omega_p^{**} > 0$
Параметры методик поверки, подлежащие установлению	$\alpha_p$ , и $\gamma$ при $0 < (P_{\text{gr}})_{M\bar{g}} < 0,05$	$\alpha_{\text{sp}}$ , $\gamma_s$ , $\alpha_{\sigma_p}$ , $\gamma_{\sigma}$ , $n$	$\alpha_p$ и $\gamma$ при $0 < (P_{\text{gr}})_{M\bar{g}} < 0,05$	$\alpha_{\text{sp}}$ , $\gamma_s$ , $\alpha_{\sigma_p}$ , $\gamma_{\sigma}$ , $n$

\* В зависимости от доли основной погрешности СИ  $\Delta_0$ , вносимой в общую погрешность измерений  $\Delta (K = \Delta_0/\Delta)$  при использовании,  $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}_p$  рекомендуется выбирать: 1,35 при  $K < 1/5$ ; 1,25 при  $K = 0,5$ ; 1,15 при  $K \approx 0,75$  и 1 при  $K = 1$ . Рекомендуется принимать  $\{P_{\text{вaM}}\} = 0,5$  для всех случаев.

\*\* Рекомендуется принимать  $0,05 \leq \Omega_p \leq 0,1$ , при этом  $m$  не превышает 5—6.

верки в соответствии с МИ 187—86 и МИ 188—86 для указанных категорий СИ представлены в табл. 6.1.

Процесс задания исходных данных для упрощения расчетов удобно представить алгоритмом. Блок-схема одного из вариантов такого алгоритма приведена на рис. 6.2. Сначала, исходя из НТД на поверяемые СИ, задаемся исходными данными по табл. 6.1 (шаг 2). Затем, если допускаемые значения критериев в НТД не все заданы (шаг 3), производим их выбор, исходя из технико-экономических соображений, с учетом назначения и условий применения СИ конкретного типа (шаги 3—17). В противном случае можно сразу приступить к определению параметров методик поверки, начиная с шага 18. В качестве дополнительных данных выбирается  $\beta_0 = 0,8$  для всех контролируемых характеристик (шаг 4).

В том случае, если случайная составляющая погрешности СИ, подлежащих поверке, является несущественной по критериям обя-



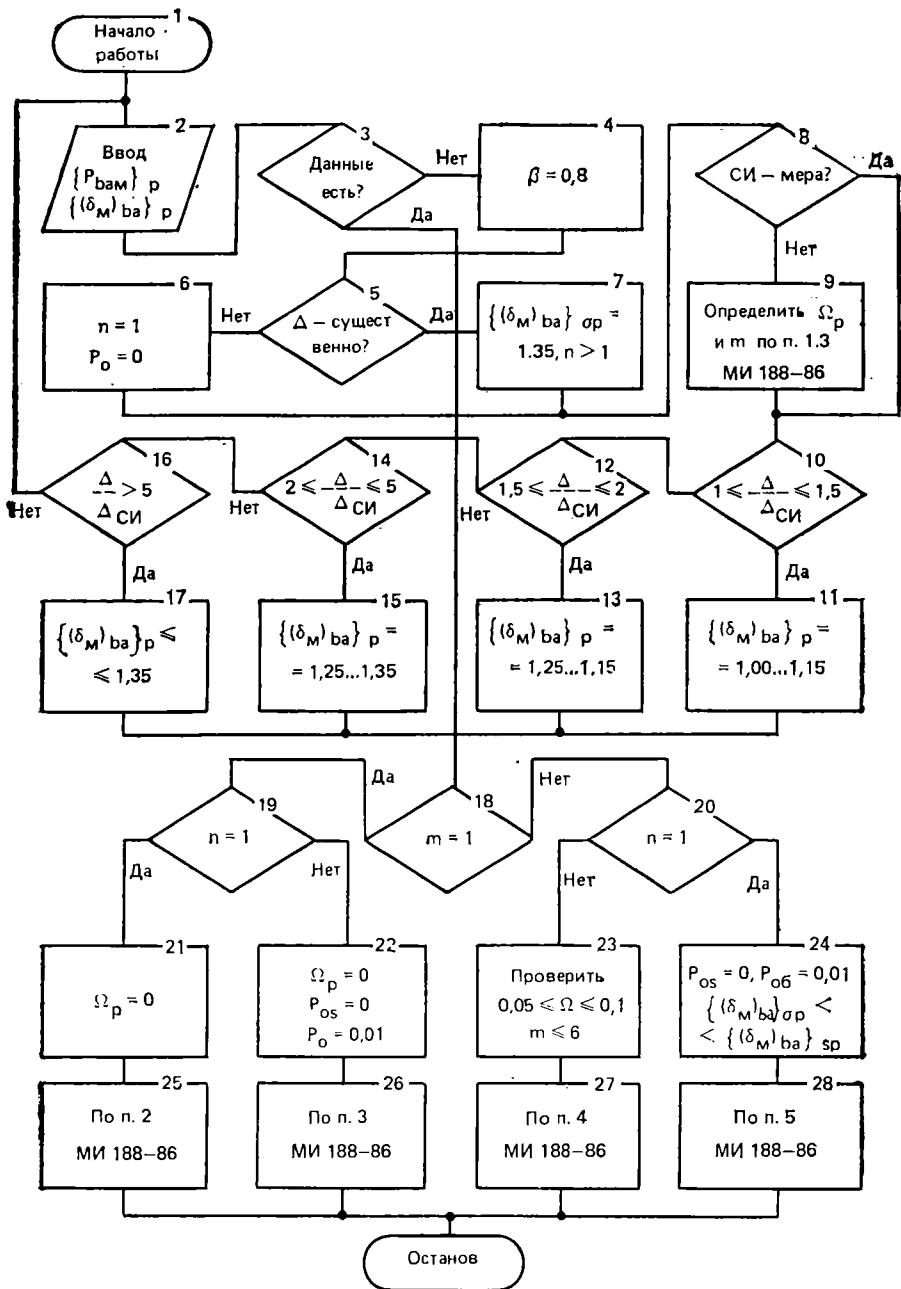


Рис. 6.2

зательного приложения 1 ГОСТ 8.009—84 (шаг 5), принимается число наблюдений при поверке  $n=1$  и вероятность  $P_0=0$  (шаг 6). В противном случае  $n>1$  и рекомендуется принимать  $\{(\delta_M)_{\text{Ба}}\}_{\sigma_P} = 1,35$  (шаг 7).

Если СИ является измерительным устройством (неоднозначной мерой) (шаг 8) необходимо предварительно выбрать число проверяемых точек  $m \neq 1$  (обычно до 6) и допускаемое значение  $\Omega_p$  равным 0,05 или 0,1 в соответствии с рекомендациями п. 1.3 МИ 188—86 (шаг 9).

В зависимости от соотношения между погрешностью измерений  $\Delta$  и погрешностью СИ  $\Delta_{\text{СИ}}$  выбирается значение  $\{(\delta_M)_{\text{Ба}}\}_p$  (шаги 10—17). Далее определяется принадлежность к одному из четырех вариантов методик установления параметров методик поверки (шаги 18—20), приведенных в пп. 2—5 МИ 188—86, и присваиваются численные значения величин в соответствии с табл. 6.2, служащими дополнительными исходными данными (шаги 21—24). После задания всех исходных данных по стандартным процедурам (шаги 26—28) определяются параметрами методик поверки, перечисленные в табл. 6.1.

Для большинства СИ, применяемых в отрасли связи, случайная составляющая основной погрешности является несущественной. Поэтому ниже рассматриваются процессы установления параметров методик поверки именно для этого случая (шаги 21 и 23).

Таблица 6.2

А

$\alpha_p$	Значения $\gamma$ и $(\delta_M)_{\text{Ба}}$ при $P_{\text{Ба}}$ М. равном										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1/10	0,90	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00
	1,00	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10
1/5	0,80	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00
	1,00	1,08	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20
1/4	0,75	0,85	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
	1,00	1,10	1,13	1,16	1,18	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
1/3	0,67	0,80	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00
	1,00	1,13	1,18	1,21	1,24	1,26	1,27	1,29	1,31	1,32	1,33
1/2,5	0,60	0,76	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	1,00
	1,00	1,16	1,22	1,26	1,29	1,31	1,33	1,35	1,37	1,38	1,40
1/2	0,50	0,70	0,77	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
	1,00	1,20	1,27	1,32	1,36	1,39	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50

А

Примечание.  $\gamma$  — числитель,  $(\delta_M)_{\text{Ба}}$  — знаменатель.

Установление параметров методик поверки для СИ с несущественной случайной составляющей основной погрешности (шаги 25, 27). Однозначные меры. Рассчитываются значения параметров  $\alpha_p$  и  $\gamma$  в следующем порядке. Сначала по табл. 6.2 определяется граница области, внутри которой обеспечивается требуемая достоверность поверки:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{ба м}} &\leq \{P_{\text{ба м}}\}_p \\ (\delta_m)_{\text{ба}} &\leq \{(\delta_m)_{\text{ба}}\}_p \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$

где  $\{P_{\text{ба м}}\}_p$  и  $\{(\delta_m)_{\text{ба}}\}_p$  — допускаемые значения критериев  $P_{\text{ба м}}$  и  $(\delta_m)_{\text{ба}}$  соответственно.

Далее полученная граница из табл. 6.2 переносится к табл. 6.3. Двигаясь по границе области, устанавливают ряд значений  $\alpha_p$ ,  $\gamma$  и  $(P_{\text{гр}})_{M\bar{g}}$ , при которых выполняется (6.1).

В НТД на методики поверки СИ включают значения  $\alpha_p$ , которые практически можно реализовать при приемлемой достоверности поверки годных экземпляров СИ в среднем  $(P_{\text{гр}})_{M\bar{g}}$ . Оба значения определяются рядом технико-экономических соображений:  $\alpha_p$  — наличием образцовых СИ требуемой точности, целесообразностью разработки более точных ОСИ, трудоемкостью поверки и др. Приемлемое значение  $(P_{\text{гр}})_{M\bar{g}}$  определяется трудоемкостью регулировки или перепроверки ошибочно забракованных при поверке СИ.

Границы поля контрольного допуска  $\gamma$  находятся по табл. 6.4 для выбранного  $\alpha_p$ .

Порядок расчета поясняется примером, приведенным ниже.

Пусть  $\{P_{\text{ба м}}\}_p = 0,5$  и  $\{(\delta_m)_{\text{ба}}\}_p = 1,25$ . Тогда граница области, левее которой лежат допускаемые значения, пройдет, как показано штриховой линией в табл. 6.2 и соответственно в табл. 6.3. Двигаясь по границе области, определяем приемлемые значения критериев.

Таблица 6.3

А

$\alpha_p$	Значения $(P_{\text{гр}})_{M\bar{g}}$ при $P_{\text{ба м}}$ равно										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/5	0,028	0,005	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1/4	0,067	0,016	0,009	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
1/3	0,140	0,047	0,027	0,018	0,012	0,009	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002
1/2,5	0,207	0,079	0,047	0,031	0,023	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007	0,006
1/2	0,305	0,133	0,087	0,062	0,045	0,035	0,027	0,023	0,019	0,016	0,013

А

Таблица 6.4

$\alpha_p$	1/10	1/5	1/4	1/3	1/2,5	1/2
$\gamma$	1	1	1	0,91	0,82	0,70
$(P_{gr})_{M\bar{g}}$	0	0	0	0,012	0,047	0,133

Если установлено, что может быть реализовано значение  $\alpha_p = 1/3$  при приемлемом значении  $(P_{gr})_{M\bar{g}} \leq 0,035$ , то:  $\alpha_p = 1/3$ ,  $\gamma = 0,91$  и  $(P_{gr})_{M\bar{g}} = 0,012$ . При этом погрешность при проверке может составлять одну треть, а границы контрольного допуска — 0,91 от контролируемой основной погрешности:

$$\Delta_{1p} = 1/3 (\Delta_{op}),$$

$$\Delta_{0\gamma} = 0,91 \Delta_{op}.$$

Наибольшая вероятность ошибочного признания дефектным любого в действительности годного экземпляра СИ при малом числе поверяемых СИ или наибольшая средняя для совокупности годных экземпляров СИ  $(P_{gr})_{M\bar{g}}$  не превышает 0,012.

**Измерительные устройства и многозначные меры.** Исходя из требуемой достоверности, необходимо определить значения параметров поверки  $\alpha_p$  и  $\gamma$  при найденных на шаге 9 алгоритма рис. 6.2 значениях  $m$  и  $\Omega_p$ .

Рекомендуется следующий порядок расчетов.

В табл. 6.1 отмечается граница области, внутри которой лежат значения  $\alpha_p$  и  $\gamma'$  (вместо  $\gamma$  подставляется  $\gamma'$ ), при которых выполняются условия (6.1) требуемой достоверности поверки. Записывается ряд значений  $\alpha_p$  и  $\gamma$ , лежащих на границе области. Для каждого значения  $\gamma'$  вычисляется  $\gamma = \gamma' - \Omega_p$ . Составляется новый ряд значений  $\alpha_p$  из вычисленных значений  $\gamma$ . Для многозначных мер принимается  $\gamma = \gamma'$ , так как  $\Omega_p = 0$ .

Для каждой пары значений  $\alpha_p$  и  $\gamma$ ,  $\alpha_p$  и  $\gamma'$  предыдущих рядов вычисляют значения  $\alpha''_p$  и  $\gamma''$  по формулам

$$\alpha''_p = C\alpha_p,$$

$$\gamma'' = \gamma' - (1 - C)\alpha_p, \quad (6.2)$$

где

$$C = 1,5 - \sqrt[m'']{0,5}, \quad m'' = [1 - (\gamma - \alpha_p)](m - 1) + 1, \quad (6.3)$$

причем вычисленные значения  $m''$  округляются до ближайшего целого числа. Удобно пользоваться следующим рядом значений  $C$  (табл. 6.5), рассчитанным для целых  $m$  по (6.4).

Записывается ряд полученных значений  $\alpha''_p$  и  $\gamma''$ . Для каждой пары значений  $\alpha''_p$  и  $\gamma''$  полученного ряда находится значение  $(P_{gr})_{M\bar{g}}$  по табл. 6.3 или данным п. 3.5 приложения 1 МИ 188—86, если в табл. 6.2 и 6.3 нет нужных значений, то они дополняются

Таблица 6.5

$m^*$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	1	0,79	0,71	0,66	0,63	0,61	0,59	0,58	0,57	0,57

рядом значений  $\alpha_p$  и  $\gamma$ , полученным ранее. Таким образом это полученный ряд значений параметров методик поверки  $\alpha_p$ ,  $\gamma$  и  $(P_{гр})_{M\bar{g}}$ , при котором выполняются условия (6.1) и обеспечивается требуемая достоверность поверки.

Руководствуясь технико-экономическими соображениями, подобными тем, которые приводились в связи с установлением параметров поверки однозначных мер, выбираются приемлемые значения параметров поверки измерительных устройств.

**Пример.** Пусть заданы следующие значения критериев:  $P_{ба м} \geq 0,5$  и  $(\delta_m)_{ба} \geq 1,25$ , а число поверяемых точек  $m=5$  и принято  $\Omega_p=0,05$ .

В табл. 6.2 проводится граница области, левее которой выполняются условия (6.1), и, двигаясь вдоль границы, записывают ряд значений  $\alpha_p$  и  $\gamma'$ .

$\alpha_p$	1/10	1/5	1/4	1/3	1/2,5	1/2
$\gamma'$	1	1	1	0,91	0,82	0,70

Составляется новый ряд значений  $\alpha_p$  и  $\gamma$  по формуле (6.1).

$\alpha_p$	1/10	1/5	1/4	1/3	1/2,5	1/2
$\gamma$	0,95	0,95	0,95	0,86	0,77	0,65

Для каждой пары значений  $\gamma$ ,  $\alpha_p$  и  $\gamma'$ ,  $\alpha_p$  предыдущих рядов определяются значения  $\alpha''_p$  и  $\gamma''$  по (6.2).

$m''$	2	2	2	3	4	4
C	0,79	0,79	0,79	0,71	0,66	0,66
$\alpha''_p$	0,08	0,16	0,20	0,23	0,26	0,33
$\gamma''$	0,98	0,96	0,95	0,81	0,68	0,53

Теперь для каждой пары значений  $\alpha''_p$  и  $\gamma''$  по табл. 6.2 и 6.3 или по рекомендованному выше приложению находят значения  $(P_{gr})_{M\bar{g}}$  и ими дополняют ряд значений  $\alpha_p$  и  $\gamma$ , что позволит записать окончательно:

$\alpha_p$	1/10	1/5	1/4	1/3	1/2,5	1/2
$\gamma$	0,95	0,95	0,95	0,86	0,77	0,65
$(P_{gr})_{M\bar{g}}$	0	0	0,002	0,028	0,126	0,271

Если приемлемо  $(P_{gr})_{M\bar{g}} \leq 0,035$  и  $\alpha_p = 1/3$ , то следует выбрать значения из предыдущего ряда. При этом  $\Delta_{гр} = 1/3\Delta_{ор}$  и  $\Delta_{о,\gamma} = 0,86\Delta_{ор}$ . Установленные параметры включают в НТД на поверку.

Для СИ с существенной случайной составляющей основной погрешности установление параметров методик поверки является достаточно сложной процедурой, требующей привлечения объемных расчетных таблиц. Поэтому для ознакомления с методикой разработки НТД по поверке необходимо воспользоваться пп. 4—5 МИ 188—86.

#### 6.4. СОКРАЩЕНИЕ ОБЪЕМА ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Для применения на первичной сети, как правило, специально разрабатываются СИ узковедомственного назначения. В соответствии с ведомственными НТД СИ поставляются комплектами для конкретных систем передачи. Эти комплекты СИ так называемого многоцелевого назначения согласованы по назначению, диапазонам уровней и частот с системами, с которыми они эксплуатируются. Однако на конкретных рабочих местах или в пределах одного цеха ряд СИ всегда используется ограниченно.

В процессе применения СИ может не использоваться на всех пределах, во всех диапазонах, во всех режимах и при всех видах измерений, для работы на которых предназначено по паспортным данным. Вероятно, в этих случаях целесообразно и поверку данного СИ производить по сокращенной программе. Уменьшение объема поверочных работ сокращает затраты на поверку и ограничивает область применения СИ по сравнению с общим назначением. Поэтому на СИ, прошедшие ограниченную поверку, в обязательном порядке наносятся предупреждающие надписи об области их применения с нормированной погрешностью.

Проведение работ по сокращению объема поверки дает технико-экономический эффект, однако это не должно приводить к

нарушению обязательных условий обеспечения единства и требуемой точности измерений.

Возможность сокращения объема поверки для СИ ограниченного применения предусмотрена ГОСТ 8.513—84. Согласно стандарту периодическую поверку СИ, предназначенных для измерения (воспроизведения) нескольких ФВ или имеющих несколько диапазонов измерений, но используемых постоянно для измерений (воспроизведения) меньшего числа ФВ или на меньшем числе диапазонов измерений допускается на основании решения главного метролога предприятия производить только по тем требованиям НТД по поверке, которые определяют пригодность СИ для применяемого числа ФВ и используемых диапазонов измерений.

Проведение работ по сокращению объема поверки считается целесообразным, если не используются: хотя бы один предел измерений у многопредельных СИ; измерение хотя бы одной ФВ для комбинированных СИ; четвертая часть диапазона частот у широкодиапазонных СИ; значительная часть числовых отметок, подлежащих поверке по действующей НТД.

Сокращение объема поверки СИ может производиться за счет исключения из поверки отдельных нормируемых МХ, целых диапазонов и пределов измерений, а также отдельных отметок.

Большинство измерительных задач, решаемых на эксплуатационных предприятиях связи, связаны с контролем соответствия параметров электрическим нормам. Поэтому при рассмотрении методики ограничения объема поверки принято исходить из задач допускового контроля. Тем более, что для СИ, применяемых при измерениях, не связанных с контролем соответствия измеряемой величины номинальному значению или нахождению в диапазоне номинальных значений, эта методика несколько упрощается.

В общем случае в качестве исходных данных для установления только тех требований НТД по поверке, которые определяют пригодность СИ к применению в конкретных условиях, рассматриваются: паспортные данные СИ и НТД по поверке; условия применения; номинальные значения контролируемой (воспроизводимой) величины  $X_N$  или диапазон номинальных значений  $X_{N1} \dots X_{N2}$ ; границы поля допуска для контролируемой величины  $[\Delta_{g1}, \Delta_{g2}]$  показатели достоверности контроля; СКО контролируемого параметра.

Следовательно, значение контролируемой (воспроизводимой) величины  $x$  должны находиться в пределах  $X_N - \Delta_{g1} < x < X_N + \Delta_{g2}$  или  $X_{N1} - \Delta_g < x < X_{N2} + \Delta_g$ . Во втором случае принято, что  $\Delta_g = \Delta_{g1} = \Delta_{g2}$ .

Сокращение объема поверки не должно влиять на достоверность контроля и поверки. В связи с этим вопросы достоверности здесь не рассматриваются. Ставится задача определить необходимый минимум контролируемых при поверке МХ, поверяемых диапазонов и пределов измерений, а также поверяемых отметок.

Под отметками понимаются деления шкал СИ, фиксированные показания цифровых приборов и номинальные значения мер.

Сокращенная программа поверки разрабатывается поэтапно на основе НТД на поверку конкретных типов СИ. Поверяемые по сокращенной программе МХ комбинированных (многоцелевых) СИ, используемых не при всех видах измерений, на которые рассчитаны, легко определяются с помощью специальных таблиц. В этих таблицах столбцами заносятся нормируемые МХ, влияющие на точность результатов измерений в каждом из используемых режимов. В качестве строк приводятся все нормируемые МХ СИ данного типа, по которым должна осуществляться поверка. Основанием для включения той или иной характеристики в столбцы служит наличие функциональной связи этой МХ СИ с нормируемыми метрологическими и техническими характеристиками в используемом режиме. Причем для этого достаточно убедиться в самом факте наличия такой функциональной связи по НТД на СИ или на поверку СИ данного типа. В графах таблицы, в которых пересекаются одноименные МХ, рекомендуется ставить плюс — т. е. используется. Затем подряд просматриваются все строки таблицы. Те, которые содержат хотя один знак плюс, соответствуют тем НМХ и пунктам исходных НТД по поверке, которые включаются в программу сокращенной поверки. Те НМХ, которые на пригодность СИ к применению в используемых режимах не влияют, из поверки, таким образом, исключаются.

Дальнейшее уменьшение объема идет по пути исключения из поверки неиспользуемых при измерениях (контроле) диапазонов и пределов измерений. В НТД на поверку многопредельных СИ, как правило, указывается необходимость поверки СИ на всех отметках на основном диапазоне и в двух отметках на каждом из остальных имеющихся пределов. Одна берется в конце  $i$ -го предела измерений  $x_{i2}$ , вторая в отметке  $x_{im}$  шкалы, на которой погрешность оказалась максимальной при поверке на основной шкале. При сокращении объема поверки неиспользуемые пределы из поверки исключаются.

Аналогичным образом исключаются пункты поверки для неиспользуемых положений переключателей входного или выходного делителей для измерителей уровня и генераторов, а также исключаются отдельные диапазоны частот. При сокращении объема поверки цифровых СИ необходимо руководствоваться изложенным и исходить из НТД на конкретные типы цифровых приборов.

Более сложно решается вопрос, если не используется основной предел измерений, на котором нормирована погрешность градуировки шкалы. При одинаковой основной погрешности на всех пределах измерений в качестве основного при поверке по сокращенной программе допускается выбрать такой, на котором область измеряемых значений занимает наибольшую часть. Эффект от сокращения объема поверки будет при этом максимальным. Для определения нового основного предела измерений находится



относительное перекрытие областью используемых значений на каждом применяемом пределе:

$$\gamma_i = \frac{x_{i2} - x_{i1}}{x_{\text{норм } i}}, \quad (6.4)$$

где  $x_{i1}$  и  $x_{i2}$  — верхняя и нижняя границы используемой части рассматриваемого  $i$ -го предела измерений;  $x_{\text{норм } i}$  — нормирующее значение на этом  $i$ -м пределе.

Затем определяют максимальную величину  $\gamma_{\text{им}}$

$$\gamma_{\text{им}} = \gamma_{i0} = \max_{i \in [1, l]} \{\gamma_i\}. \quad (6.5)$$

Далее устанавливаются границы области, в пределах которой находятся все подлежащие поверке отметки на шкале, принятой здесь за основную. Для этого производится расширение используемой области с тем, чтобы перекрыть все числовые отметки, включая используемые при измерениях на неосновных пределах:

$$\begin{aligned} x'_{\text{н1}} &= x_{\text{норм.о}} \cdot x_{\text{н1}} / x_{\text{норм } i}; \\ x'_{\text{в1}} &= x_{\text{норм.о}} \cdot x_{\text{в1}} / x_{\text{норм } i}, \end{aligned} \quad (6.6)$$

где  $x_{\text{норм.о}}$  — нормирующее значение на основном пределе.

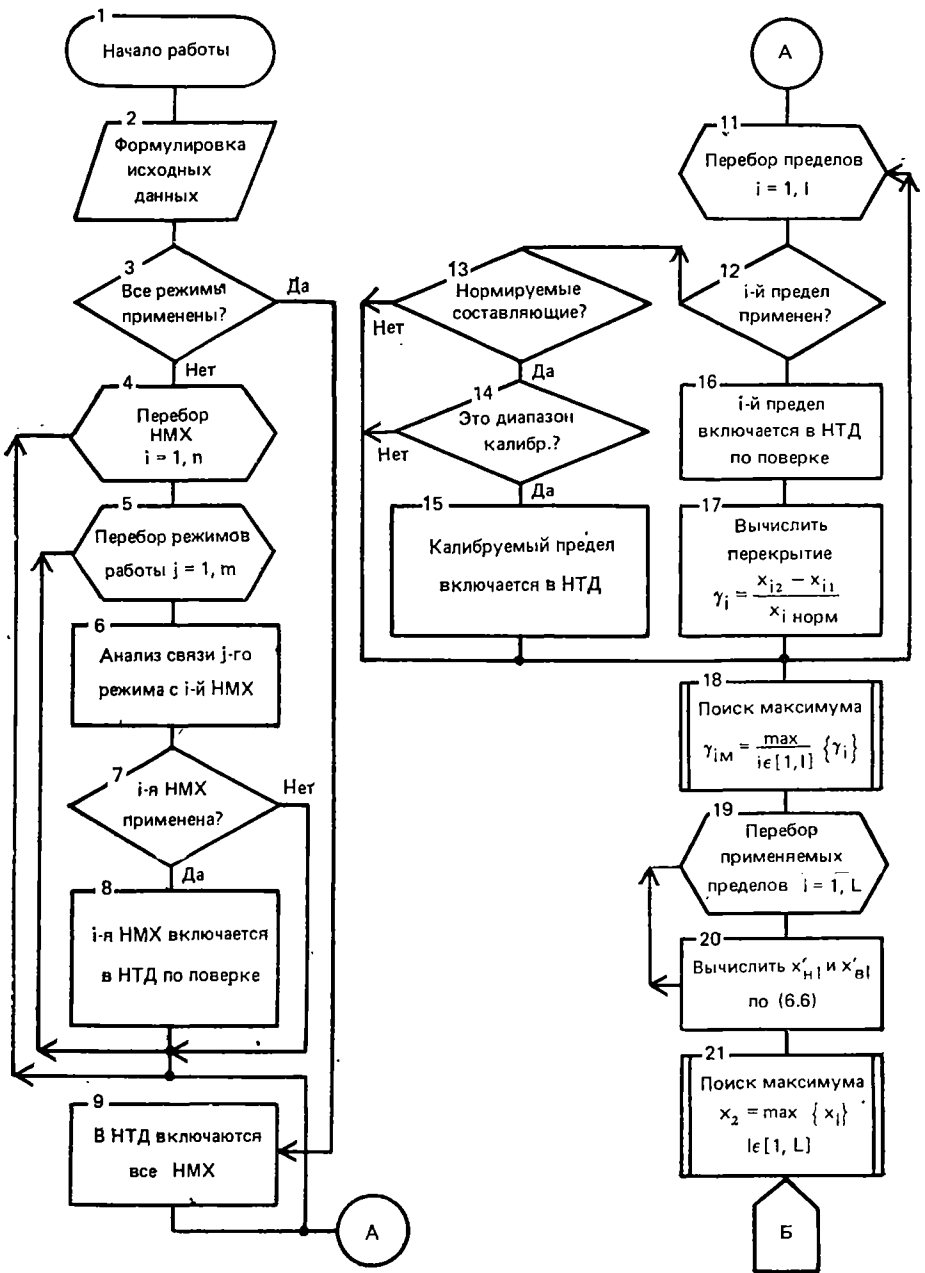
Затем устанавливаются нижняя и верхняя искомые границы  $x_1$  и  $x_2$  основного предела как минимальное и максимальное значения из полученных проекций.

Согласно НТД по поверке в качестве отметок, поверяемых на неосновных пределах, используются две. Одна отметка должна соответствовать пределу измерений  $x_{i2}$ , вторая  $x_{\text{им}}$  — числовая отметка  $x_{\text{м}}$  — отметке при максимальном значении погрешности СИ на основном пределе в диапазоне возможных отсчетов на поверяемом пределе  $x_1 \dots x_2$ .

Для обеспечения возможности такого выбора поверяемых отметок и расширяется область основной шкалы.

Далее сокращение объема поверки возможно путем такого выбора поверяемых отметок, при котором, с одной стороны, их число было бы минимальным, а с другой — таким, чтобы по результатам поверки в этих отметках можно было бы признать СИ годным или дефектным в ограниченной области с требуемой достоверностью.

В качестве поверяемых в НТД по поверке, понимается, сохраняются все отметки, вошедшие в используемый диапазон измерений  $x_1 \dots x_2$ . Дополнительно к ним берутся для поверки также отметки, прилегающие к крайним поверяемым, если полагается, что погрешность на краях используемых областей может существенно отличаться от таковой в крайних отметках. В простейшем случае в качестве критерия отличия погрешностей в прилегаемых отметках берется критерий ничтожных погрешностей (критерий 1/3). Используется также линейная аппроксимация зависимости погрешности от показаний в трех соседних отметках, полагая, что эта зависимость незначительна. Обозначим отметки, ближайшие к





нижней и верхней граничным  $x_1$ ,  $x_2$ , как  $x'_1$ ,  $x'_2$  для лежащих внутри используемого диапазона значений и как  $x''_1$ ,  $x''_2$  для близлежащих вне этого диапазона. Тогда критерий целесообразности включения точек  $x''_1$ ,  $x''_2$  в число поверяемых можно сформулировать через пропорцию в виде неравенства:

$$(x'_1 - x_1) > (x'_1 - x''_1) / 3; \quad (6.7)$$

$$(x'_2 - x''_2) > (x''_2 - x'_2) / 3. \quad (6.8)$$

При использовании СИ для допускового контроля поверяемые отметки устанавливаются с учетом допускаемого отклонения контролируемой величины от номинального значения, а также поля контрольного допуска. При этом номинальная область значений контролируемой величины расширяется как в сторону увеличения, так и уменьшения на сумму допускаемого отклонения и контрольного допуска.

Для ИУ, выпускаемых и поверяемых по ГОСТ 23854—79, сокращение объема поверки производится в основном в описанном выше порядке. Однако при исключении из НТД пунктов поверки на неиспользуемых пределах, в случае ИУ это сокращение относится к погрешности градуировки входного делителя в исключаемых из поверки положениях. Поверка градуировки шкалы производится только на пределе калибровки.

Приведенный выше порядок сокращения объема поверки может быть описан алгоритм, схема которого приведена на рис. 6.3.

## Глава 7. ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СВЯЗИ

---

### 7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В отрасли связи предъявляются серьезные требования к качеству связи, поскольку любое нарушение качества непосредственно ощущается потребителем (так как процессы потребления и производства в отрасли связи происходят одновременно). Кроме того, потребитель услуг связи не может обменять бракованную продукцию на продукцию лучшего качества.

В целях стимулирования повышения качества в настоящее время в плане предприятия существует показатель балльной

Таблица 7.1

Направление планирования	Плановое задание	Звено метрологической службы
Разработка организационно-методических и общетехнических документов по МО	Разработка и пересмотр: государственных стандартов, отраслевых НТД (стандартов, МУ)	Головные и базовые организации метрологической службы СССР; предприятия и организации
Внедрение НТД ГСИ	Внедрение государственных стандартов ГСИ, отраслевых стандартов	То же
Создание ОСИ и разработка поверочной аппаратуры	Разработка ТЗ на: создание ОСИ разработка поверочной аппаратуры Разработка конструкторской документации на ОСИ: поверочную аппаратуру	Головные и базовые организации метрологической службы МС СССР
Создание новых средств и методов измерений	Изготовление опытных экземпляров ОСИ и поверочной аппаратуры, проведение их заводских испытаний. Аттестация поверочной аппаратуры	Головные организации метрологической службы МС СССР, НИИ, КБ Заводы-изготовители
Создание новых средств и методов измерений	Разработка ТЗ на создание СИ и проектов технической документации СИ Изготовление опытных ОСИ и проведение их заводских испытаний Проведение государственных испытаний ОСИ	Головные и базовые организации метрологической службы СССР, НИИ и КБ Заводы-изготовители Головные организации МС СССР
Организация и проведение поверки и ремонта средств измерений аттестации средств контроля и испытаний	Государственная и ведомственная поверка выпускаемых и находящихся в эксплуатации средств измерений Метрологическая аттестация нестандартизируемых СИ и испытаний, методик выполнения измерений Ремонт СИ	Предприятия и организации-владельцы СИ
Ведомственный контроль за состоянием и применением СИ и МО деятельности предприятий и организаций	Метрологическая ревизия	Головные и базовые организации метрологической службы МС СССР Предприятия и организации-владельцы СИ
Ведомственный контроль за состоянием и применением СИ и МО деятельности предприятий и организаций	Метрологический контроль действующей НТД и применяемой конструкторской документации	Предприятия и организации по заданию Государственного комитета СССР по стандартам
	Метрологический контроль действующей НТД и применяемой конструкторской документации	Предприятия и организации, являющиеся держателями указанной документации

Направление планирования	Плановое задание	Звено метрологической службы
Подготовка и повышение квалификации специалистов в области метрологии	Проверка применяемых методов выполнения измерений, испытаний и контроля на соответствие современным требованиям науки и производства Семинары по обмену опытом и повышению квалификации работников метрологических служб Подготовка ведомственных поверителей на курсах Всесоюзного института стандартизации метрологии (ВИСМ)	Головные и базовые организации метрологической службы МС СССР, предприятия и организации Метрологические службы министерств, головные и базовые организации метрологической службы МС СССР Предприятия и организации, осуществляющие ведомственную поверку СИ

оценки качества — коэффициент качества, невыполнение или перевыполнение которого влияет на размер прибыли, остающейся в распоряжении предприятия. Для обеспечения требуемого уровня качества в отрасли связи действует Комплексная система управления качеством связи (КС УКС). Метрологическое обеспечение может рассматриваться как подсистема КС УКС. В поддержании высокого качества передачи информации велика роль МО всех видов деятельности в отрасли. В табл. 7.1 представлены основные функции КС УКС и соответствующие им задачи МО [12—14]. Сопоставление показывает, что практически все работы, выполняемые в рамках КС УКС, во многом опираются на деятельность по МО.

Другая особенность отрасли связи — двусторонний характер передачи информации между многими территориально разнесенными предприятиями связи — требует единой технической политики, единых требований к достоверности измерений на территории всей страны, единства измерений в отрасли. Это является целью МО.

Метрологическое обеспечение играет важную роль не только в повышении качества передаваемой информации, но и в процессе интенсификации производства, что особенно ощутимо теперь, когда предприятия связи работают в условиях полного хозрасчета. А это значит, что действует принцип не только самоокупаемости, но и самофинансирования. Поэтому усиливается зависимость дальнейшего развития предприятия, решения социальных вопросов, материальной заинтересованности коллектива от результатов производства. Стимулируется переход на преимущественно интенсивный путь развития — повышение производительности труда, улучшение использования средств связи. Лучшая организация МО предприятия, автоматизация процессов измере-

ний увеличивают время полезной работы средств связи вследствие сокращения времени простоев из-за технических неисправностей, а также вследствие уменьшения времени измерений. В свою очередь, это приводит к увеличению доходов связи. Кроме того, более эффективная организация МО позволяет сократить текущие затраты предприятия на МО и обеспечить технико-экономический эффект. Таким образом работы по МО приобретают особую роль при переходе на полный хозрасчет и госприемку.

## 7.2. ОРГАНИЗАЦИЯ МО НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СВЯЗИ

Последовательность организации МО на предприятиях связи регламентируется [12] и может быть описана алгоритмом, схема которого представлена на рис. 7.1. Ниже приведено краткое содержание отдельных этапов деятельности, соответствующих отдельным блокам алгоритма.

**Издание приказа об организации метрологической службы. Назначение исполнителей.** Приказ должен быть издан с учетом Положений о метрологической службе МС СССР, соответствующих нормативов численности и ГОСТ 1.25—76. «ГСС. Метрологическое обеспечение. Основные положения»; ГОСТ 8.002—86. «ГСИ. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения».

**Запросы и получение сведений о номенклатуре и наличии СИ на предприятии.** Запросы рассылает лицо, ответственное за МО, на подведомственные предприятия связи. Информация с предприятий представляется в форме, установленной в [12]. Средства измерения, используемые для наблюдения за изменением величин без оценки их значений в единицах ФВ с нормированной точностью, переводятся в категорию индикаторов. Перевод осуществляется согласно ГОСТ 8.002—86 и «Положению о порядке отнесения средств измерений в категорию индикаторов».

**Обработка данных.** Данные по парку СИ предприятий связи необходимо свести в общий перечень СИ управления по форме 7 «Методических указаний по ведению оперативного учета СИ на предприятиях связи» [12].

**Подбор НТД «Методы и средства поверки».** В соответствии с парком СИ подбирается НТД по методам и средствам поверки: государственные и отраслевые стандарты, методические указания и инструкции по поверке СИ общепромышленного назначения и узкоотраслевых специального назначения. В этих целях рекомендуется использовать [12, 15], а также паспорта приборов, инструкции по эксплуатации.

**Определение необходимых ОСИ.** Для каждого типа РСИ разрабатывается перечень образцовых приборов, необходимых для поверки. Перечень создается на основе ГОСТ, методических указаний, инструкций по методам и средствам поверки. Исчерп

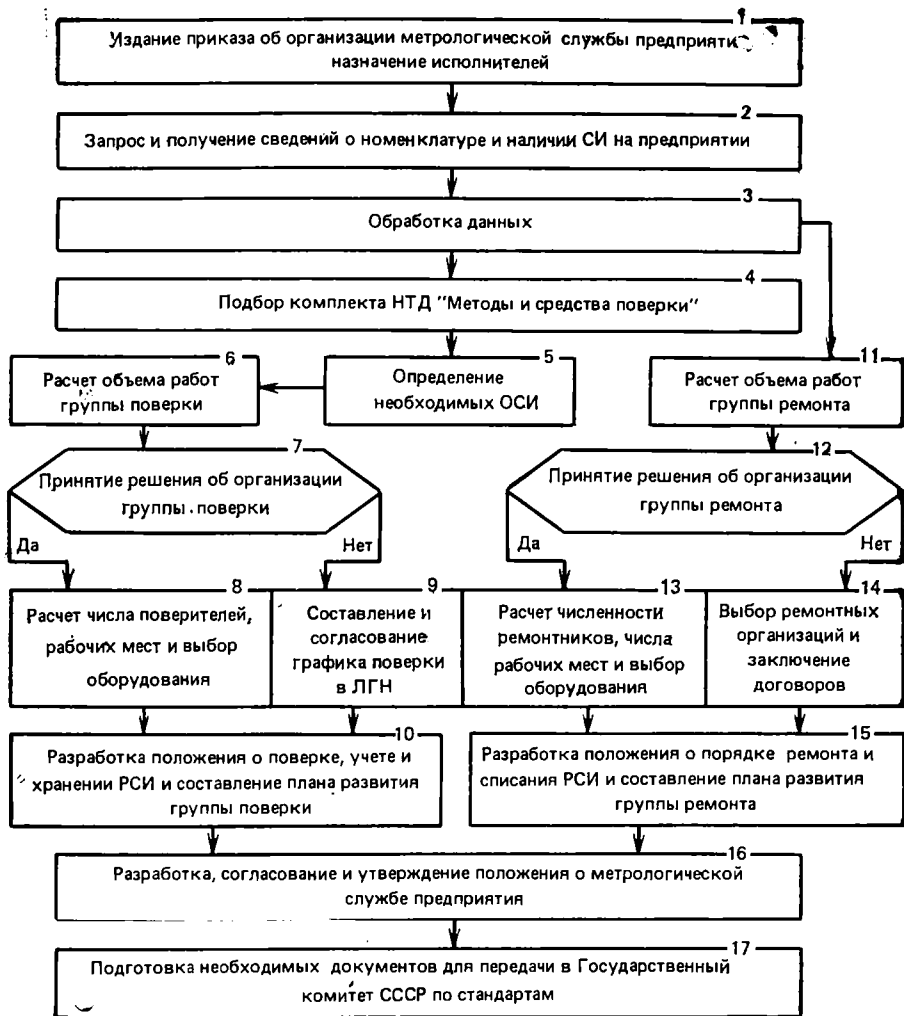


Рис. 7.1

выбираемых ОСИ не должна превышать  $1/3$  предела допускаемой погрешности поверяемого СИ. Кроме того, необходимо учитывать, что один и тот же образцовый прибор может использоваться на нескольких рабочих местах.

**Расчет объема работ группы поверки.** На первом этапе группа поверки организуется на основе существующей материально-технической базы. При этом производится ведомственная поверка тех рабочих СИ, для которых комплекты образцовых приборов имеется либо есть возможность приобрести недостающие из них. Используется имеющееся помещение и оборудование. Дальнейшее развитие группы поверки требует значительных материаль-



ных затрат на приобретение образцовых СИ, подготовку поверителей, оборудование рабочих мест и т. п. Расчет затрат по этапам организации группы поверки можно проводить согласно [12]. Объем работ группы поверки определяется потребностями данного предприятия или объединения, а также работами для других предприятий по договору.

Принятие решения об организации ведомственной поверки. Решение об организации ведомственной поверки на предприятии принимается на основании расчетов экономической целесообразности и возможности выполнения требований Государственного комитета СССР по стандартам.

Право на ведомственную поверку согласно ГОСТ 8.002—86 Государственный комитет СССР по стандартам выдает при наличии: согласованного с последним и утвержденного руководителем предприятия Положения о ведомственном МО предприятия; необходимых образцовых СИ; ГОСТ, методических указаний и инструкций на методы и средства поверки; помещения, отвечающего требованиям МИ 17—74; квалифицированного персонала, имеющего право поверителя.

Средства измерения, не охваченные ведомственной поверкой (часть РСИ, ведомственная поверка которых экономически нецелесообразна, а также ОСИ), поверяются сторонними организациями (лабораториями Государственного комитета СССР по стандартам, базовыми лабораториями).

**Расчет числа поверителей, рабочих мест и выбор оборудования.** На основании расчета объема работ лаборатории (группы) поверки и в соответствии со штатными нормативами определяется численный состав поверителей и их квалификация.

Численный состав поверителей и их квалификация определяются на основе расчета и в соответствии с действующими в Министерстве связи СССР нормативными документами.

Затраты времени на проведение поверки СИ следует определять по нормам времени на ремонт и поверку СИ узкоотраслевого (специального) назначения, приведенным в [16].

Фактическое число рабочих мест, требуемых для поверочного подразделения, определяется согласно Методическим указаниям МИ 670—84 [16]. Понятие «рабочее место» включает комплект поверочного оборудования, с применением которого обслуживается данный поток (или соответственно комплекты, если поток укрупненный), и работающего на нем поверителя (или поверителей). Поток характеризуется числом и размером партий СИ, поступающих в данное поверочное подразделение в единицу времени.

Определение потребности подразделения в поверочном оборудовании включает выбор номенклатуры средств поверки, необходимых для обслуживания СИ данного потока, и расчет требуемого числа рабочих мест, оснащенных этими средствами поверки. Номенклатура устанавливается на основе данных НТД на методики поверки СИ или включенных в «Сборник комплектов средств

поверки. Состав и характеристики оборудования комплектных поверочных лабораторий» [13]. При эксплуатации в подразделениях нескольких комплектов средств поверки потребность в отдельных их элементах, которые повторяются или имеют идентичные характеристики, подлежат уточнению с учетом технической возможности и экономической целесообразности сокращения общего числа элементов [16].

Требуемое число рабочих мест, предназначенных для обслуживания рассматриваемого потока СИ (при условии, что СИ поступают равномерным потоком, т. е. исключена возможность систематического их скопления в подразделении), рассчитывается по формуле

$$n = Q / (\mu T_p), \quad (7.1)$$

где  $n$  — число рабочих мест;  $Q$  — число СИ в потоке, поступающее в поверочное подразделение за год;  $1/\mu$  — средняя продолжительность поверки одного СИ (рабочих дней);  $T_p$  — планируемый для данного рабочего места годовой фонд рабочего времени (рабочих дней/год).

Если же каждое из этих рабочих мест достаточно универсально, т. е. обслуживает укрупненный поток (сумму определенного числа простых потоков), то вместо формулы (7.1) используется формула

$$n = \frac{1}{T_p} \sum_{i=1}^m \frac{Q_i}{\mu_i}, \quad (7.2)$$

где  $Q_i$  — число СИ  $i$ -го простого потока, поступающих в поверочное подразделение за год;  $1/\mu_i$  — средняя продолжительность поверки одного СИ  $i$ -го простого потока (рабочих дней);  $m$  — число простых потоков, входящих в данный укрупненный поток. При дробных значениях  $n$  округляется до ближайшего большего целого числа.

В тех случаях, когда СИ поступают случайным (достоверно непредсказуемым) интенсивным потоком, но партиями одинакового размера (например, по одному, либо по два СИ) или случайным интенсивным потоком и партиями случайного размера, необходимо определять следующие характеристики обслуживания данного потока СИ в поверочном подразделении.

Коэффициент загрузки рабочего места

$$\rho = \frac{\lambda \gamma}{n \mu}. \quad (7.3)$$

где  $\lambda$  — среднее число партий СИ данного потока, поступающего в поверочное подразделение за единицу времени (партий/рабочий день)<sup>1</sup>;  $\gamma$  — средний размер (для партий одинакового раз-

<sup>1</sup> Партия — одновременно представленные на поверку СИ, принадлежащие одному потоку и одному заказчику данного поверочного подразделения. Принимают, что представляемую партию СИ заказчик оформляет одной заявкой.

мера — размер) партии данного потока (средств измерений/партия).

Среднее число скапливающихся в поверочном подразделении СИ данного потока

$$L = M + \frac{\rho(\gamma + D_{\gamma}/\gamma + 1)}{2(1 - \rho)} + \frac{\tau\lambda\gamma}{2} \quad (7.4)$$

где  $M$  — среднее число одновременно обслуживаемых в подразделении СИ, значения которых определяют упрощенно по номограмме (приложение 2 [16]) либо из расчета по формулам (3.1)—(3.6);  $D_{\gamma}$  — дисперсия числа СИ в партии (равно 0, если СИ поступают партиями одинакового размера; равно  $\gamma$ , если партиями случайного размера);  $\tau$  — интервал времени (в рабочих днях) между очередными изъятиями из подразделений обслуженных СИ данного потока (устанавливается исходя из порядка проведения работ в подразделении).

Средняя продолжительность (в рабочих днях) пребывания в поверочном подразделении СИ данного потока

$$T = L/(\lambda\gamma) \quad (7.5)$$

Максимальное число скапливающихся в поверочном подразделении СИ данного потока

$$L_{\max} = KL \quad (7.6)$$

где  $K$  — коэффициент соотношения максимального и среднего числа скапливающихся в подразделении СИ, значение которого определяют упрощенно с помощью номограмм (Приложение 4 [16]) либо из расчета по формулам (5.1)—(5.3).

Максимальная продолжительность (в рабочих днях) пребывания в поверочном подразделении СИ данного потока

$$T_{\max} = KT \quad (7.7)$$

Суммарные годовые издержки из-за пребывания в поверочном подразделении СИ данного потока и вследствие содержания в этом подразделении рабочих мест для его обслуживания

$$C(n) = C_1 L_{\max} + C_2 n \quad (7.8)$$

где  $C_1$  — среднегодовые издержки из-за пребывания в поверочном подразделении СИ данного потока включают в себя годовые амортизационные отчисления от средней стоимости СИ данного потока  $C_a$  и среднегодовые расходы по содержанию площади поверочного подразделения, требуемой для складирования СИ данного потока  $C_c$ ;  $C_2$  — годовые расходы по содержанию в поверочном подразделении одного рабочего места для обслуживания данного потока.

Величины  $C_1$  и  $C_2$  рассчитываются по формулам:

$$C_1 = C_a + C_c \quad (7.9)$$

$$C_2 = C_3 + C_n \frac{H_a}{100} + C_m + C_{эл} + C_b + C_x \quad (7.10)$$

где  $C_2$  — годовая зарплата (основная и дополнительная с отчислениями на соцстрах) поверителя (поверителей), занятого на данном рабочем месте;  $C_{\pi}$  — общая балансовая стоимость средств поверки, принадлежащих данному рабочему месту;  $N_a$  — норма амортизации (%) на данное поверочное оборудование;  $C_m$  — годовые расходы на метрологическое обслуживание (ремонт, поверку, аттестацию) данных средств поверки;  $C_{эл}$  — годовые расходы на электроэнергию, потребляемую поверочным оборудованием при поверке СИ данного потока;  $C_b$  — годовые расходы на вспомогательные материалы, которые требуются для нормального обеспечения поверочных работ, производимых на данном рабочем месте;  $C_x$  — прочие годовые административные и хозяйственные расходы, приходящиеся на одно рабочее место.

Значения параметров формул (7.9) и (7.10) рассчитываются на основе действующих общесоюзных или отраслевых нормативно-методических документов по определению плановой себестоимости производимых работ. Если нет необходимости в осуществлении каких-либо расходов из формулы (7.10), то они приравниваются нулю.

Вычисления завершают выбором оптимального числа рабочих мест  $n_0$ , обслуживающих данный поток, которому соответствует минимальное из возможных значений

$$n_0 = \gamma + \sqrt{A \gamma}, \quad (7.11)$$

где

$$\gamma = \frac{\lambda \gamma}{\mu}, \quad (7.12)$$

$$A = \frac{\gamma/2 + 1}{M/\pi + (C_2/C_1) K}. \quad (7.13)$$

Значения параметров  $M$  и  $K$  для формулы (7.13) первоначально выбирают на основе формул (7.4) и (7.6) для варианта, соответствующего значению  $\pi$ , которое определяют по формуле (7.1). После вычисления по формуле (7.11) нового значения  $n_0$  и его округления в формулу (7.13) подставляют соответствующие ему уточненные значения этих параметров. Окончательный результат также округляют.

Если заданы ограничения по числу СИ, одновременно скапливающихся в поверочном подразделении, или по срокам их пребывания в нем, и вычисленное значение  $L_{\max}$  или  $T_{\max}$ , которое соответствует  $n_0$ , не удовлетворяет этим ограничениям, т. е. превышает заданное предельно допустимое значение ( $L_{\max} > L_{\text{пд}}$  или  $T_{\max} > T_{\text{пд}}$ ), то в качестве оптимального значения числа рабочих мест в данном случае принимают наименьшее значение  $n''_0$ , при котором обеспечивается соотношение  $L_{\max} \leq L_{\text{пд}}$  или  $T_{\max} \leq T_{\text{пд}}$ . Если заданы оба ограничения и, исходя из них, получены два несовпадающих значения  $n''_0$ , то выполнение обоих наложенных ограничений обеспечивают принятием большего из этих значений [16].

Рабочие места могут быть двух видов: стационарная (переносная установка для поверки групп однотипных измерительных приборов, например, типа УПАВ, У-309 и др.); комплектное рабочее место, на котором состав ОСИ может меняться в зависимости от того, какие рабочие СИ проходят поверку (например, проведение поверки измерителей уровня, затем замена части образцовых приборов — поверка генераторов и т. п.).

С точки зрения использования ОСИ выгоднее применять комплектные рабочие места. Стационарную установку рационально выбирать, если она будет использоваться большую часть года.

Расчет числа рабочих мест необходим для определения требований к площади производственных помещений, числу и составу оборудования.

Размер производственной площади, требуемой для поверочного подразделения, вычисляют по формуле

$$S_n = \sum_{j=1}^K (s_j n_j + s_{c_j} L_{\max}/C_{r_j}), \quad (7.14)$$

где  $s_j$  — площадь, требуемая для размещения в подразделении одного рабочего места по обслуживанию  $j$ -го потока СИ;  $n_j$  — расчетное значение  $n$  для  $j$ -го потока, определяемое в соответствии с (7.3) и (7.4);  $s_{c_j}$  — средняя площадь, требуемая для размещения одного СИ  $j$ -го потока;  $L_{\max}$  — максимальное число скапливающихся в подразделении СИ, вычисляемое для  $n_j$  в соответствии с формулой (7.6);  $C_{r_j}$  — число ярусов при стеллажном складировании в помещении поверочного подразделения СИ  $j$ -го потока;  $K$  — число потоков СИ, обслуживаемых в данном поверочном подразделении.

Требования к помещениям поверочных подразделений определяются МИ 670—84.

**Составление и согласование графиков поверки СИ в ЛГН.** Перечень СИ, подлежащих государственной поверке, представляется в лабораторию Госнадзора (ЛГН), где выясняется возможность поверки. При невозможности поверки некоторых типов приборов руководитель местной ЛГН должен указать ближайший орган Государственного комитета СССР по стандартам, способный осуществить поверку.

Согласно полученным указаниям составляются календарные графики государственной поверки, которые утверждаются главным инспектором и согласуются с руководителем ЛГН.

**Разработка положения о поверке, учете, хранении и списании СИ.** В соответствии с ГОСТ 8.002—86 и Положением о метрологической службе Министерства связи СССР предприятием связи разрабатывается Положение по поверке, учету, хранению и списанию СИ.

**Составление перспективного плана развития группы поверки.** Перспективный план включает следующие виды работ: оборудование помещения поверочной лаборатории; изготовление рабочих

мест поверителей, приобретение ОСИ; комплектацию рабочих мест вспомогательным и нестандартным оборудованием; организацию подвижной группы; укомплектование штатов, подготовку поверителей; организацию учета и хранения; организацию транспортировки СИ на поверку и обратно; приобретение необходимой НТД и технической литературы (ГОСТ, методических указаний, инструкций, справочников и т. п.).

**Оборудование помещения поверочной лаборатории.** Помещение должно быть оборудовано стеллажами для раздельного хранения СИ: образцовых, исправных рабочих, неисправных. Для контроля значений влияющих величин в помещении должны быть СИ температуры воздуха, относительной влажности воздуха, атмосферного давления, напряжения и частоты сети питания в пределах, предусмотренных ГОСТ 22261—82 «ЕССП. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия». Кроме того, в плане необходимо предусмотреть расширение производственной площади в связи с развитием группы поверки.

**Изготовление рабочих мест поверителей.** Работа поверителя требует специально оборудованного рабочего места. Поскольку унифицированных стенов рабочих мест поверителей не имеется, то необходимо заказать их в других организациях либо выполнить своими силами. Чертежи одного из вариантов рабочего места поверителя разработаны Одесским отделом ЦНИИС.

В соответствии с перспективой расширения объема поверочных работ, необходимо планировать увеличение числа рабочих мест поверителей.

**Приобретение ОСИ.** Они приобретаются централизованным путем по годовым заявкам в установленном порядке, а также децентрализованным путем в сторонних организациях и магазинах-салонах «Приборы».

В перспективном плане намечают сроки приобретения ОСИ в соответствии с расширением номенклатурыверяемых СИ и по мере комплектования стационарных рабочих мест поверителя.

**Организация подвижной группы.** В результате расчета экономической целесообразности применения для поверки отдельных типов СИ, а также в целях большей оперативности проведения ведомственной поверки СИ на местах эксплуатации может быть принято решение об организации передвижной лаборатории.

Передвижная лаборатория может выполнять следующие основные функции: поверку рабочих радио- и электроизмерительных приборов на местах их эксплуатации; транспортировку ОСИ; СИ обменного фонда; доставку рабочих СИ к месту поверки.

**Укомплектование штатов, подготовка поверителей.** Поверители должны иметь спецподготовку в соответствии с ГОСТ 8.002—86. Однако на этапе организации для проведения поверки достаточно одного дипломированного поверителя. В перспективе необходимо предусмотреть подготовку поверителей в соответствии с требованиями квалификационных характеристик [12].

**Организация учета и хранения.** Учет СИ следует вести в соответствии с Методическими указаниями по ведению оперативного учета СИ на предприятиях проводной связи [12].

Кроме того, для оперативности учета на предприятиях можно вести вспомогательные документы: журнал учета технического состояния СИ; журнал учета вновь поступающих СИ; учет проката; картотеку на описания приборов, методические указания и ГОСТ по поверке; картотеку кратких характеристик приборов.

**Организация доставки СИ на поверку, в ремонт и возвращения СИ в эксплуатацию.** Для перевозки СИ необходимо иметь специально оборудованную машину с улучшенной амортизацией (типа УАЗ-452, ПАЗ и др.).

**Расчет объема работ группы ремонта.** В соответствии с имеющимися нормативными документами по расчету штата производится расчет объема работ группы ремонта (в чел.-ч). При этом необходимо руководствоваться нормативами численности производственного штата, а также использовать рекомендуемые нормы времени на ремонт СИ.

**Принятие решения об организации ремонтной группы.** На основе анализа номенклатуры СИ и возможности организации ремонтной группы принимается решение об организации собственной ремонтной базы или выполнения ремонта в сторонних организациях. Решение оформляется приказом по Управлению.

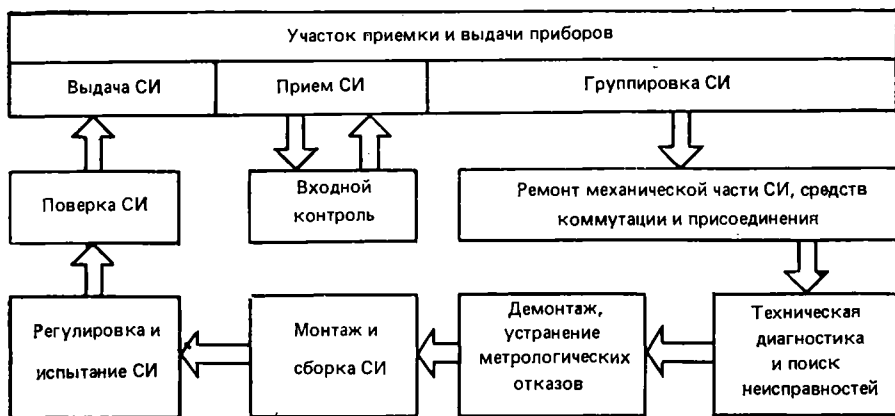
**Расчет числа ремонтников, рабочих мест и выбор оборудования; определение квалификации ремонтников.** Число рабочих мест определяется исходя из конкретных условий: имеющегося помещения для группы ремонта, помещения для хранения СИ, технической базы.

Рабочие места в зависимости от объема работ могут быть специализированы, т. е. оборудованы для ремонта СИ определенных типов (например, генераторов, ИУ, вольтметров и т. д.). Специализация ремонтников способствует повышению производительности труда.

На рис. 7.2. представлена схема организации ремонта СИ.

**Общие сведения о проведении ремонтных работ СИ.** Различают следующие основные виды ремонта: текущий (малый); средний; капитальный.

*Текущий ремонт* — такой вид ремонта, при котором обеспечивается нормальная эксплуатация прибора до очередного планового ремонта. При этом устраняются мелкие неисправности заменой или восстановлением отдельных элементов устройства, регулируются и настраиваются узлы прибора. При текущем ремонте производится внешний осмотр, частичная разборка и чистка прибора; устранение дефектов корпуса и окраска; проверка работы всех ручек управления и переключения; подгонка показаний прибора в класс точности без разборки измерительной системы; замена неисправных комплектующих изделий (до 2% всего количества); подготовка прибора к поверке.



**Рис. 7.2**

При среднем ремонте — производится ремонт или замена изношенных или поврежденных составных узлов и блоков. Обязательно проверяется техническое состояние остальных частей с устранением обнаруженных неисправностей.

Средний ремонт включает работы, предусмотренные текущим ремонтом и дополнительно: замену или ремонт стрелочных приборов; тумблеров, переключателей без разборки прибора; покаскадную проверку прибора; регулировку прибора и доведение его показателей до пределов, указанных в инструкции; окраску приборов по состоянию.

*Капитальный ремонт* заключается в полной разборке и дефектации прибора, в замене или ремонте всех составных частей, в проверке всех узлов и блоков, сборке прибора и его комплексной проверке, регулировке и испытании.

При капитальном ремонте производятся работы первых двух видов ремонта и дополнительно: полная разборка прибора; подетальная чистка и проверка пригодности деталей для дальнейшей эксплуатации; восстановление повреждений и дефектов монтажа; замена всех дефектных деталей и узлов; выполнение работ по изготовлению и замене нестандартных деталей в условиях ремонтного участка; настройка и регулировка узлов и прибора в целом; восстановление надписей на лицевых панелях прибора, замена комплектующих изделий (до 20% всего количества); переградуйровка шкал.

**Составление перспективного плана развития группы ремонта по видам работ.** Первый этап включает организацию группы ремонта на имеющейся материально-технической базе. Затем по годам планируется развитие группы. В перспективный план включаются следующие пункты: кадры; оборудование; помещение; запчасти, комплектующие изделия, материалы и др.



В зависимости от общего объема перспективные планы по группам ремонта и поверки могут быть отдельными или общими, т. е. как разделы перспективного плана совершенствования МО.

**Ремонт СИ в сторонних организациях.** Определяются сторонние организации, способные осуществить ремонт приборов, заключаются договоры на ремонт.

**Разработка положения о порядке ремонта и списания СИ.** При разработке положения следует использовать Рекомендации по разработке унифицированной технологической карты ремонта СИ предпрятий связи [12].

**Оборудование помещения ремонтной группы.** Помещение обору­дуется в соответствии с требованиями Государственного комитета СССР по стандартам. Кроме того, должно быть помещение для хранения СИ, запчастей и материалов.

**Изготовление рабочих мест ремонтников.** Рабочие столы ремонтников изготавливаются по заказам в сторонних организациях или своими силами.

**Приобретение необходимых СИ.** Для выполнения работ по регулировке, настройке и проверке основных параметров ремонтируемого прибора рабочее место ремонтника необходимо укомплектовать соответствующими РСИ. Составляется перечень необходимых СИ и ведется работа по их приобретению.

**Комплектация рабочих мест инструментом и вспомогательным оборудованием.** Рабочее место ремонтника комплектуется: средствами измерений; рабочим столом; инструментом; вспомогательным и нестандартным оборудованием; документацией (методические указания по поверке, эксплуатационная документация на СИ, инструкции и т. п.).

**Укомплектование штатов.** Согласно расчету объема работ и численности ремонтной группы, штатных нормативов составляется перспективный план комплектования штатов.

**Организация закупки, изготовления и хранения запчастей и материалов.** В соответствии с собранными данными о необходимом количестве и номенклатуре запчастей и материалов принимаются меры по их приобретению, организации хранения и учета.

В ремонтной группе рекомендуется вести журнальный или картотечный учет ремонтируемых СИ, при котором должны отражаться: наименование и тип прибора, дата поступления в ремонт и выдачи из ремонта, дефект прибора, используемые запчасти и материалы, фамилия и подпись лица, осуществившего ремонт и т. д.

На основании этих данных разрабатываются технологические карты ремонта. Рекомендации по их разработке приведены в [12].

**Организация подвижной группы.** Организуется при необходимости. Разрабатываются варианты комплектации СИ, инструментом, запчастями, вспомогательным оборудованием в зависимости от типов ремонтируемых приборов.

Несложный ремонт и работа по настройке СИ целесообразно выполнять мобильной группой ремонтников совместно с поверителями, совмещая маршруты следования и транспорт.

**Разработка, согласование и утверждение положения о метрологической службе.** В соответствии с ГОСТ 1.25—76, ГОСТ 8.002—86 и Положением о метрологической службе Министерства связи СССР должно быть разработано Положение о метрологической службе предприятия связи.

Разработанное положение утверждается руководителем управления (предприятия), затем согласовывается с местным органом Государственного комитета СССР по стандартам.

В процессе утверждения и согласования Положения в соответствии с правилами РДП 89—77 подготавливается необходимая документация для оформления в местных органах Государственного комитета СССР по стандартам прав на поверку СИ, изготавливаются клейма, бланки учета и пр.

После утверждения Положения все документы передаются в местный орган Государственного комитета СССР по стандартам для регистрации.

Типовое Положение о метрологической службе ТЦУМС приведено в [12].

В соответствии с планами ГНТУ Министерства связи СССР и тематическими планами головных организаций по МО Министерства связи СССР проводится проверка деятельности метрологических подразделений предприятий связи. Для этого существует специальная программа, которая преследует цель проверки выполнения метрологических требований при техническом обслуживании и выпуске аппаратуры связи, совершенствования МО предприятий связи, оказания им методической помощи и обмена опытом между предприятиями связи.

Проверка проводится сотрудниками центральной головной организации метрологической службы Министерства связи СССР (сотрудниками Одесского отдела ЦНИИС и НИИР). К работе привлекаются также сотрудники метрологических лабораторий ЛОНИИС, КОНИИС, ЛОНИИР, КОНИИР. Руководство проверяемого предприятия ставится в известность о предстоящей проверке за две недели до нее.

Комиссия проводит метрологическую оценку технического обслуживания аппаратуры связи; оценку МО при подготовке производства аппаратуры промышленными предприятиями; оценку организации деятельности метрологической службы; проверку состояния учета СИ и планирования работы подразделений; проверку основных экономических показателей производственной деятельности метрологических подразделений.

По результатам проверки составляется акт по установленной форме. О проделанной работе комиссия отчитывается через ГНТУ. Материалы работы комиссии высылаются в соответствующие главные управления Министерства связи СССР или министерств связи союзных республик.

По результатам проверки деятельности метрологических подразделений предприятий связи производится оценка уровня МО.

Сведения о состоянии МО предприятий заносятся в таблицу показателей деятельности, в число которых входят три группы показателей: организационные, технические и экономические.

Методика проведения проверки деятельности метрологических подразделений, а также Методические указания по оценке уровня эффективности МО предприятий связи приведены в [15].

После проверки на обследуемом предприятии составляется при необходимости план организационно-технических мероприятий по устранению недостатков, отмеченных в акте проверки. Этот план утверждается главным инженером предприятия.

Справки о выполнении мероприятий высылаются в головную организацию по метрологии Министерства связи СССР, ГНТУ Министерства связи СССР или в министерство связи союзной республики.

### **7.3. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МО НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СВЯЗИ**

Можно выделить следующие основные направления совершенствования МО:

1) организация ведомственной поверки и ремонта СИ вместо государственной;

2) внедрение сокращенной программы поверки СИ;

3) внедрение новых средств и методов поверки СИ;

4) внедрение новых средств и методов измерений;

5) автоматизация измерений и поверки СИ.

Целесообразность любых мероприятий по совершенствованию МО должна быть обоснована с точки зрения экономической эффективности. При этом необходимо руководствоваться Инструкцией по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в отрасли «Связь» [17].

Для получения оценки экономической эффективности мероприятий рассчитываются такие показатели, как капитальные затраты; эксплуатационные расходы; приведенные затраты; годовой экономический эффект. Кроме того, необходимо рассматривать технические показатели; показатели качества измерений и поверки; массу, габаритные размеры рекомендуемых к внедрению СИ и поверки; а также степень автоматизации СИ и их поверки и возможности работы в информационно-измерительных системах.

В общем случае капитальные вложения метрологических подразделений предприятий включают в себя затраты: на строительство (реконструкцию) помещений поверочно-ремонтных подразделений; приобретение ОСИ и другого поверочного оборудования;

приобретение транспортных средств, специально оборудованных для перевозки СИ; доставку, монтаж и наладку образцового и другого поверочного оборудования.

В состав эксплуатационных расходов метрологических подразделений входят следующие статьи затрат: заработная плата (основная и дополнительная с отчислениями); амортизационные отчисления; электроэнергия для производственных нужд; материалы и запчасти; затраты на поверку, аттестацию и ремонт ОСИ; затраты на поверку СИ, выполняемую силами сторонней организации в соответствии с установленными нормативами оплаты поверочных работ; затраты на подготовку СИ к поверке в сторонней организации и на подготовку их к эксплуатации после поверки; транспортные расходы.

Затраты рассчитываются по фактическим данным либо на основании отраслевых документов по планированию.

Как правило, используется методика сравнительной экономической эффективности. При этом в качестве базы для сравнения принимается следующий вариант организации МО.

На основе капитальных затрат и эксплуатационных расходов рассчитываются приведенные затраты по сравниваемым вариантам. Они представляют собой суммарные затраты, приведенные к годовой размерности с помощью коэффициента экономической эффективности капитальных вложений, и определяются по формуле:

$$З = С + E_n K, \quad (7.15)$$

где  $С$  — текущие эксплуатационные расходы, руб.;  $K$  — капитальные вложения в производственные фонды, необходимые для проведения мероприятия, руб.;  $E_n$  — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений ( $E_n = 0,15$ ).

Разность приведенных затрат сравниваемых вариантов и есть годовой экономический эффект, получаемый от внедрения проектируемого варианта. Это основной показатель экономической эффективности проводимых мероприятий. Годовой экономический эффект определяется по формуле

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2, \quad (7.16)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  — приведенные затраты по базовому и проектируемому вариантам соответственно.

В зависимости от характера мероприятия по совершенствованию МО годовой экономический эффект рассчитывается по разным частным формулам, вытекающим из общей (7.16). При этом совершенно не обязательно рассчитывать все виды расходов метрологического подразделения, достаточно произвести расчет лишь по изменяющимся статьям затрат. В этом случае формулу годового экономического эффекта удобнее представить в следующем виде:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2 = (C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2) = \Delta C - E_n \Delta K, \quad (7.17)$$

где  $\Delta C$  — ежегодная экономия эксплуатационных расходов от внедрения проектируемого варианта;  $\Delta K$  — дополнительные капитальные вложения, требуемые для внедрения проектируемого варианта.

Рассмотрим методы определения экономического эффекта от проведения различных мероприятий по совершенствованию МО:

1. Расчет годового экономического эффекта от организации поверки и ремонта СИ силами предприятия.

*Источники экономического эффекта:* снижение текущих затрат, связанных с выплатой сборов поверочным и ремонтным органам Государственного комитета СССР по стандартам (или другим ведомствам), с подготовкой и доставкой их к месту поверки и ремонта; снижение капитальных и текущих затрат на резерв РСИ (вследствие снижения времени нахождения приборов в поверке и ремонте).

*Необходимые затраты:* дополнительные капитальные вложения в парк образцового и ремонтного оборудования на предприятии. Текущие затраты на проведение поверки и ремонта СИ силами МС предприятия.

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле

$$\Xi = Z_r - Z_b = \sum_{i=1}^n [(C_{ni}^r + E_n K_{ni}^r) - (C_{ni}^b + E_n K_{ni}^b)] V_{ni}^b, \quad (7.18)$$

где  $V_{ni}^b$  — число поверок СИ  $i$ -го типа в год в условиях предприятия, пов./год;  $n$  — число типов поверяемых СИ;  $C_{ni}^r$  и  $C_{ni}^b$  — эксплуатационные расходы на одну поверку СИ  $i$ -го типа в органах Государственного комитета СССР по стандартам (или других ведомств) и силами МС предприятия соответственно, руб./пов.;  $K_{ni}^r$  и  $K_{ni}^b$  — соответствующие удельные капитальные вложения, руб./пов.

**Расчет затрат при проведении поверки в условиях предприятия.** Удельные капитальные вложения в производственные фонды, необходимые для проведения одной поверки приборов  $i$ -го типа, определяются по формуле

$$K_{ni}^b = \frac{K_{об\ i}^b + K_{пл\ i}^b + K_{рез\ i}^b}{V_{ni}^b}, \quad (7.19)$$

где  $K_{об\ i}^b$  — капитальные вложения, необходимые для приобретения ОСИ и другого поверочного оборудования  $i$ -го типа;  $K_{пл\ i}^b$  — капитальные вложения на производственные площади для размещения поверочного оборудования рабочих мест поверителей, руб.;  $K_{рез\ i}^b$  — капитальные вложения на приобретение резервного парка СИ, руб.

$$K_{рез\ i}^b = \Pi_i (1 + \eta_{xp}) N_i \eta^{рез\ i}, \quad (7.20)$$

где  $\eta^{рез\ i}$  — коэффициент резервного запаса при поверке СИ в условиях предприятия;  $\Pi_i$  — оптовая цена прибора  $i$ -го типа, руб./ед.;  $\eta_{xp}$  — коэффициент, учитывающий затраты на хранение

резервного парка на складе (обычно принимается равным 0,1);  $N_i$  — число приборов  $i$ -го типа, необходимое для обслуживания производственных процессов, ед.

Коэффициент резервного запаса вычисляется по формуле

$$\eta_{рез\ i}^в = \frac{t_{пi}^в}{\tau_i} \quad (7.21)$$

где  $t_{пi}^в$  — среднее время нахождения СИ в поверке, дней;  $\tau_i$  — длительность межповерочного интервала для приборов  $i$ -го типа, дней.

Себестоимость одной поверки СИ  $i$ -го типа определяется по формуле

$$C_{в\ пi}^в = C_{зi} + C_{аi} + C_{р,\ пi} + C_{п,\ пi} + C_{в\ рез\ i}^в + C_{эл\ i}, \quad (7.22)$$

где  $C_{зi}$  — расходы на заработную плату поверителей, руб./пов.;  $C_{аi}$  — годовые амортизационные отчисления по ОСИ и другому поверочному оборудованию в расчете на одну поверку, руб./пов.;  $C_{р,\ пi}$  — расходы на текущий ремонт (профилактический и внеплановый) ОСИ и другого поверочного оборудования, руб./пов.;  $C_{п,\ пi}$  — расходы на поверку ОСИ, руб./пов.;  $C_{в\ рез\ i}^в$  — затраты на эксплуатацию резервного парка, руб./пов.;  $C_{эл\ i}$  — расходы на электроэнергию, потребляемую ОСИ и другим поверочным оборудованием, руб./пов.;

$$C_{эл\ i} = W_i e t_{пi}^в, \quad (7.23)$$

где  $W_i$  — мощность, потребляемая средством поверки  $i$ -го типа, кВ·А;  $e$  — тариф за 1 кВ·А·ч производственной электроэнергии, руб.

Расходы на заработную плату поверителей определяются по формуле

$$C_{зi} = 1,17 \cdot t_{пi} \cdot Z_{ч,\ пi}, \quad (7.24)$$

где 1,17 — коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату и отчисления;  $t_{пi}$  — норма времени на поверку СИ  $i$ -го типа в условиях предприятия, включая затраты на наладку и монтаж, ч./пов.;  $Z_{ч,\ пi}$  — часовая тарифная ставка поверителя соответствующего разряда, руб./ч.

Годовые амортизационные отчисления

$$C_{аi} = \frac{K_{об\ i}^в \cdot H_{аi}}{B_{пi}^в \cdot 100}, \quad (7.25)$$

где  $H_{аi}$  — норма амортизации по  $i$ -му типу образцового и поверочного оборудования, %.

Затраты на эксплуатацию резервного парка

$$C_{в\ рез\ i}^в = \frac{K_{рез\ i}^в \cdot H_{аi}}{B_{пi}^в \cdot 100}. \quad (7.26)$$

**Расчет затрат при проведении поверки в органах Государственного комитета СССР по стандартам (или других ведомствах). Удельные капитальные вложения**

$$K_{ni}^r = \frac{K_{рез i}^r + K_{ni}^b \eta_{подг i}}{B_{ni}^r}, \quad (7.27)$$

где  $K_{рез i}^r$  — капитальные вложения, необходимые для приобретения и хранения резервного парка СИ  $i$ -го типа, руб.;  $K_{ni}^b$  — капитальные вложения в производственные фонды, необходимые для осуществления поверок СИ  $i$ -го типа в условиях предприятия, руб.;  $\eta_{подг i}$  — коэффициент, учитывающий затраты на подготовку СИ к поверке в организациях Государственного комитета СССР по стандартам (или других ведомствах);  $B_{ni}^r$  — число поверок приборов  $i$ -го типа, проводимых в год в организациях Государственного комитета СССР по стандартам (или других ведомствах).

Величина  $K_{рез i}^r$  рассчитывается аналогично  $K_{рез i}^b$  в (7.21)

$$K_{рез i}^r = \Pi_i (1 + \eta_{xp}) N_i \eta_{рез i}^r, \quad (7.28)$$

где  $\eta_{рез i}^r$  — коэффициент резервного запаса приборов  $i$ -го типа

$$\eta_{рез i}^r = \frac{t_{ni}^r}{\tau_i}, \quad (7.29)$$

( $t_{ni}^r$  — среднее время нахождения в поверке одного прибора  $i$ -го типа в органах Государственного комитета СССР по стандартам (или других ведомствах), дн.).

Себестоимость одной поверки СИ  $i$ -го типа при организации поверки в органах Государственного комитета СССР по стандартам (или других ведомствах) определяется по формуле

$$C_{ni}^r = (C_{гi} + C_{тр i} + C_{ni}^b \eta_{подг i} + C_{рез i}^r) (1 + \eta_i), \quad (7.30)$$

где  $C_{гi}$  — сумма государственных сборов, выплачиваемая предприятием органам Государственного комитета СССР по стандартам (или другим ведомствам) за поверку одного прибора  $i$ -го типа, руб./пов.;  $C_{тр i}$  — затраты, связанные с транспортировкой прибора на поверку и обратно, руб./пов.;  $C_{ni}^b$  — себестоимость одной поверки в условиях предприятия, руб./пов.;  $C_{рез i}^r$  — текущие затраты, связанные с эксплуатацией резервного парка приборов  $i$ -го типа, руб./пов.;  $\eta_i$  — доля приборов, неисправность которых возникает в процессе транспортировки после поверки в органах Государственного комитета СССР по стандартам (или других ведомствах).

Для упрощения расчета  $C_{рез i}^r$  по резервному оборудованию можно учитывать только амортизационные отчисления

$$C_{рез i}^r = \frac{K_{рез i}^r H_{ai}}{B_{ni}^r \cdot 100}, \quad (7.31)$$

где  $H_{ai}$  — норма амортизации по  $i$ -му типу прибора, %.

Составляющие годового экономического эффекта по организации ремонта СИ силами предприятия, а также формулы их расчета аналогичны приведенным для ведомственной поверки СИ.

2. Расчет годового экономического эффекта внедрения на предприятии сокращенной программы поверки СИ.

*Источники экономического эффекта:* снижение текущих затрат на поверку СИ (в связи с уменьшением времени поверки). Снижение капитальных и текущих затрат на резерв РСИ. Снижение текущих затрат на ремонт СИ (в связи с исключением случаев браковки СИ на неиспользуемых диапазонах и пределах измерений).

*Необходимые затраты:* отсутствуют.

Годовой экономический эффект рассчитывается как разность приведенных затрат на поверку СИ по полной  $Z_1$  и по сокращенной  $Z_2$  программам поверки

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2.$$

Для расчета приведенных затрат используются формулы (7.19)—(7.26). Однако в связи с тем, что здесь пока не рассматривается возможность сокращения в дальнейшем числа образцового и другого поверочного оборудования, то при переходе на сокращенную программу поверки рассмотрим лишь изменяющиеся статьи расходов.

Таким образом, формулу годового экономического эффекта можем записать в следующем виде:

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n (\Delta C_i + E_n \Delta K_i) V_i. \quad (7.32)$$

При этом экономия капитальных затрат будет выражаться в экономии капитальных затрат на приобретение резервного парка СИ из-за снижения времени нахождения СИ в поверке, т. е. уменьшения времени изъятия их с рабочего места

$$\Delta K = \frac{\Delta K_{\text{рез } i}}{V_i}, \quad (7.33)$$

где  $V_i$  — число поверок СИ  $i$ -го типа в год, пов./год (здесь рассматривается вариант, когда число поверок по полной и по сокращенной программам одинаковы).

Экономия эксплуатационных расходов будет включать экономию расходов на заработную плату поверителей в связи с сокращением времени поверки, а также экономию затрат на эксплуатацию резервного парка в связи с его уменьшением

$$\Delta C_i = \Delta C_{3i} + \Delta C_{\text{рез } i}. \quad (7.34)$$

Экономия затрат на электроэнергию не рассматривается ввиду ее незначительности. Аналогично рассматриваются составляющие годового экономического эффекта в силу сокращения текущих и капитальных затрат на ремонт СИ в связи с сокращением программы поверки.



3. Расчет годового экономического эффекта от внедрения новых средств и методик поверки СИ.

*Источники эффекта:* снижение текущих затрат на поверку СИ, уменьшение ошибок при поверке и обусловленное им уменьшение ошибок измерений и контроля.

*Необходимые затраты:* дополнительные капитальные вложения, связанные с приобретением ОСИ и другого поверочного оборудования.

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле

$$\Xi = (C'_1 + E_n K_1 \alpha_{\text{экрв}}) \frac{B_2 (P_1 + E_n)}{B_1 (P_2 + E_n)} - (C_2 + E_n K_2), \quad (7.35)$$

где  $\alpha_{\text{экрв}}$  — коэффициент эквивалентности, учитывающий преимущества новых средств поверки по параметрам качества;  $C'_1$  — текущие эксплуатационные расходы по базовому варианту, в которых амортизационные отчисления пересчитаны с учетом  $\alpha_{\text{экрв}}$ , руб.;  $B_1, B_2$  — годовые объемы измерений в базовом и новом вариантах, изм./год;  $\frac{B_2}{B_1}$  — коэффициент, учитывающий рост производительности новых средств поверки по сравнению с базовыми;  $P_1, P_2$  — величины, обратные, срокам службы базового и нового средств поверки соответственно, т. е. доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление;  $\frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}$  — коэффициент учета изменения срока службы нового средства поверки по сравнению с базовым.

Если сравниваемые варианты сопоставимы по качественным параметрам, срокам службы и производительности средств поверки, то формула (7.35) будет иметь вид общей формулы (7.16).

Включение в формулу  $\alpha_{\text{экрв}}$  связано с тем, что не все показатели качества удастся учесть прямым счетом в капитальных вложениях или эксплуатационных расходах (методика расчета изложена в [17]).

4. Расчет годового экономического эффекта от внедрения новых средств и методик выполнения измерений.

*Источники экономического эффекта:* сокращение эксплуатационных расходов на обслуживание СИ вследствие повышения их надежности; снижение потерь от ошибок измерений и контроля, что приводит к увеличению времени полезной работы средств связи и соответственно к получению дополнительной прибыли.

*Необходимые затраты:* затраты на приобретение СИ, их транспортировку, монтаж и обслуживание.

Годовой экономический эффект и дополнительные капитальные вложения, руб., рассчитываются по формуле

$$\Xi = \left[ \left( C_{\text{н1}} \frac{B_{\text{н2}}}{B_{\text{н1}}} - C_{\text{н2}} \right) - E_n \Delta K \right] + \Delta П, \quad (7.36)$$

$$\Delta K = K_{\text{сн}} - K_{\text{ост}}, \quad (7.37)$$

где  $C_{и1}$ ,  $C_{и2}$  — себестоимость годового объема измерений при базовом и новом СИ, руб./год;  $V_{и1}$ ,  $V_{и2}$  — годовые объемы измерений, изм./год;  $K_{си}$  — капитальные вложения на приобретение нового СИ и сопутствующие затраты на транспортировку, монтаж и организацию рабочего места и др., руб.;  $K_{ост}$  — остаточная стоимость заменяемого прибора, в качестве которой принимаются стоимость его реализации с учетом износа и числа заменяемых приборов, руб.;  $\Delta\Pi$  — сумма дополнительной прибыли, руб.

Себестоимость годового объема измерений рассчитывается следующим образом:

$$C_{и1,2} = C_{п} + C_{р} + C_{з} + C_{эл} + C_{а}, \quad (7.38)$$

где  $C_{п}$  — годовые затраты на поверку одного СИ, руб./год;  $C_{р}$  — годовые затраты на ремонт, руб./год;  $C_{з}$  — годовые затраты на заработную плату измерителей, обслуживающих один прибор, руб./год;  $C_{эл}$  — годовые затраты на электроэнергию, руб./год;  $C_{а}$  — годовые амортизационные отчисления, руб./год.

Годовые затраты на поверку и ремонт определяются соответственно

$$C_{п} = C'_{п} n_{п}; \quad (7.39)$$

$$C_{р} = C'_{р} n_{р}, \quad (7.40)$$

где  $C'_{п}$  — затраты на одну поверку, руб./пов.;  $C'_{р}$  — средние затраты на устранение одного отказа, руб./рем.;  $n_{п}$  — среднее годовое число поверок (плановых и внеплановых) одного средства измерений, пов./год;  $n_{р}$  — среднее годовое число ремонтов одного СИ по явным и метрологическим отказам, рем./год.

Затраты на одну поверку и средние затраты на устранение одного отказа рассчитываются по формулам:

$$C'_{п} = 1,17 \sum_{j=1}^d t_{пj} Z_{ч.пj}; \quad (7.41)$$

$$C'_{р} = 1,17 \sum_{j=1}^l t_{рj} Z_{ч.рj} + C_{эл}, \quad (7.42)$$

где  $t_{пj}$ ,  $t_{рj}$  — время, затрачиваемое в среднем  $j$ -м поверителем (ремонтником) на одну поверку (ремонт) с учетом затрат времени на  $j$  и демонтаж, ч/пов. (ч/рем.);  $Z_{ч.пj}$ ,  $Z_{ч.рj}$  — часовая тарифная ставка  $j$ -го поверителя (ремонтника), руб./ч;  $d$ ,  $l$  — число поверителей (ремонтников), обслуживающих установку;  $C_{эл}$  — средняя стоимость заменяемых элементов и деталей при ремонте, руб./рем.

Годовые затраты на заработную плату измерителей определяются по формуле

$$C_{з} = V_{и} \cdot 1,17 \cdot t_{и} \cdot Z_{ч.и}, \quad (7.43)$$

где  $t_{и}$  — норма времени на одно измерение, ч/изм.;  $Z_{ч.и}$  — часовая тарифная ставка измерителя, руб./ч.

Годовые затраты на электроэнергию, потребляемую СИ

$$C_{эл} = eW_{эл}T_{год}, \quad (7.44)$$

где  $e$  — тариф на 1 кВт·А·ч электроэнергии, руб./кВт·А·ч;  $W_{эл}$  — мощность, потребляемая одним СИ, кВт;  $\eta_{см}$  — плановый фонд рабочего времени в расчетном периоде, ч/год.

$$T_{год} = T_{см}\eta_{см} \cdot 260, \quad (7.45)$$

где  $T_{см}$  — загрузка прибора в течение рабочей смены, ч/см.;  $\eta_{см}$  — число смен в течение дня, когда прибор загружен; 260 — среднее число рабочих дней в году.

Годовые амортизационные отчисления определяются по формуле

$$C_a = C_{си} \frac{N_a}{100}, \quad (7.46)$$

где  $C_{си}$  — цена средства измерения, руб.;  $N_a$  — норма амортизации по данному СИ, %.

Сумма дополнительной прибыли исчисляется по формуле

$$\Delta\P = \DeltaД - \DeltaЭ_p, \quad (7.47)$$

где  $\DeltaД$  — прирост доходов в результате реализации дополнительной продукции связи;  $\DeltaЭ_p$  — прирост эксплуатационных расходов, связанных с образованием дополнительной продукции.

Сумма эксплуатационных расходов, связанных с образованием дополнительной продукции, рассчитывается путем умножения дополнительного объема продукции на себестоимость обслуживания единицы продукции [17].

#### 7.4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Поэтапное внедрение ЕАСС на основе ведущего принципа построения ЕАСС — автоматизации всей системы технической эксплуатации — обуславливает поэтапную автоматизацию измерений. Это, в свою очередь, создает предпосылки для автоматизации поверки и основных процессов обслуживания СИ. Несмотря на значительные капитальные затраты, автоматизация СИ и поверки должны проводиться вместе с внедрением автоматизированных систем передачи и автоматизацией технической эксплуатации.

Технический эффект от автоматизации определяется такими известными положениями, как повышение достоверности, объективности и надежности результатов измерений; уменьшение доли ручного непроизводительного труда, а следовательно, и субъективных ошибок; уменьшение времени простоя из-за увеличения скорости измерений и обработки информации, поиска и устранения неисправностей; возможность широкого внедрения ВТ и выработки регулирующего воздействия; применение перспективных технических средств.

Ниже приводится один из возможных вариантов оценки экономического эффекта благодаря автоматизации измерений применительно к условиям ЛАЦ. Предлагаемая методика основывается на типовых положениях Инструкции по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в отрасли «Связь».

При поэтапной автоматизации с переходом от одного этапа к другому сокращаются трудовые затраты на измерения, обработку результатов, регулировку систем передачи. Это приводит к снижению эксплуатационных расходов в процессе технической эксплуатации. Кроме того, автоматизация измерений приводит к повышению качества связи, росту надежности каналов (снижению времени аварийного закрытия связи); обуславливает уменьшение времени на измерения с закрытием связи (что снижает время плановых простоев каналов при профилактике). А это дает возможность получения дополнительной прибыли в результате роста времени полезной работы средств связи [см. формулу (7.47)].

Для расчета годового экономического эффекта используется формула (7.37), учитывающая внедрение новых СИ. Однако в связи с тем, что сравнение вариантов автоматизации производится при одинаковом числе измерений, формула (7.36) принимает вид

$$\mathcal{E} = (\Delta C - E_{\text{в}} \Delta K) + \Delta П, \quad (7.48)$$

где  $\Delta K$  — дополнительные капитальные вложения (или их экономия) в связи с автоматизацией.

При анализе экономии текущих эксплуатационных расходов здесь рассматриваются лишь существенно изменяющиеся статьи затрат, т. е. изменение расходов на заработную плату  $\Delta C_z$ , амортизационных отчислений  $\Delta C_a$ , а также изменение затрат на электроэнергию  $\Delta C_{\text{эл}}$ .

Ниже приведен порядок расчета годового экономического эффекта, ожидаемого на каждом этапе автоматизации:

1. При переходе к первому этапу автоматизации, т. е. внедрению центров технической эксплуатации в ЛАЦ (ЦТЭ), экономия эксплуатационных расходов происходит за счет снижения расходов по заработной плате, амортизационным отчислениям и по электроэнергии. Экономия расходов по заработной плате получается из-за снижения затрат времени на измерения, отсутствия переключения СИ от одной стойки к другой, исключения работ по подключению СИ к контролируемым объектам (КО). В итоге возможно сокращение численности работников.

Расходы на заработную плату по каждому варианту (до внедрения и после внедрения ЦТЭ) рассчитываются по формуле (7.43).

Уменьшение числа самих СИ, кроме экономии капитальных затрат  $\Delta K$ , приводит к соответствующему снижению амортизационных отчислений и расходов на электроэнергию (определяются по формулам (7.44) — (7.46)).

2. Переход ко второму этапу автоматизации требует дополнительных капитальных вложений, поскольку применяются более дорогие автоматические СИ. Однако надо учесть, что при этом одно СИ может обслуживать большее число КО. Рост капитальных затрат соответственно ведет к росту амортизационных отчислений. Однако обеспечивается экономия затрат на электроэнергию; затрат на заработную плату в связи с тем, что обработка и фиксация результатов по сравнению с ЦТЭ производятся автоматически. Кроме того, отпадает необходимость в служебных переговорах по организации измерений. Сигналы синхронизации СИ передаются в установленном порядке.

3. При переходе к полной автоматизации по сравнению с частичной автоматизацией требуются дополнительные капитальные вложения, поскольку необходимы дополнительно контролируемые датчики, СТО. Однако расчет надо производить с учетом того, что отпадает необходимость в оборудовании подключения и что можно обслуживать большее число КО. Соответственно растут амортизационные отчисления. Но в целом снижаются эксплуатационные расходы вследствие полной автоматизации технической диагностики и обработки результатов измерений (снижение расходов на заработную плату, на электроэнергию).

Прирост прибыли, учитываемый в формуле годового экономического эффекта, требует расчета дополнительных доходов  $\Delta D$  и дополнительных эксплуатационных расходов  $\Delta \mathcal{E}_p$ , связанных с дополнительным объемом услуг.

В условиях ЛАЦ эти показатели можно рассчитать следующим образом. Число сэкономленных канало-часов  $\Delta T_k$  в результате автоматизации измерений равно:

$$\Delta T_k = \Delta t_k N, \quad (7.49)$$

где  $\Delta t_k$  — сэкономленное время занятия канала на измерения или сэкономленное время из-за снижения простоя канала, ч/год;  $N$  — число каналов.

При круглосуточной работе системы в течение года (8760 ч) экономия в каналах будет равна

$$\Delta N = \Delta T_k / 8760. \quad (7.50)$$

Тогда, зная пропускную способность одного телефонного канала в год  $q$  и среднюю доходную таксу за один разговор  $\bar{d}$ , можно рассчитать прирост доходов

$$\Delta D = \Delta N q \bar{d}. \quad (7.51)$$

Зная среднюю себестоимость одного разговора  $c'$ , можно рассчитать сумму эксплуатационных расходов, связанных с обслуживанием дополнительных разговоров:

$$\Delta \mathcal{E}_p = \Delta N q c'. \quad (7.52)$$

Поскольку при автоматизации уменьшается число СИ, соответственно сокращаются затраты времени на их поверку. Методика расчета годового экономического эффекта от сокращения времени поверки приведена в § 7.4.

1. **Основополагающие стандарты в области метрологии.** Издательство стандартов. — М., 1986. — 311 с.
2. **Гранатуров В. М., Некрасов В. С.** Организация, планирование и управление метрологическим обеспечением в отрасли связи. — М.: Радио и связь, 1987. — 181 с.
3. **Метрология, стандартизация и измерения в технике связи:** Учебное пособие для вузов/Б. П. Хромой, А. В. Кандинов, А. Л. Сенявский и др.; Под ред. Б. П. Хромого. — М.: Радио и связь, 1986. — 421 с.
4. **Аппаратура сетей связи:** Справочник. Под ред. Шляхтера М. И. — М.: Радио и связь, 1982. — 440 с.
5. **Лозовой И. А.** Параметры каналов тональной частоты аппаратуры с ИКМ. — М.: Радио и связь, 1981.
6. **Никифоров Н. П., Циклис А. М., Шпигель А. Р.** Измерение качественных показателей каналов связи с ИКМ. — М.: Радио и связь, 1984. — 104 с.
7. **Аппаратура ИКМ-30/Голубев А. Н., Иванов Ю. П., Левин Л. С. и др.;** Под ред. Иванова Ю. П. и Левина Л. С. — М.: Радио и связь, 1983. — 184 с.
8. **Шапенко М. П.** Измерительные информационные системы: Структуры, алгоритмы, системотехническое проектирование. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 440 с.
9. **Солопченко Г. Н.** Метрологические свойства измерительных информационных систем. — Л.: ЛПИ, 1985. — 80 с.
10. **Желнов Ю. Н.** Точностные характеристики управляющих вычислительных машин. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 135 с.
11. **Артемьев Б. Г., Голубев С. М.** Справочное пособие для работников метрологических служб. — М.: Изд-во стандартов, 1986. — т. 1. — 350 с.
12. **Сборник методических указаний по организации метрологического обеспечения на предприятиях Министерства связи СССР.** — М.: Радио и связь, 1981. — 88 с.
13. **Сборник комплектов средств поверки. Состав и характеристики оборудования комплектных поверочных лабораторий.** — М.: Издательство стандартов, 1981—1982. — 184 с.
14. **Вайсбанд М. Д., Проненко В. И.** Техника выполнения метрологических работ. — К.: Техніка, 1986. — 186 с.
15. **Сборник методических указаний по организации метрологического обеспечения на предприятиях Министерства связи СССР/Министерство связи СССР.** — М.: Радио и связь, 1985. — 72 с.
16. **Методические указания. Определение потребности поверочных подразделений в производственных ресурсах. МИ 670—84.** — М.: Издательство стандартов, 1985. — 20 с.
17. **Инструкция по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в отрасли «Связь»/Министерство связи СССР.** — М.: Связь, 1980. — 112 с.
18. **Волоконная оптика и приборостроение/М. М. Бутусов, С. А. Галкин и др.// Под редакцией М. М. Бутусова.** — Л.: Машиностроение, 1987. — 328 с.
19. **Оптическая связь: Перевод с япон.** — М.: Радио и связь, 1984. — 384 с.
20. **Оптика и связь/А. Козанне, Ж. Флере и др.: Перевод с фр.** — М.: Мир, 1984. — 504 с.
21. **Снайдер Л., Лав Дж.** Теория оптических волноводов: Перевод с англ. — М.: Радио и связь, 1987. — 656 с.
22. **Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения/Под ред. А. Ф. Катюка.** — М.: Радио и связь, 1981. — 288 с.
23. **Верник С. М. и др.** Аппаратура для измерения затухания оптических кабелей в процессе монтажа и эксплуатации/Электросвязь. — 1980. — № 12. — С. 46—48.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	5
1.1. Основные понятия, термины и определения	5
1.2. Цели, задачи и содержание МО	6
1.3. Научные основы МО	10
1.4. Правовые основы и нормативная база МО	11
1.5. Единицы физических величин. Система SI	15
1.6. Система эталонов единиц ФВ	20
1.7. Система передачи размеров единиц ФВ	25
1.8. Система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих средств измерений	31
1.9. Система обязательных государственных испытаний средств измерений	32
1.10. Система обязательной государственной и ведомственной поверки средств измерений	39
1.11. Метрологическая служба СССР	41
Глава 2. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛОВ И ТРАКТОВ	49
2.1. Особенности ЕАСС	49
2.2. Структура каналов и трактов МСП	52
2.3. Параметры и характеристики канала ТЧ и типовых сетевых трактов	63
2.4. Параметры и характеристики линейных трактов	82
2.5. Виды измерений, применяемых в МСП	93
2.6. Параметры и характеристики вспомогательной аппаратуры систем передачи	104
Глава 3. ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО МО СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	112
3.1. Основные принципы ЕАСС и задачи МО	112
3.2. Техническая эксплуатация и МО	115
3.3. Измерения, результаты и характеристики погрешностей измерений. Использование при испытаниях и контроле параметров	119
3.4. Расчет погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации	127
3.5. Разработка и метрологическая аттестация методик выполнения измерений	140
3.6. Оценка инструментальной составляющей погрешности измерений по классу точности средства измерений	147
3.7. Испытания средств измерений с целью определения индивидуальных нормируемых метрологических характеристик	152
3.8. Статистическая оценка характеристик погрешности измерений	155
	391

Глава 4.	ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛОВ И ТРАКТОВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	164
4.1.	Измерение уровней напряжения	164
4.2.	Измерение помех	187
4.3.	Измерение помехозащищенности канала ТЧ	195
4.4.	Особенности измерения в цифровых системах передачи	210
4.5.	Измерение отношения сигнал-шум квантования	211
4.6.	Измерение уровня перегрузки	221
4.7.	Измерение вероятности ошибок в ЦСП. Оценка вероятности ошибок по соотношению сигнал-шум	225
4.8.	Измерения в оптических системах передачи	245
4.9.	Измерение продольных геометрических параметров	249
4.10.	Измерение оптических параметров	253
4.11.	Измерение параметров распространения излучения в световодах	262
4.12.	Измерения параметров и характеристик излучающих и приемных преобразователей и устройств	276
4.13.	Рабочие средства измерений	283
Глава 5.	АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ	290
5.1.	Основные направления автоматизации измерений	290
5.2.	Агрегатирование и условия совместимости средств измерений	293
5.3.	Стандартные интерфейсы для автоматизации измерений в системах передачи	296
5.4.	Микропроцессоры в микроЭВМ в цифровых измерительных приборах	303
5.5.	Измерительные информационные системы	309
5.6.	Основные направления автоматизации поверочных работ	317
5.7.	Применение системы КАМАК в автоматизированном метрологическом комплексе для поверки средств измерений в электросвязи	319
5.8.	Измерительно-вычислительный комплекс КЗ-3 с интерфейсом КОП	324
5.9.	Измерительно-вычислительный комплекс АИСТ-ТЧ	336
Глава 6.	ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ И В ОРГАНИЗАЦИЯХ ВЕДОМСТВЕННОЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ	343
6.1.	Нормативно-технические документы по поверке средств измерений	343
6.2.	Методы поверки средств измерений	344
6.3.	Выбор критериев достоверности поверки и установление значений параметров методик поверки средств измерений	346
6.4.	Сокращение объема поверки средств измерений	358
Глава 7.	ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СВЯЗИ	364
7.1.	Общие положения	364
7.2.	Организация МО на предприятиях связи	367
7.3.	Оценка экономической эффективности мероприятий по совершенствованию МО на предприятиях связи	379
7.4.	Экономическая эффективность автоматизации измерений	387
	Список литературы	390