

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

---

Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Ю.Г. Осипов, Н.В. Герасимова, А.В. Дядюра

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ  
АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «УЛЫБКА»**

Учебное пособие



Санкт-Петербург  
2009

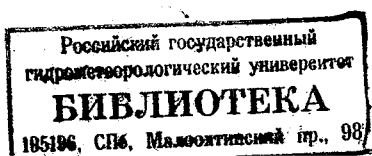
УДК 551.509.3; 519.24; 389.001

Осипов Ю. Г., Герасимова Н. В., Дядюра А. В. Устройство и принцип действия аэрологической информационно-измерительной системы «Улыбка». Учебное пособие по дисциплине Методы зондирования окружающей среды. – СПб; РГГМУ, 2009 –60 с.

Рассматривается принцип зондирования атмосферы информационно-измерительной системой радиопеленгационного метеорологического комплекса «Улыбка» в режиме радиопеленгации и радиолокации с радиозондом МРЗ-3. Описываются различные модификации радиозонда МРЗ, включая радиозонд с датчиком давления. Представлены перспективные направления в совершенствовании радиозондов с учетом перехода от аналоговых к цифровым радиозондам.

Предназначено в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов метеорологов по курсу «Методы и средства гидрометеорологических измерений», а также может быть полезно инженерам, специализирующимся в области радиозондирования атмосферы.

© Осипов Ю.Г., Герасимова Н.В., Дядюра А.В.  
© Российский государственный гидрометеорологический университет, 2009



## Оглавление

Предисловие .....	4
Введение .....	5
<b>Глава 1.</b>	
<b>Радиопеленгационный метеорологический комплекс 1Б44 «Улыбка» .....</b>	<b>5</b>
1.1. Передающая система Ц-10 .....	9
1.2. Антенно-фидерная система (АФС) Ц-20 .....	12
1.3. Приемная система Ц-30 .....	15
1.4. Система отображения информации (СОИ) Ц-40 .....	18
1.5. Система определения координат (СОК) Ц-50 .....	20
1.6. Система обработки и управления (СОУ) Ц-60 .....	21
1.7. Система управления антенной (СУА) Ц-70 .....	21
1.8. Система автоматического контроля (САК) Ц-90 .....	25
<b>Глава 2.</b>	
<b>Устройство и принцип работы радиозонда МРЗ-3А .....</b>	<b>25</b>
2.1. Метрологические характеристики датчиков температуры и влажности радиозонда МРЗ-3А.....	26
2.1.1. Датчики температуры .....	26
2.1.2. Датчики влажности .....	28
2.2. Принцип работы радиоблока радиозонда МРЗ-3А .....	30
2.3. Радиозонды с низкоомным датчиком температуры .....	40
2.4. Радиозонд с интегральными кремниевыми тензорезисторными датчиками атмосферного давления.....	46
2.5. Проведение температурно-ветрового зондирования атмосферы комплексом 1Б44 «Улыбка» с радиозондом МРЗ-3А .....	51
Литература .....	56
Условные обозначения .....	57

## Предисловие

Учебное пособие написано в соответствии с программой дисциплины «Методы зондирования окружающей среды» для подготовки дипломированного специалиста по направлению 657200 – Гидрометеорология и специальности 073100 – Метеорология.

В учебном пособии излагаются отдельные аспекты работы современных и перспективных средств радиозондирования атмосферы. Рассматриваются принципы построения как первичных, так и вторичных измерительных преобразователей. Описывается работа вторичных измерительных преобразователей с использованием низкоомных датчиков температуры и влажности, принцип работы перспективных датчиков влажности и тензодатчиков давления, используемых в радиозондах.

При подготовке пособия использовались материалы научных изданий, а также учебник Киселева В. Н., Кузнецова А. Д. (2004) и «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 4, часть III» (2003).

В первой части учебного пособия излагается принцип работы основных систем радиолокационного комплекса 1Б44 «Улыбка».

Во второй части рассматривается принцип работы радиозондов типа МРЗ-3. Исследуются метрологические характеристики датчиков температуры. Анализируется выбор статистической характеристики преобразователя (СХП) в зависимости входного и выходного информационных параметров.

Описывается работа радиозонда с тензорезисторным датчиком атмосферного давления.

## Глава 1. Радиопеленгационный метеорологический комплекс 1Б44 «Улыбка»

Радиопеленгационный метеорологический комплекс 1Б44 предназначен для температурно-влажностно-ветрового зондирования атмосферы с целью обеспечения метеорологическими данными при помощи радиозондов МРЗ-2, МРЗ-3, МРЗ-6 и получения метеорологической информации в виде аэрологических телеграмм КН-03, КН-04, СЛОЙ, ШТОРМ, ПРИЗЕМНЫЙ СЛОЙ.

Комплекс обеспечивает:

- предполетную проверку радиозонда и подготовку его к выпуску;
- автоматическое сопровождение радиозонда в полете;
- прием и обработку координатно-телеметрической информации;
- вычисление метеопараметров;
- расчет аэрологических телеграмм.

Осуществляется индикация начальной и текущей информации на экране видеоконтрольного устройства (ВКУ) телевизионного типа, регистрация ее на алфавитно-цифровом печатающем устройстве (АЦПУ) и выдача аэрологических телеграмм на телетайп; обеспечивается автоматический функциональный контроль и допусковый контроль параметров аппаратуры.

В комплексе применен принцип радиолокационного измерения координат радиозонда. При этом измерение координат и передача телеметрической информации осуществляется по одному совмещенному радиоканалу. Для измерения дальности до радиозонда используется излучение сверхгенеративного приемопередатчика, работающего в режиме активного ответа.

Питание изделия: от трехфазной сети частотой 50 Гц и линейного напряжения 3 фазы 220 В 400 Гц через преобразовательный агрегат ВПЛ-30 или ПСЧ-15.

Уменьшение минимальной дальности действия достигнуто введением многоступенчатого переключения уровня излучаемой мощности передатчика и применением потенциалотрона в качестве быстродействующего антенного переключателя.

### Основные технические данные

Высота комплексного зондирования, км	40
Дальность автосопровождения радиозондов, км	300
Минимальная дальность начала автосопровождения радиозондов, м	не более 75
Диапазон измеряемых и вычисляемых метеопараметров:	
температура воздуха, 0°, С	+50 – 90
относительная влажность, %	15 – 100
атмосферное давление, гПа	1100 – 2
скорость действительного и среднего ветра, м·с <sup>-1</sup>	0 – 150
Направление действительного и среднего ветра, град.	0 – 360
Обработка результатов зондирования	автоматическая (ЭВМ А – 15А)
Регистрация данных зондирования:	
начальная и текущая информация	печать на АЦПУ, индикация на экране ВКУ
аэрологические телеграммы	выдача на телетайп
Диапазон несущих частот передатчиков, МГц	1770 – 1795
Длительность излучаемых импульсов запросного сигнала, мкс:	
маломощного передатчика	0,5 + 0,1
мощного передатчика	1,1 ± 0,12
Частота повторения импульсов запросного сигнала, Гц	457,5 + 0,2
Плотность потока импульсной мощности запросного сигнала на расстоянии 200 км при работе мощного передатчика (относительно уровня 1 Вт·м <sup>-1</sup> ), дБ	не менее 60
Диаметр параболоида антенны, м	1,8
Ширина диаграммы направленности антенны по половинному спаду мощности,	6 + 1
Чувствительность приемника, дБ·Вт <sup>-1</sup>	не хуже - 127
Показатели надежности:	
среднее значение времени восстановления работоспособности аппаратуры, мин.	60
вероятность безотказной работы в течение 4 ч	0,964
ЭВМ в составе изделия 1Б44 обеспечивает все вычислительные функции автоматического управления, индикации и контроля. Все системы комплекса максимально автоматизированы: подстройка частоты гетеродина, подстройка частоты передатчика, сопровождение по дальности и угловым координатам и т.д. Автоматизация изделия 1Б44 позволяет ускорить обработку данных радиозондирования и сократить штат аэрологической станции.	

Разработанный для изделия 1Б44 радиозонд МРЗ выполнен на микросхемах, за счет чего уменьшены его масса и габариты, а также снижено электропотребление. Эти мероприятия обеспечивают экономию дефицитного материала при изготовлении батарей радиозондов и повышают безопасность полетов авиации в районах выпусков радиозондов.

В изделии 1Б44 отсутствует режим сопровождения пассивных мишеней (угловых отражателей). Это позволило снизить мощность передатчика, так как он работает только с активной мишенью. Функции СВЧ генератора и малошумящего параметрического усилителя сверхвысокой частоты (СВЧ) выполнены с помощью специального электронно-лучевого прибора – потенциалотрона, который выполняет одновременно роль передатчика и малошумящего СВЧ усилителя. Для передачи телеметрического сигнала применена частотная модуляция (взамен амплитудной в радиозонде МАРЗ). Применение частотной модуляции для передачи телеметрического сигнала, нормирование энергетических характеристик радиозонда МРЗ-3А повысило точность параметров, определяемых системами угловой автоматики и дальности.

Благодаря введению регулировки уровня излучаемой мощности мало мощного передатчика и применению потенциалотрона в качестве быстродействующего антенного переключателя уменьшена минимальная дальность действия радиозахвата. Это обеспечивает возможность автосопровождения радиозонда по координатам непосредственно с земли и устраняет потери информации в приземном слое. Снижение мощности СВЧ передатчика позволило уменьшить размеры санитарно-защитной зоны и вредное воздействие излучения РЛС до 40 м.

Увеличение дальности действия комплекса при одновременном снижении в 10 раз мощности передатчика достигнуто за счет разработки и внедрения специального комплексного прибора СВЧ потенциалотрона.

Конструктивно комплекс 1Б44 размещен в специальном кунге и состоит из шкафов и стоек, в которых размещены блоки основной аппаратуры.

Комплекс 1Б44 содержит следующие системы:

- передающую систему ЦЦ-10;
- антенно-фидерную систему (АФС) ЦЦ-20;
- приемную систему ЦЦ-30;
- систему отображения информации (СОИ) ЦЦ-40;
- систему определения координат (СОК) ЦЦ-50;
- систему обработки и управления (СОУ) ЦЦ-60;
- систему управления антенной (СУА) ЦЦ-70;
- систему электропитания ЦЦ-80;
- систему автоматического контроля (САК) ЦЦ-90.

Структурная схема изделия 1Б44 представлена на рис. 1.1.

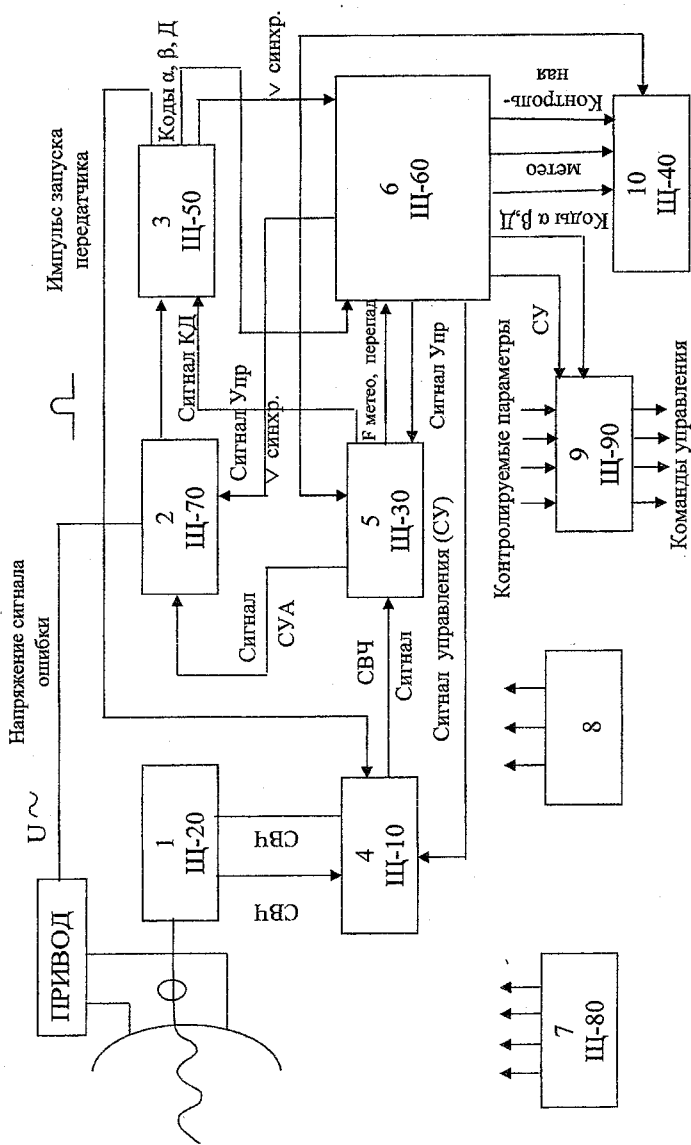


Рис. 1.1. Структурная схема изделия 1Б44

1 – антенно-фидерная система (АФС), 2 – система управления антенной (СУА), 3 – система определения координат (СОК), 4 – передающая система, 5 – приемная система, 6 – система обработки и управления (СОУ), 7 – система электропитания, 8 – вспомогательное и дополнительное оборудование, 9 – система автоматического контроля (САК), 10 – система отображения информации (СОИ).



## 1.1. Передающая система Щ-10

Передающая система предназначена для формирования кратковременных СВЧ импульсов (импульсов запроса). Импульсы запроса используются для облучения радиозонда и формируются двумя передатчиками: маломощным (при дальностях до радиозонда менее 3000 м) и мощным (при дальностях до радиозонда свыше 3000 м). Переключение передатчиков осуществляется автоматически или вручную с пульта оператора. Синхронизация работы передатчиков производится импульсами запуска, поступающими из СОК Щ-50. Для автоматической подстройки частоты передатчиков на частоту максимальной чувствительности радиозонда к сигналу запроса предусмотрена система автоматической подстройки частоты передатчика (АПЧП), находящегося внутри передающей системы Щ-10. Импульсы с выхода передатчиков 4 поступают в антенно-фидерную систему.

Структурная схема передающей системы Щ-10 представлена на рис. 1.2. Вся аппаратура передающей системы размещена в трех блоках: ЩТ-11, Щ-31, Щ-34. В блоке ЩТ-11 находится подмодулятор, состоящий из усилителя и блокинг-генератора. Кроме того, в блоке ЩТ-11 установлены модулятор передатчика 1, модулятор передатчика 2 и два СВЧ генератора большой и малой мощности.

В передающей системе размещены блоки Щ-31 и Щ-34, относящиеся к приемной системе. Эти блоки выполняют автоматическую подстройку частоты передатчика 1 и передатчика 2. Импульсы запуска поступают в передающую систему из СОК ЩТ-50. В подмодуляторе (блокинг-генераторе) они усиливаются и формируются по длительности. Длительность передатчика малой мощности (1)  $\tau_2 = 0,5$  мкс, длительность передатчика большой мощности (2)  $\tau_1 = 1,2$  мкс. Переключение передатчиков производится путем переключения импульсов запуска с подмодулятора контактами реле  $P_{11}$ , когда установлена или снята команда «+27В ВКЛ.» Эта команда может поступать с пульта оператора при установке переключателя «ПЕРЕКЛ. ПЕР» в положение 1 или 2, или из ЭВМ, когда она устанавливается автоматически в положении переключателя «ПЕРЕКЛ. ПЕР.— АВТ». При работе передатчика 2, когда нет необходимости в работе передатчика 1, питание передатчика 1 может быть полностью отключено с пульта оператора кнопкой «НАК.ПЕР.1.ВЫК». В передатчике 2 в качестве генератора СВЧ используется генераторная часть потенциалотрона, выполненная по схеме магнетронного генератора. Частота генератора потенциалотрона перестраивается путем вращения вала механической регулировки частоты, который находится в субблоке СБ-229. Вращение передается из субблока СБ-330. Субблок СБ-330 представляет собой

механизм, который при помощи исполнительного двигателя преобразует управляющее напряжение во вращение.

В передатчике 1 в качестве СВЧ генератора используется мало-мощный магнетрон. Частота генератора СВЧ перестраивается путем вращения ручки настройки магнетрона. Вращение осуществляется с помощью субблока СБ-229.

Система автоматической подстройки частотного передатчика (АПЧП) поддерживает частоту передатчика на уровне, при котором обеспечивается максимальная чувствительность радиозонда к запро-сному сигналу. Изменение частоты радиозонда вначале отслеживается автоматической системой, а затем система АПЧП отслеживает измене-ния несущей частоты радиозонда посредством слежения за частотой СВЧ гетеродина.

Система АПЧП работает на промежуточной части (ПЧ) – 100 МГц. На смеситель АПЧП (рис.1.2) поступает сигнал  $f_{гет.}$  с гетеродина СВЧ приемной системы и сигнал частотой  $f_{перед.}$  из антенно-фидерной системы (АФС). Сигнал промежуточной частоты ( $f_{гет.} - f_{перед.}$ ), несущей информацию о расстройке частоты передатчика относительно гетеро-дина СВЧ, выделяется входным фильтром УПЧ (Блок Ц-31), усиливает-ся и подается на частотный дискриминатор.

Центральная частота дискриминатора при нулевом напряжении  $C_{двиг.} f_{перед.}$  равна 100 МГц. Если  $f_{перед.}$  будет равна  $f_{р/з}$  и на выходе дис-криминатора промежуточная частота равна 100 МГц, напряжение рас-согласования на выходе будет равно нулю. Когда частота передатчика будет отличаться от частоты радиозонда, возникает напряжение рассо-гласования, амплитуда которого определяет величину ухода промежу-точной частоты относительно частоты 100 МГц, а полярность – направ-ление ухода в меньшую или большую сторону.

В блоке Ц-34 происходит преобразование напряжения сигнала ошибки (СО) с помощью схем управления, слежения и поиска, управ-ляющие напряжения подаются в субблоки СБ-229, СБ-330.



## 1.2. Антенно-фидерная система (АФС) Ш-20

Антенно-фидерная система передает электромагнитную энергию импульсов запроса к антенне, излучает эту энергию в пространство, принимает излучаемую радиозондом электромагнитную энергию и передает ее на вход приемной системы. Структурная схема приведена на рис. 1.3.

АФС состоит из двух трактов (основного, соединяющего выход потенциалотрона с излучателем антенны и тракта маломощного передатчика, соединяющего генератор передатчика 1 с основным трактом), волномера для контроля несущей частоты, имитатора сигнала радиозонда СБТ-227 и электромеханического СВЧ переключателя «Антенна-Эквивалент» (СБТ-201).

В основной тракт входят: ответвитель части мощности зондирующего импульса в измерительные схемы (СБТ-225), СВЧ генератор ИСРЗ (СБТ-227), СВЧ переключатель (СБТ-201), эквивалент антенны, антенная колонка.

В тракт маломощного передатчика входят распределитель сигналов (СБТ-205), циркулятор (СБТ-221), субблок (СБТ-226), в котором осуществляется связь с основным трактом.

Субблок СБТ-226 представляет собой секцию основного фидерного тракта, предназначенную для передачи СВЧ энергии в основной тракт и для ответвления части ее в детекторную головку. В детекторной головке происходит выделение видеоимпульсов, поступающих на экран индикатора дальности для контроля формы и амплитуды огибающей СВЧ сигнала передатчиков.

Субблок СБТ-227 предназначен для создания сигнала, имитирующего сигнал радиозонда, и передачи сигнала ИСРЗ в АФС. Он состоит из СВЧ генератора ИСРЗ и секции фидерного тракта, через которую сигнал ИСРЗ поступает в АФС. В режиме сопровождения радиозонда генератор ИСРЗ отключается, и фидерная секция субблока используется для передачи сигналов по основному тракту.

Контроль несущей частоты осуществляется волномером СБТ-226, который относится и к основному тракту, и к тракту маломощного передатчика.

**Работа схемы.** В АФС СВЧ сигнал передатчика 1 поступает через распределитель сигналов в циркулятор. В распределителе сигналов происходит ответвление части СВЧ энергии на смеситель системы АПЧП и в волномер (СБТ-226) для контроля несущей частоты.

Циркулятор предназначен для измерения уровня мощности сигнала передатчика 1, поступающего в антенну. В зависимости от направления магнитного поля, создаваемого электромагнитом, сигнал поступает в субблок СБТ-226 либо через правое плечо циркулятора, либо через левое. Через левое плечо сигнал проходит без ослабления, через правое плечо сигнал проходит с ослаблением на 12 дБ. Ослабление происходит в результате поглощения части мощности сигнала в нагрузочном сопротивлении циркулятора.

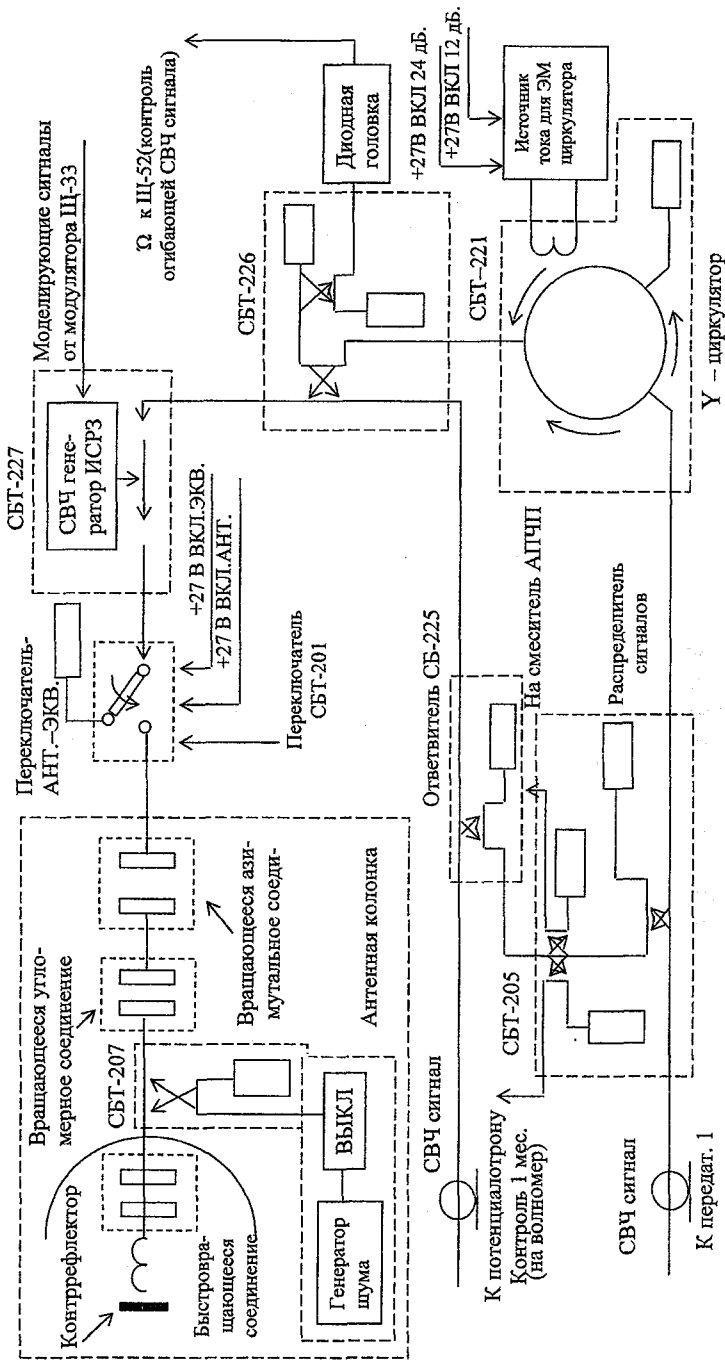


Рис. 1.3. Структурная схема антенно-фильтровой системы (АФС)

Так как в элементе связи субблока СБТ-226 при переходе сигнала в основной тракт существует постоянное ослабление мощности 12 дБ, то суммарное ослабление сигнала передатчика 1 будет складываться из ослабления в циркуляторе и ослабления в субблоке СБТ-226 и составлять 12 дБ или 24 дБ. Степень ослабления определяется командами «+27В ВКЛ.24 дБ» и «+27В ВКЛ.12 дБ» (рис.1.3), поступающими на источник тока электромагнита циркулятора для изменения направления протекания тока в катушке электромагнита. Команды степени ослабления могут подаваться автоматически из ЭВМ или вручную с пульта оператора при установке тумблера «СВЧ АТТ» в положение «24» или «12 дБ». В автоматическом режиме сигнал передатчика 1 ослабляется на 24 дБ при дальности до радиозонда менее 500 м и на 12 дБ – при дальностях от 500 до 3000 м. При достижении радиозондом дальности 3000 м передатчик 1 отклоняется и включается передатчик 2, сигнал которого проходит без ослабления.

Электромеханический СВЧ переключатель «Антенна-Эквивалент» обеспечивает подключение передатчиков к антенне в режиме работы на излучение или к эквиваленту антенны, который является поглотителем мощности. Переключение с антенны на эквивалент осуществляется вручную по командам «+27В ВКЛ. АНТ.» или «+27В ВКЛ. ЭКВ», поступающим с переключателя «АНТ-ЭКВ.» пульта оператора. При установке переключателя в положение «АНТ» сигнал передатчика через азимутальное и угломестное вращающиеся соединения, через фидерную секцию субблока СБТ-207 и вращающееся угломерное соединение поступает в антенную головку.

Излучаемая антенной головкой электромагнитная энергия формируется параболическим рефлектором в узкий направленный луч. При вращении антенной головки луч описывает в пространстве коническую поверхность. При работе АФС на прием часть электромагнитной энергии, излучаемая радиозондом, поступает на параболический рефлектор, фокусируется им и концентрируется в антенной головке. Далее СВЧ сигнал радиозонда через основной фидерный тракт поступает на вход приемной части потенциалотрона. Функции переключателя, подключающего основной фидерный тракт к входу приемной части потенциалотрона или к выходу генераторной части потенциалотрона, выполняет сам потенциалотрон.

Энергия СВЧ импульсов подводится к спиральному излучателю, помещенному в фокальной плоскости параболического отражателя направленной антенны. Электромагнитная энергия, излучаемая спиральным излучателем, имеет круговую поляризацию электрического поля, что позволяет принимать сигналы радиозонда при вращении антенной головки. В свою очередь вращение антенной головки обеспечивает получение кругового сканирования диаграммы направленности в про-

странстве, которое используется для автосопровождения радиозонда по угловым координатам.

Субблок СБТ-207, находящийся в антенной колонке предназначен для создания и передачи в АФС шумовых СВЧ посылок, используемых для проверки чувствительности приемной системы. Субблок включает генератор шума, выключатель, отключающий цепь шумового генератора от основного тракта, и фидерную секцию с элементом связи, через которую шумовой сигнал поступает в АФС.

### 1.3. Приемная система Щ-30

Приемная система предназначена для преобразования принятых антенной сигналов и их усиления до величины, необходимой для нормальной работы СОК, СУА, СОУ. Принятый антенной СВЧ сигнал поступает на вход приемной части потенциалотрона для усиления (рис.1.4). Усиленный сигнал преобразуется вначале в сигнал первой промежуточной частоты 100 МГц, затем – в сигнал второй промежуточной частоты 30 МГц для реализации необходимой полосы пропускания и усиления приемной системы. На частоте 30 МГц происходит основное усиления сигнала радиозонда. Сигнал частоты 30 МГц поступает на видеодетектор для выделения огибающей частоты суперирования радиозонда 800 или 600 кГц. Импульсы частоты суперирования преобразуются в сигнал частоты 465 кГц и используются далее в каналах выделения сигнала ошибки по угловым координатам и метеосигналам.

Для обеспечения подстройки приемной системы при уходе несущей частоты излучения радиозонда в процессе его полета предусмотрен канал автоматической подстройки частоты гетеродина СВЧ. Для обеспечения функционального контроля приемной системы предусмотрены устройство измерения коэффициента шума (ИКШ) и имитатор сигнала радиозонда (ИСПЗ).

Сигнал радиозонда, принятый антенной, по волноводному тракту поступает на вход приемной части потенциалотрона, выполняющего функцию малощумящего СВЧ усилителя (рис. 1.4). Низкий коэффициент шума СВЧ усилителя определяет высокую чувствительность всей приемной системы. С потенциалотрона усиленный СВЧ сигнал поступает на вход балансного смесителя. На балансный смеситель также поступает сигнал гетеродина СВЧ, частота которого на 100 МГц выше частоты принимаемого сигнала. От распределителя мощности сигнал поступает также на смеситель системы автоматической подстройки частоты передатчика АПЧП и на волномер для измерения частоты сигнала гетеродина.





В балансном смесителе происходит преобразование частоты сигнала радиозонда в первую промежуточную частоту 100 МГц.

После усиления в УПЧ сигнал 100 МГц поступает в два смесителя (смеситель основного канала и смеситель канала АПЧГ). С помощью двух гетеродинов на частоте 130 МГц в смесителях формируется вторая промежуточная частота 30 МГц, которая разделяется на два канала: основной и АПЧГ. В работе приемной системы участвуют оба канала. Основной канал усиливает сигнал, поступающий от радиозонда, преобразует его и через коммутатор выдает системам: СОК, САУ, СОУ, САК. Канал АПЧГ, используя сигнал радиозонда, обеспечивает автоматическую подстройку частоты гетеродина СВЧ при изменении несущей частоты сигнала радиозонда. Приемный тракт канала АПЧГ содержит дополнительные схемы, позволяющие выделить сигнал ошибки, пропорциональный величине и знаку ухода промежуточной частоты 100 МГц относительно нормального значения, и сформировать напряжение управления гетеродином СВЧ. К таким схемам относятся детектор огибающей 100 Гц, усилитель 100 Гц, фазовый детектор, генератор 100 Гц, схема управления частотой гетеродина.

Для получения сигнала ошибки в канале АПЧГ осуществляется частотная модуляция сигнала гетеродина 130 МГц сигналом генератора 100 Гц. В результате этого любое изменение промежуточной частоты 100 МГц, вызванное изменением несущей частоты радиозонда, приводит к амплитудной модуляции с частотой 100 Гц сигнала на выходе регулируемого УПЧ 30 МГц. Глубина амплитудной модуляции зависит от величины ухода промежуточной частоты 30 МГц, а фаза огибающей 100 Гц определяет знак ухода промежуточной частоты 30 МГц.

На выходе фазового детектора образуется двухполярный сигнал ошибки, пропорциональный величине и знаку ухода частоты радиозонда. Этот сигнал в схеме управления частотой гетеродина преобразуется в управляющее напряжение, которое поступает в СВЧ гетеродин для подстройки его частоты. Подстройка сверхвысокой частоты гетеродина продолжается до тех пор, пока значение промежуточной частоты 100 МГц не станет равным нормальному значению.

Предусмотрены три режима управления частотой гетеродина СВЧ: ручная подстройка частоты (РПЧГ), автоматическая подстройка частоты (АПЧГ) и полуавтоматическая подстройка частоты (ПАПЧ). Выбор режима осуществляется переключателем «АПЧГ-РПЧГ-ПАПЧ» с пульта оператора.

Для обеспечения функционального контроля приемной системы предусмотрено устройство измерения коэффициента шума – имитатор сигналов радиозонда.

Коэффициент шума позволяет косвенно определить чувствительность приемной системы. Измерение основано на сравнении уров-

ней двух сигналов: уровня собственных шумов приемной системы и уровня сигнала шумового генератора. Чем больше разность между уровнями, тем выше чувствительность приемной системы.

Имитатор сигнала радиозонда (ИСПЗ) вырабатывает сигналы, близкие по параметрам к реальным сигналам радиозонда. ИСПЗ содержит СВЧ генератор, работающий на несущей частоте радиозонда, модулятор СВЧ генератора и схему формирования моделирующих сигналов, имитирующих параметры сигналов радиозонда.

#### 1.4. Система отображения информации (СОИ) Ш-40

Для оперативного отображения радиолокационной метеорологической и контрольной информации в аналоговой и цифровой форме на экране ВКУ, а также для регистрации начальной и текущей информации на АЦПУ и для выдачи результатов зондирования (аэрологических телеграмм) на телетайп предназначена система отображения информации (СОИ).

Информация, подлежащая отображению на экране ВКУ, по мультикомплексному каналу устройства ввода-вывода поступает в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), предназначенное для хранения и выдачи информации. Темп выдачи и отображения информации задается синхронизатором. По сигналам синхронизатора цифровая информация из ОЗУ поступает на преобразователь «код-видеосигнал знаков». Видеосигналы знаков далее поступают на смеситель, где смешиваются с видеосигналами, отражающими аналоговую информацию (рис. 1.5).

На ВКУ, помимо цифровой информации, отображается следующая аналоговая информация:

- положение антенны по углу места в виде штриха, перемещающегося по вертикальной шкале;
- положение антенны по азимуту в виде точки на круговой шкале, положение равносигнального направления в виде перекрестия;
- отклонение радиозонда от равносильного направления (сигнал ошибки) в виде точки относительно перекрестия.

Для формирования видеосигналов, отражающих аналоговую информацию, предусмотрены формователи шкал  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ , перекрытия и преобразователи «код-отметка  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ , сигналы ошибки (СО), определяющие отклонение от направления равносигнальной зоны». Сигналы формируются из цифрового кода, отметка отклонения от равносигнального направления состоит из сигналов ошибки. Регистрация информации на АЦПУ обеспечивается управляющим и печатающим устройствами.

Управляющее устройство обеспечивает формирование импульсов печати на АЦПУ. Для вывода информации на телетайп предусмотрено устройство печати в блоке Ш 64М.



## 1.5. Система определения координат (СОК) Щ-50

Система определения координат состоит из следующих функциональных частей:

- цифровой следящей системы измерения дальности;
- осциллографического индикатора;
- устройства считывания угловых координат.

Для определения наклонной дальности выполняется слежение по дальности за ответной паузой сигнала радиозонда и измерение временного интервала между импульсом запуска передатчика и ответным сигналом в режимах автосопровождения и ручного наведения. В СОК формируются эталонные частоты и синхронизирующие сигналы (импульс запуска) для работы аппаратуры комплекса. Ответный сигнал отображается на экране осциллографического индикатора в виде паузы в сигнале радиозонда. Одновременно ответный сигнал радиозонда поступает на дискриминатор, где происходит сравнение его положения во времени с положением стыка двух стробов. Полярность и величина напряжения на выходе дискриминатора (сигнал ошибки) зависят от относительного положения этих сигналов. Время задержки стробов относительно импульса запроса определяется числом, записанным в счетчике дальности, и связано со временем задержки электрического визира, который отображается в центре развертки индикатора в виде затемненного ее участка. Сигнал ошибки через преобразователь «напряжение—частота» поступает на счетчик дальности, и число, записанное в нем, изменяется, вследствие чего изменяется задержка стробов относительно импульса запроса, то есть сигнал ошибки уменьшается. Процесс происходит до тех пор, пока число, записанное в счетчике дальности, не будет соответствовать дальности до радиозонда. В режиме ручного наведения следящая система дальности разомкнута. Перемещение стробов осуществляется подачей на преобразователь «напряжение—частота» напряжения с устройства ручного наведения по дальности, расположенного на пульте оператора. Совместив на экране индикатора электрический визир с ответной паузой, оператор может считывать значение наклонной дальности до радиозонда на экране ВКУ.

Осуществляется преобразование угловых перемещений антенны в двоичный код и выдача данных о координатах радиозонда через мультиплексный канал в ЭВМ.

## **1.6. Система обработки и управление (СОУ) Щ-60**

Система обработки и управления решает следующие задачи:

- обрабатывает первичную радиолокационную и метеорологическую информацию;
- производит вычисление метеопараметров в соответствии с метеозадачей;
- рассчитывает аэрологические телеграммы;
- осуществляет обработку и выдачу в СОИ всей отображаемой и регистрируемой радиолокационной и метеорологической информации;
- вырабатывает команды по включению, изменению, выключению режимов аппаратуры в процессе подготовки и проведения зондирования;
- обеспечивает совместно с САК автоматический функциональный контроль.

Система состоит из ЭВМ и устройства ввода и вывода информации (УВВ) и оперирует с входной и выходной информацией в цифровой форме. Поскольку некоторые системы выдают информацию в аналоговой форме, в составе аппаратуры предусмотрены соответствующие аналого-цифровые преобразователи («вал-код», «длительность периода метеочастоты-код» и т.п.). Выполнение математических операций при решении задач по обработке, вычислению и управлению производится с помощью вычислительного устройства (ВЧУ) ЭВМ при использовании запоминающих устройств ДЗУ, ОЗУ (долговременное и оперативное запоминающее устройство соответственно). Последовательность выполнения задач, счет текущего и полетного времени в ЭВМ определяются интервалами времени, которые формируются таймером блока Щ 61М. Вывод выходных параметров и команд, ввод в нее необходимых данных осуществляется с пульта оператора, в котором размещено устройство управления и сигнализации. При автоматическом управлении аппаратурой команды в устройство управления из СОУ поступают через преобразователь команд. При ручном управлении связь устройства управления с системами аппаратуры осуществляется с помощью ЭВМ через устройство сопряжения блока Щ 64М.

## **1.7. Система управления антенной (СУА) Щ-70**

Система управления антенной (СУА) предназначена для изменения положения антенны по азимуту и углу места, то есть для ручного наведения антенны на радиозонд, автозахвата радиозонда и автоматического слежения за ним в полете.

СУА состоит из канала управления антенной по азимуту  $\alpha$ , канала управления антенной по углу места  $\varepsilon$ , устройства управления, индикации и блокировки.

Конструктивно система выполнена в виде двух блоков: Щ-71 – блока управления антенной по  $\alpha$  и  $\varepsilon$ , и Щ-72 – антенной колонки.

Каналы угла места и азимута работают независимо друг от друга и выполнены по одной схеме. Для примера на рис. 1.6 приведена структурная схема канала СУА (канала азимута,  $\alpha$ ).

В следящей системе используется радиосигнальный метод сопровождения радиозонда. При отклонении радиозонда от равносигнального направления возникает сигнал ошибки в виде модуляции сигнала радиозонда огибающей 37 Гц. Глубина модуляции и фаза определяют величину и направление отклонения радиозонда. В канале угловой автоматики огибающая 37 Гц выделяется и поступает в СУА на выходы фазовых детекторов (ФД) каналов азимута и угла места. На вторые входы ФД подается с генератора опорных напряжений (ГОН) два опорных напряжения  $U_{\text{он}\alpha}$ ,  $U_{\text{он}\varepsilon}$ , сдвинутые по фазе в каналах на  $90^\circ$ . ФД вырабатывает сигнал ошибки (СО) пеленга в канале азимута по горизонтальной оси, в канале угла места – по вертикальной оси. Сигнал ошибки представляет собой выпрямленное напряжение 37 Гц положительной или отрицательной полярности, амплитуда которого определяет величину отклонения по одной из координат, а полярность – направление отклонения (вверх–вниз, влево–вправо).

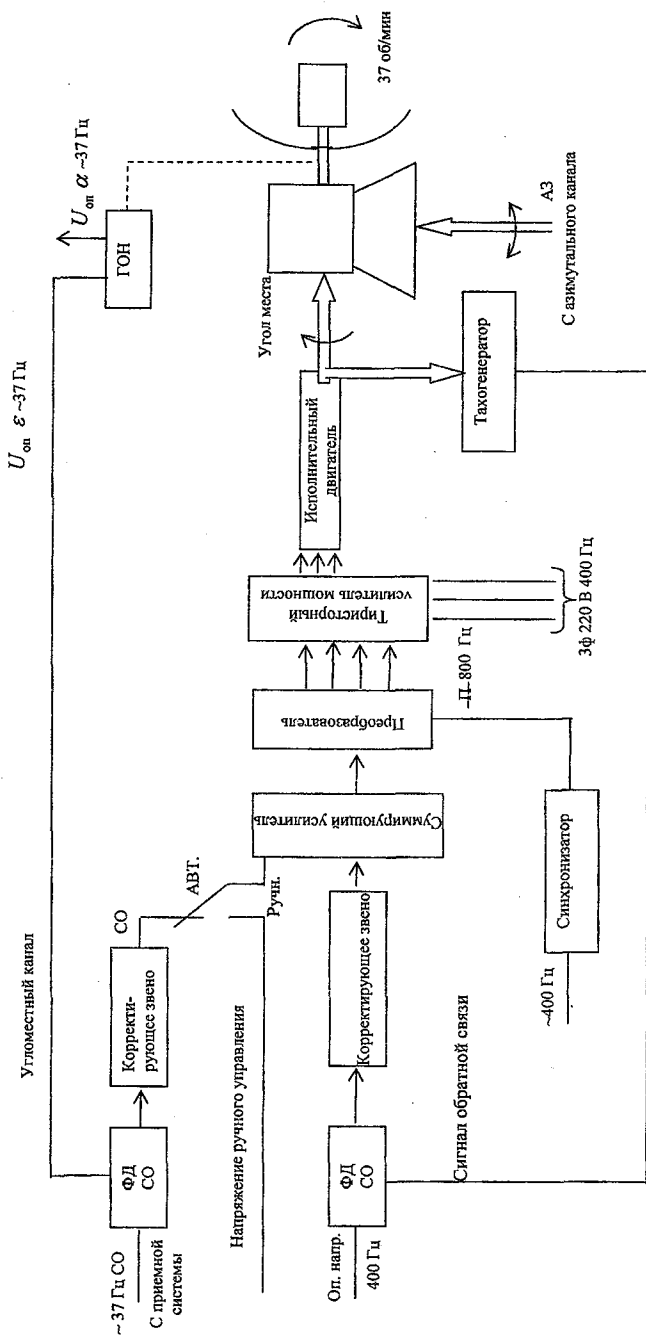


Рис. 1.6. Структурная схема системы управления антенной. Часть блока Ц-71.

Сигнал СО поступает на корректирующее звено, формирующее полосу пропускания следящей системы: широкую, равную 0,8–1 Гц, или узкую, равную 0,1–0,3 Гц. На начальном участке сопровождения, когда угловые перемещения радиозонда, находящегося в полете, максимальны, следящая система работает с широкой полосой. С дальности приблизительно 2500 м происходит переключение системы на работу с узкой полосой пропускания, что позволяет уменьшить колебания антенны и повысить точность сопровождения по угловым координатам.

Предусмотрены следующие режимы управления антенной: режим ручного управления, используемый для наведения антенны на радиозонд перед переходом на автосопровождение; режим автосопровождения, используемый для точного определения угловых координат.

В системе используется радиосигнальный метод сопровождения радиозонда. При отклонении радиозонда от равносигнального направления формируется сигнал ошибки по угловым координатам с частотой, равной частоте сканирования антенной головки. Для выделения из сигнала ошибки составляющих по азимуту и углу места применены фазовые детекторы и генератор опорных напряжений, вращающийся синхронно с антенной головкой. ГОН вырабатывает два синусоидальных напряжения, сдвинутых по фазе относительно друг друга на  $90^\circ$ .

С помощью этих опорных напряжений сигнал ошибки в фазовых детекторах преобразуется в два управляющих напряжения, пропорциональных ошибкам отклонения отдельно по азимуту и углу места. Управляющие напряжения поступают на входы тиристорных усилителей мощности. На усилители поступают также сигналы обратной связи с выходом тахогенераторов азимута и угла места (после фазового детектирования), что обеспечивает необходимые динамические характеристики следящей системы. С выходов усилителей мощности напряжения подаются на дополнительные двигатели приводов антенны по азимуту и углу места. Таким образом, осуществляется автосопровождение радиозонда по угловым координатам. Управляющие напряжения с фазовых детекторов поступают также в СОИ на преобразователь «напряжение СО – направление равносигнальной зоны». С выходными валами приводов азимута и угла места связаны датчики угловых положений  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ , напряжения с которых подаются в СОК на преобразователи «вал–код», выдающие в цифровом коде положение антенны по азимуту и углу места. Положение антенны в цифровом коде передается в СОУ и СОИ. В режиме ручного управления следящая система разомкнута, и в каналы азимута и угла места поступают два независимых друг от друга напряжения с устройства ручного наведения по  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ , расположенного на пульте оператора.

Система электропитания Ш-80 предназначена для обеспечения всех систем необходимыми для нормальной работы напряжениями 220



В 3ф 400 Гц, которые вырабатываются специальными преобразователями ПСЧ-15 или ВПЛ-30.

### **1.8. Система автоматического контроля (САК) Ш-90**

Она предназначена для проведения автоматического функционального контроля аппаратуры. Проверка всех систем РЛС осуществляется по отдельным программам СОУ. Переход к проверке каждой системы производится автоматически. Контрольная информация отображается на ВКУ. Если контролируемая система исправна, рядом с индексом системы высвечивается сообщение «ИСПР», если система неисправна – «НЕИСПР». Одновременно осуществляется допусковый контроль параметров аппаратуры, во время которого проверяют, находится ли контролируемый параметр в пределах допуска. Контрольные точки, с которых снимается информация о контролируемых параметрах, подключены к входу «САК». Контролируемые параметры поступают как в цифровой, так и в аналоговой форме. Параметры в аналоговой форме (напряжение, частота и т.п.) поступают на преобразователь «аналог–код», где преобразуются в цифровой код и поступают в ЭВМ, где происходит сравнение поступивших параметров с ожидаемым и вынесение решения о состоянии контролируемой системы. По окончании функционального контроля результаты его печатаются на АЦПУ. Результаты контроля связи СОУ с телетайпа в виде контрольного текста печатаются на бумажной ленте и перфоленте телетайпа.

## **Глава 2. Устройство и принцип работы радиозонда МРЗ-3А**

В радиозондах МРЗ-3А информация о значениях температуры и относительной влажности содержится в параметрах радиотелеметрического сигнала. Сигнал содержит последовательность радиоимпульсов, следующих с частотой модуляции (суперации) и имеющих в качестве частоты заполнения несущую частоту радиозонда. Радиозонд выполнен на современной элементной базе и совместно с 1Б44 обеспечивает производство температурно-ветрового радиозондирования атмосферы с автоматической обработкой данных радиозондирования. Технические характеристики радиозонда МРЗ-3А:

1. Несущая частота суперрегенеративного приемопередатчика в рабочих условиях  $1782 \pm 8$  мГц.

2. Плотность потока энергии излучения передатчика радиозонда на расстоянии 2 м под углом  $55^\circ$  относительно вибратора не менее  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

3. Чувствительность радиозонда запросным радиоимпульсом 1Б44 длительностью  $1_{-0,6}^{+0,2}$  мкс, частотой следования от 400 до 900 Гц не более 60 Дб.

4. Частота следования суперлирующих импульсов в рабочих условиях должна быть в пределах 775-825 кГц.

5. Девиация частоты следования суперлирующих импульсов должна быть в пределах от 11 до 17 кГц.

6. Диапазон изменения периода следования импульсов измерительного преобразователя в рабочих условиях в опорном канале ( $T_{оп}$ ) от 1445 до 1785 мкс, в температурном канале ( $T_t$ ) от 1560 до 5888 мкс, в канале влажности ( $T_U$ ) от 1525 до 2565 мкс.

7. Диапазон изменения длительности выходных импульсов в опорном канале ( $T_{оп}$ ) от 200 до 350 мкс, в каналах метеоинформации ( $T_M$ ) от 435 до 765 мкс. Разность значений длительности выходных импульсов формирователем в опорном канале и каналах метеоинформации для конкретного радиозонда не менее 180 мкс.

8. Диапазон изменения канальных интервалов для радиозонда МРЗ-3А (ЗА6) от 6,7 до 7,8 с, для радиозондов МРЗ-3А(ЗА8) – от 5,1 до 5,4 с.

9. Очередность следования каналов в цикле передачи телеметрических сигналов: опорный, температурный, влажностный, температурный.

10. Источником питания радиозонда является батарея 28 МХМ-01, которая обеспечивает рабочие условия в течение 120 мин. В цепи питания 27 В  $45_{-10}^{+5}$  мА, в цепи питания 9,5 В  $30_{-10}^{+7}$  мА.

11. Диапазон измерения температуры от  $-90$  до  $+50^\circ\text{C}$ .

12. Диапазон изменения относительной влажности воздуха от 15 до 98 % при изменении температуры воздуха от  $-40$  до  $+50^\circ\text{C}$

## 2.1. Метрологические характеристики датчиков температуры и влажности радиозонда МРЗ-3А

### 2.1.1. Датчики температуры

Датчиком температуры является полупроводниковый терморезистор ММТ-1. Статистические характеристики преобразователя (СХП) представляют зависимость выходного информационного параметра (сопротивление  $R$ ) от входного информационного параметра (темпера-

туры  $T$ ) при нормальных условиях. СХП датчиков температуры радиозондов получают путем эмпирической градуировки датчиков на заводе с помощью специального термостата. СХП датчиков температуры радиозондов МРЗ, МАРЗ представляются в аналитическом виде. Известен ряд функций, аппроксимирующих температурную зависимость сопротивления полупроводниковых, полукристаллических терморезисторов, представленных в табл. 2.1.

В работах по исследованию полупроводниковых терморезисторов показано, что функции формул 1, 4, 6 в табл. 2.1 имеют неудовлетворительную погрешность аппроксимации. Среднеквадратическая погрешность  $\delta$  равна для  $\delta_1 = 0,1336 K$ ,  $\delta_4 = 1,552 K$ ,  $\delta_6 = 3,919 K$ .

Таблица 2.1.

№	Прямая функция	Обратная функция
1	$R = A \exp(B/T)$	$T = B / \ln R / A$
2	$R = F \cdot T^c \exp(B/T)$	—
3	$R = A \exp(B/T + C)$	$T = (B / \ln B/A) - C$
4	$R = A \exp(A \cdot T + B/T)$	$T = \ln R - \sqrt{(\ln^2 R - 4AB)} / 2A$
5	$R = \exp^3 \sqrt{-1/2C(A-1/T)} + \sqrt[3]{(B/3C)^3 + [1/2C(A-1/T)]^2}$	$T = 1/A + B \ln R + C \ln^3 R$
6	$R = A/(T+C) - B$	$T + A/(B+R) - C$
7	$R = A \exp(B/T + C/T^2)$	$T = B + \sqrt{(B^2 + 4C \ln B/A) / 2 \ln R/A}$
8	$R = A \exp(B/T - C \cdot T)$	$T = -\ln R/A + \sqrt{(\ln^2 R/A - 4BC/2)}$

В качестве СХП датчиков температуры радиозондов МРЗ-3А, МАРЗ-2 используется формула (3) табл. 2.1  $\delta_3 = 0,084 K$ . Таким образом, статистическая характеристика датчика температуры представлена в виде

$$R = A \exp(B/T + C). \quad (2.1)$$

Параметры  $A$ ,  $B$ ,  $C$  определяются для конкретных датчиков температуры в результате градуировки. Коэффициент  $A$  определяет местоположение СХП в системе координат  $(T, R)$ . Коэффициент  $B$  определяет чувствительность терморезистора, коэффициент  $C$  определяет степень нелинейности СХП.

Минимальную трудоемкость градуировки обеспечивает метод выбранных точек, при котором количество точек градуировки должно быть равно количеству параметров СХП датчика (базовые точки или

узлы интерполяции). При известных координатах СХП датчика температуры в трех точках  $(T_1, R_1)$ ,  $(T_2, R_2)$ ,  $(T_3, R_3)$  параметры  $A$ ,  $B$ ,  $C$  можно найти из системы уравнений:

$$\begin{aligned} R_1 &= A \exp B / (T_1 + C), \\ R_2 &= A \exp B / (T_2 + C), \\ R_3 &= A \exp B / (T_3 + C). \end{aligned} \quad (2.2)$$

Решение уравнения (2.2) имеет вид

$$\begin{aligned} C &= (mT_2 - nT_3) / (n - m), \\ B &= (\ln R_1 / R_2) / (1/T_1 + C - 1/T_2 + C), \\ A &= R_1 \exp(-B / T_1 + C), \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$m = R_2 / R_1 (T - T_3), \quad n = \ln(R_3 / R_1) (1 - T_2) \quad \text{где} \quad (2.4)$$

После нахождения  $A$ ,  $B$ ,  $C$  определяется температура:

$$t_1 = [B / \ln(R_1 / A)] - (C + 273,15), \quad (2.5)$$

где  $t_1$  – значение температуры,  $^{\circ}C$ .

Погрешность аппроксимации вдоль температурной шкалы не остается постоянной. Выбраны точки  $(-65^{\circ}C, -15^{\circ}C, +35^{\circ}C)$ , в которых среднеквадратическое отклонение имеет минимум. Параметры СХП датчиков температуры вычисляются с погрешностью  $\Delta A = 1 \cdot 10^{-5}$  Ом,  $\Delta B = 0,1K$ ,  $\Delta C = 0,01K$ .

В этом случае точность вычисления параметров  $A$ ,  $B$ ,  $C$  не превышает  $0,01^{\circ}C$ .

Диапазон изменения сопротивления индивидуальных СХП датчика температуры  $R_{+50} \geq 3$  кОм,  $R_{-80^{\circ}C} \leq 570$  кОм. Расчет значений температуры  $t^{\circ}C$  производится по средним значениям периодов за каналный интервал по формуле:

$$t = B / \ln[\bar{Q}_r \cdot R_{01} / \bar{Q}_{on} - R_{02} / A] - C - 273,15,$$

где  $\bar{Q}_{on}, \bar{Q}_r$  – среднее за каналный интервал значений периодов повторения опорной, температурной частоты;  $R_{01}, R_{02}$  – паспортные данные радиозонда в соответствии с этикеткой температуры радиоблока.

### 2.1.2. Датчики влажности

Датчиком влажности служит мембрана животной или синтетической пленки толщиной в среднем 20 мкм. Увеличение поверхностных сил обусловлено уменьшением радиуса кривизны менисков воды. Недостаток – разброс сопротивления датчика влажности за счет измене-

ния степени кривизны и изменения характеристик преобразования. Определение влажности проводится с использованием уравнения аппроксимации

$$U = K + NR_U + MR_U, \quad (2.6)$$

$$R_U = \left( -N - \sqrt{N^2 - 4M(K - U)} \right) / 2M, \quad (2.7)$$

где  $K, N, M$  – коэффициенты аппроксимации,  $R_U$  – величина сопротивления датчика влажности,  $R_0 \geq 2$  кОм при влажности 100 %,  $R_U \leq 15$  кОм при влажности 10 %.

Случайная средняя квадратическая погрешность в диапазоне температур от  $+20^\circ\text{C}$  до  $-20^\circ\text{C}$  мало зависит от температуры и составляет 4 %. При температуре  $-50^\circ\text{C}$  она увеличивается до 11 % и в среднем составляет 6 %.

Расчет значений влажности производится по средним значениям периодов за каналный интервал по формуле

$$U = K + N(\bar{Q}_U \cdot R_{01} / \bar{Q}_{\text{он}} - R_{02}) + M(\bar{Q}_U \cdot R_{01} / \bar{Q}_{\text{он}} - R_{02})^2, \quad (2.8)$$

где  $\bar{Q}_{\text{он}}, \bar{Q}_U$  – средние за каналный интервал значения периодов повторения опорной и влажностной частоты,  $R_{01}, R_{02}, K, N, M$  – паспортные данные радиозонда в соответствии с этикеткой датчика влажности радиоблока.

Наряду с деформационным датчиком влажности разработан и используется аэрологический преобразователь влажности АПВ. Принцип действия интегрального чувствительного элемента основан на изменении электрофизических параметров (проводимости, диэлектрической проницаемости) влагочувствительной пленки при обратимой (физической) сорбции паров воды из окружающей среды. На рис. 2.1 представлены чувствительные элементы датчиков влажности.

Элементы датчика влажности изготавливаются, как правило, на диэлектрической подложке (ситалл или поликор). Electroды выполнены из никеля, золота или платины толщиной 0,2 – 0,3 мкм. Electroды покрыты слоем сорбента. В комбинированной структуре (рис. 2.1б) на поверхности диэлектрической подложки размещены два электрода, разделенные тонким (10–40 мкм) зазором.

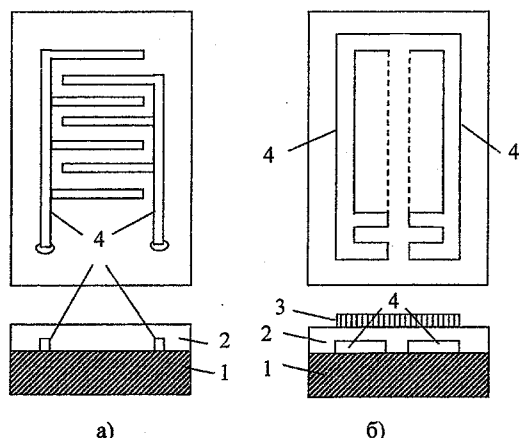


Рис. 2.1. Чувствительные элементы датчика влажности.  
 1 – подложка; 2 – слой сорбента; 3 – влагопроницаемый слой золота;  
 4 – электроды.

Поверх электродов располагается слой сорбента, на поверхность которого напыляется тонкий влагопроницаемый слой золота. В простейшем виде эквивалентная схема такого элемента представляет собой две последовательно (через небольшое сопротивление) соединенные емкости. Такие датчики являются наиболее простыми в технологии изготовления. Однако обладают незначительной эффективной емкостью. Порог чувствительности, точность, диапазон измерений, постоянная времени таких датчиков в основном определяется физико-химическими и, прежде всего, адсорбционными свойствами применяемого сорбента и технологией формирования пленки сорбента.

Емкость аэрологического преобразования влажности (АПВ) 100–150 пФ, постоянная времени – 15 с, размер подложки – 7,5–5,0 мм.

АПВ прошел государственные испытания и признан в качестве датчика для аэрологического измерения влажности.

## 2.2. Принцип работы радиоблока радиозонда МРЗ-3А

В радиозонде МАРЗ-2 используется амплитудно-импульсная модуляция для измерения температуры и влажности, в радиозонде МРЗ-3А используется частотная модуляция частоты 600 или 800 кГц. Информация о значениях температуры и относительной влажности атмосферы содержится в параметрах радиотелеметрического сигнала, представляющего собой последовательность радиоимпульсов, следующих с частотой суперации и имеющих в качестве частоты заполнения несущую частоту передатчика радиозонда 1780 мГц (1680 мГц).

Последовательность суперирующих импульсов частотой 600 и 800 кГц являются частотно-манипулированными сигналами, частота следования которых принимает два значения, отличающиеся на величину девиации (7–12 кГц). Эти изменения определяются воздействием последовательности импульсов вторичного телеметрического преобразователя (ВТП). Период повторения импульсов ВТП является параметром, в значении которого закодирована информация о метеопараметрах атмосферы.

Передатчик МРЗ-3А работает в режиме супергенеративного приемопередатчика, вырабатывая ответный сигнал на запросный импульс 1Б44, используемый для измерения наклонной дальности радиозонда. Ответ МРЗ-3А состоит из первичной и вторичной реакции на запросный сигнал и представляет последовательность из двух радиоимпульсов, первый из которых увеличен, а второй уменьшен по длительности относительно всех остальных импульсов, излучаемых радиозондом.

Структурная схема радиозонда МРЗ-3А приведена на рис.2.2. Датчики температуры и влажности (1, 2) осуществляют первичное преобразование информации о температуре и влажности воздуха в электрическое сопротивление. Электронный коммутатор (3) предназначен для поочередного подключения к первичному измерительному преобразователю (ПИИ) датчиков температуры, влажности и опорного сопротивления. Кроме того, электронный коммутатор осуществляет переключение длительности выходных импульсов формирователя импульсов радиозондов и исключает канал влажности при отсутствии датчика влажности.

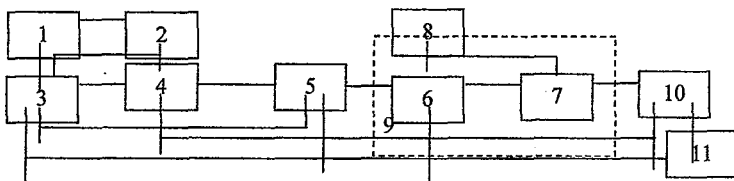


Рис. 2.2. Структурная схема малогабаритного радиозонда МРЗ-3А.

1 – датчик температуры; 2 – датчик влажности; 3 – электронный коммутатор; 4 – вторичный телеметрический преобразователь (ВТП); 5 – формирователь импульсов радиозондов; 6 – генератор суперирующих импульсов (ГСИ); 7 – сверхвысокочастотный автогенератор; 8 – антенна; 9 – супергенеративный приемопередатчик; 10 – стабилизатор напряжения и тока; 11 – батарея 28 МХМ-0,1.

Преобразование напряжения датчиков в периоды следований импульсов для «базового» вторичного телеметрического преобразователя (ВТП) имеет вид:

$$Q = 2\tau_x \cdot K_{c2} / K_{c1} + 2\tau_x \cdot 1 / (K_{c1} \cdot U_{yc}) \cdot U_{ин(U_x, U_{ин})}, \quad (2.9)$$

где  $\tau_x = C \cdot R_{\text{иц}(R_x)}$  – постоянная времени интегратора,  
 $R_{\text{иц}(R_x)}$  – сопротивление измерительной цепи (ИЦ( $R_x$ )),  
 $C$  – емкость,  
 $K_{c1} = R_{c2} / (R_{c1} + R_{c2})$ ,  $K_{c2} = R_{c1} / (R_{c1} + R_{c2})$  – коэффициенты передачи резисторного сумматора,  
 $U_{\text{yc}}$  – выходное напряжение устройства сравнения,  
 $U_{\text{иц}(U_x, U_{\text{МК}})}$  – выходное напряжение измерительной цепи  $U_{\text{иц}(U_x, U_{\text{МК}})}$ ,  
 $(\text{ИЦ}_{(U_x, U_{\text{МК}})}^{\text{м}})$  – выходное напряжение измерительной цепи ИЦ $_{(U_x, U_{\text{МК}})}^{\text{м}}$ .

Структурная схема вторичного телеметрического преобразователя представлена на рис.2.3.

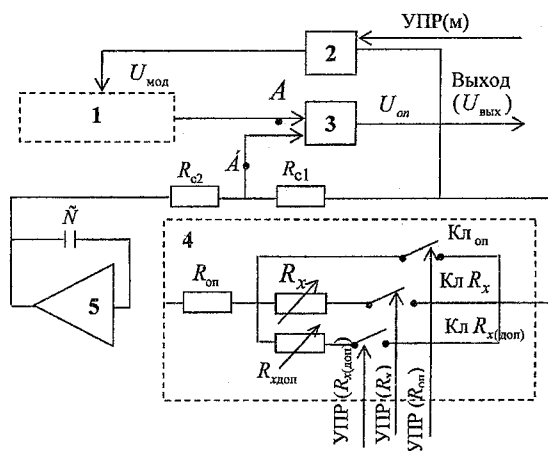


Рис. 2.3. Структурная схема вторичного телеметрического преобразователя. 1 – измерительная цепь ИЦ $_{(U_x, U_{\text{МК}})}^{\text{м}}$ ; 2 – логический элемент; 3 – устройство сравнения и интегратор; 4 – измерительная цепь ИЦ( $R_x$ ); 5 – операционный усилитель

Измерительная цепь ИЦ $_{(U_x, U_{\text{МК}})}^{\text{м}}$  осуществляет промежуточное преобразование выходных параметров датчиков либо в виде низкоомного электрического сопротивления, либо дифференциального напряжения мостовой резисторной цепи в напряжении  $U_x$ . На выходе этой измерительной цепи формируется также напряжение мультипликативной коррекции  $U_{\text{МК}}$  (для исключения мультипликативной составляющей погрешности преобразования).



Измерительная цепь ИЦ<sub>(R<sub>x</sub>)</sub>, используется для преобразования выходного высокоомного сопротивления резисторных датчиков в измерительных цепях радиозондов МРЗ-3, МАРЗ-2.

Рассмотрим работу ВТП при преобразовании сопротивления измерительной цепи ИЦ<sub>(R<sub>x</sub>)</sub>, состоящей из высокоомных резисторных датчиков. Выключение не используемой в этом случае измерительной цепи ИЦ<sup>м</sup><sub>(U<sub>x</sub>, U<sub>мк</sub>)</sub> производится путем автоматического выключения модуляции у выходного напряжения (U<sub>x</sub> либо U<sub>мк</sub>) и осуществляется путем подачи ПИП соответствующего логического уровня сигнала управляющего напряжения (УПР) (м) на вход логического элемента (ЛЭ).

Напряжение постоянного уровня, равное по величине амплитуде напряжения (U<sub>x</sub> либо U<sub>мк</sub>) поступает на вход устройства сравнения (точка А схемы) и воспринимается как некоторое синфазное напряжение смещения, которое не оказывает влияния на период выходных колебаний ВТП. При отсутствии необходимости в низкоомных датчиках, выходные параметры которых преобразуются измерительной цепью ИЦ<sup>м</sup><sub>(U<sub>x</sub>, U<sub>мк</sub>)</sub> последняя вместе с логическим элементом (2) может быть исключена из состава ВТП. При этом вход устройства сравнения точка А схемы подключается к «нулевому» потенциалу схемы ВТП  $U_{\text{вх}(U_x, U_{\text{мк}})} = 0$ .

При включении сигнала управления «УПР(R<sub>x</sub>)» ключа «Кл R<sub>x</sub>» периоды выходных сигналов ВТП (при ИЦ<sup>м</sup><sub>(U<sub>x</sub>, U<sub>мк</sub>)</sub> = 0) равны

$$Q = 2(K_{c2} / K_{c1}) \cdot C \cdot R_{\text{мк}(R_x)}. \quad (2.10)$$

При замыкании ключа Кл<sub>он</sub> периоды повторения импульсов «опорного» сигнала на выходе ВТП равны

$$Q_{\text{он}} = 2(K_{c2} / K_{c1}) \cdot C \cdot R_{\text{он}}. \quad (2.11)$$

При замыкании ключа Кл R<sub>x</sub> либо дополнительного датчика Кл R<sub>x(лон)</sub> в цепь интегратора включается последовательно соединенные два сопротивления, датчик R<sub>x</sub> (либо R<sub>x(лон)</sub>) и опорное сопротивление R<sub>он</sub>. На выходе ВТП формируется опорный сигнал с периодом повторения импульсов:

$$Q_{R_x} = 2(K_{c2} / K_{c1}) \cdot C \cdot (R_{\text{он}} + R_x). \quad (2.12)$$

Выходным информационным параметром ВТП при образовании сопротивления датчика R<sub>x</sub> (либо R<sub>x(лон)</sub>) является соотношение:

$$Y_{R_x} = Q_{\text{он}} / Q_{R_x} = R_{\text{он}} / (R_{\text{он}} + R_x) \quad (2.13)$$

Примером реализации ВТП на основе описанной «базовой» структуры с использованием только одной измерительной цепи ИЦ(R<sub>x</sub>)

является вторичный телеметрический преобразователь радиозонда МРЗ-3(ПМ), принципиальная схема которого приведена на рис. 2.4.

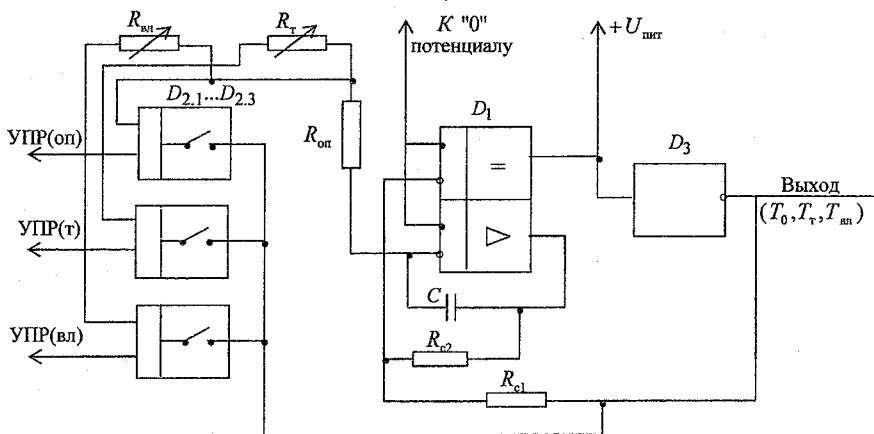


Рис. 2.4. Принципиальная схема вторичного телеметрического преобразователя радиозонда МРЗ-3 (ПМ)

В качестве устройства сравнения и интегратора в нем используется микросхема  $D_1$  типа LM392, где совмещены в одном корпусе компаратор и операционный усилитель. Для дополнительного нормирования амплитуды импульсов к его выходу подключается комплексная микросхема операционной системы (КМОП)-инвертор  $D_3$ . В качестве ключевых элементов  $D_{2.1}...D_{2.3}$  используются аналоговые КМОП-коммутаторы типа СД 4066. По сравнению с используемым в радиозонде МРЗ-3А измерительным преобразователем на КМОП-инверторах в указанной схеме ВТП обеспечивается линейность характеристики преобразования сопротивления и снижение питания данной схемы ВТП при необходимости до 3–5 В. Дополнительным достоинством схемы ВТП является также исключение постоянной составляющей напряжения, действующего в цепи резисторных датчиков. Это особенно важно при использовании в радиозондах интегральных тонкопленочных датчиков.

Преобразование емкости в частоту электрических колебаний осуществляется с помощью отдельного устройства, получившего наименование аэрологический преобразователь влажности (АПВ).

При использовании в качестве датчика элемента NS-03M осуществляется преобразование емкости в частоту с помощью аэрологиче-

ского преобразователя АПВ. Изменение емкости в АПВ меняется в пределах 100–150 пФ с чувствительностью датчика (~0,3 пФ/1%).

В радиозонде МРЗ-3М используется емкостный чувствительный элемент влажности HS-03М и резистивный «высокоомный» датчик температуры на основе терморезистора ММТ-1.

Принцип работы АПВ представлен на рис. 2.5.

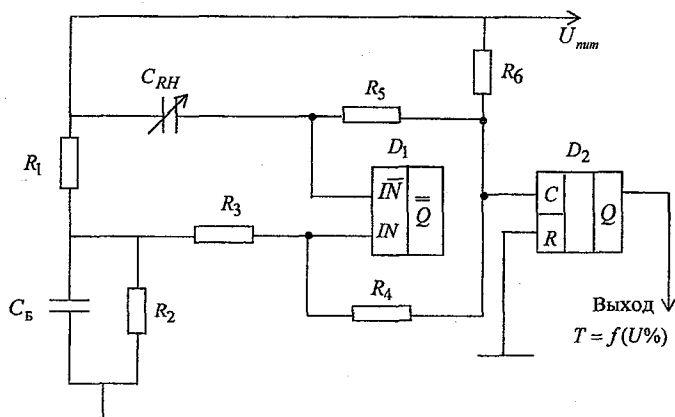


Рис. 2.5. Принципиальная схема преобразователя влажности АПВ  
 $D_1$  – дифференциальный компаратор К554СА3;  $D_2$  – делитель частоты типа К5561ИЕ16;  $C_{RH}$  – интегральный пленочный датчик

Развертывающий преобразователь включает в себя измерительную цепь,  $C_{R_4}$  резистор  $R_5$ , опорную цепь (резисторы  $R_3$ ,  $R_4$ ) и устройство сравнения на микросхеме  $D_1$ , которая выполняет роль дифференциального компаратора типа К554СА3.

Частотные колебания развертывающего преобразователя определяются параметрами измерительной и опорной цепей и выбираются такими, чтобы уменьшить влияние «паразитных» шунтирующих сопротивлений как чувствительного элемента влажности, так и схемы преобразователя.

При заданных параметрах емкости чувствительного элемента частота выходных колебаний выбрана в пределах 15–20 кГц. Поскольку такая величина частоты колебаний не может передаваться по каналу телеметрии системы 1Б44–МРЗ-3(ПМ), для стыковки с радиозондом в состав АПВ введен делитель частоты, выполненный на микросхеме  $D_2$

типа К561ИЕ16, которая обеспечивает снижение выходных частот АПВ в  $2^N$  раз ( $N \leq 14$ ) до требуемых пределов изменения величины периода повторения импульсов телеметрического сигнала радиозонда в канале влажности 2–20 МС.

Подключение преобразователя АПВ к вторичному телеметрическому преобразователю резисторных датчиков радиозонда может быть осуществлено двумя способами.

В первом случае осуществляется в коммутации выходов преобразователей. Преобразователи в этом случае полностью независимы друг от друга.

Второй способ подключения АПВ к вторичному телеметрическому преобразователю используется в радиозонде МРЗ-ЗАМ. Схема подключения представлена на рис.2.6. Его особенностью является использование для передачи телеметрического сигнала влажности «базового» ВТП резисторного датчика, который в данном случае переводится в «ждущий» режим.

Перевод этот осуществляется путем «размыкания» ключей датчика температуры  $K_{лТ}$  и опорного резистора  $K_{л_{оп}}$ , а выходные колебания АПВ через замкнутый ключ  $K_{л_{вл}}$  в течение канального интервала влажности поступают через дополнительный резистор  $R_{доп}$  на вход операционного усилителя (ОУ) интегратора и напрямую транслируются на выход ВТП. При выборе  $R_{доп} \ll R_{оп}$  интегрирующая цепочка  $CR_{доп}$  обеспечивает в «ждущем» режиме устойчивость запуска ВТП.

Формирователь импульсов радиозонда МРЗ-ЗА (рис. 2.2) служит для увеличения длительности импульсов, передаваемых радиоканалу, что позволяет сузить длительность спектра сообщения и тем самым повысить помехоустойчивость радиотелеметрического канала. Одновременно формирователь вырабатывает признак канала системы радиозондирования 1Б44–МРЗ-ЗА в передаваемое сообщение путем переключения длительности выходных импульсов формирователя, осуществляемых электронным коммутатором одновременно с переключением каналов между информацией и опорным каналом.

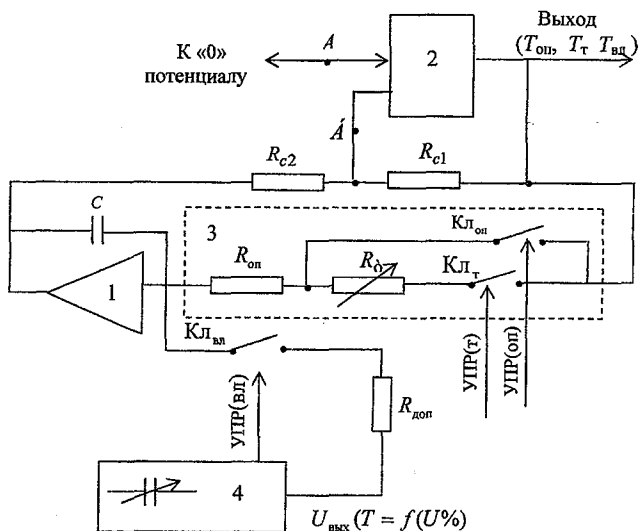


Рис. 2.6. Схема подключения аэрологического преобразователя влажности (АПВ) к «базовой» структуре вторичного телеметрического преобразователя радиозонда. 1 – операционный усилитель; 2 – устройство сравнения; 3 – измерительная цепь ИЦ( $R_x$ ); 4 – аэрологический преобразователь влажности.

Сверхгенеративный приемопередатчик (СПП) радиозонда состоит из автогенератора сверхвысокой частоты (СВЧ–АГ), генератора суперирюющих импульсов (ГСИ), высокочувствительного приемника запросных радиоимпульсов 1Б44 и активного ответчика по каналу дальности. Для питания СВЧ–АГ используется стабилизатор среднего тока коллектора СВЧ транзистора и стабилизатор напряжения питания цепи коллектора СВЧ транзистора. На рис. 2.7 представлена структурная схема сверхгенеративного приемопередатчика радиозонда МРЗ-3А.

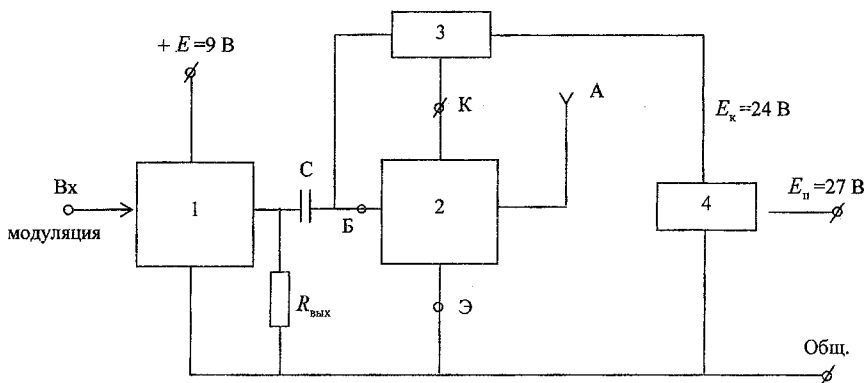


Рис. 2.7. Структурная схема сверхрегенеративного приемопередатчика радиозонда МРЗ-3.

1 – генератор суперирующих импульсов; 2 – сверхвысокочастотный автогенератор (СВЧ-АГ); 3 – стабилизатор тока; 4 – стабилизатор напряжения; А – антенна.

Инерционная цепь автосмещения образуется выходным сопротивлением  $R_{\text{вых}}$  генератора суперирующих импульсов (ГСИ), конденсатором  $C$  и эквивалентным выходным сопротивлением СВЧ-АГ.

Управление СВЧ-АГ суперирующим сигналом должно осуществляться генератором импульсов с низким выходным сопротивлением  $R_{\text{вых}}$ . Для биполярного СВЧ транзистора М45302 не обеспечивается устойчивость режима работы по постоянному току. Поэтому в структурную схему СПП одновременно введены стабилизатор напряжения питания цепи коллектора (4) и стабилизатор тока коллектора (3). В настоящее время разработаны различные варианты электрической схемы СПП, в том числе на микросхемах широкого применения, однако базовые узлы СПП сочетаются в том же функциональном применении, как было рассмотрено ранее.

Формирование телеметрического сигнала радиозонда представляет собой СВЧ сигнал с несущей частотой 1782 мГц и модулирующими частотами, которые являются носителями телеметрической и радиолокационной информации. Телеметрическая информация заложена в периодах следования частотных изменений суперирующей частоты радиозонда  $800 \pm 11$  кГц. Сигнал суперирующей частоты представляет двухчастотную последовательность прямоугольных импульсов (меандр), кодирующих телеметрический сигнал. Девиация частоты составляет  $\pm 8-17$  кГц.

Дальность до радиозонда определяется по временному интервалу между запросным импульсом и ответной паузой в сигнале радиозонда. Ответные паузы образуются при облучении радиозонда запросными импульсами, следующими с частотой 457 Гц.

Выходной сигнал ВТП состоит из повторяющихся кадров телеметрии. Кадр содержит 4 следующих друг за другом временных (канальных) интервала: временной интервал опорной частоты, временной интервал температуры, временной интервал влажности, временной интервал температуры. За время канального интервала (5 с) пакет параметров передается 125 раз, а за время кадра радиозонда МРЗ-3А (20 с) пакет параметров передается 500 раз. Период повторения сигнала каждого временного интервала соответствует значению соответствующего метеопараметра.

Значения периодов телеметрического сигнала для каналов температуры, влажности и опорного сопротивления представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

	Периоды для соответствующих канальных интервалов, мкс					
	опорный		температуры		влажности	
параметр	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_1$
значение	1449-1785	200 ÷ 350	1562 ÷ 58820	435 ÷ 765	1526 ÷ 2564	435 ÷ 765

Структурная характеристика телеметрического сигнала радиозонда МРЗ-3А представлена на рис.2.8.

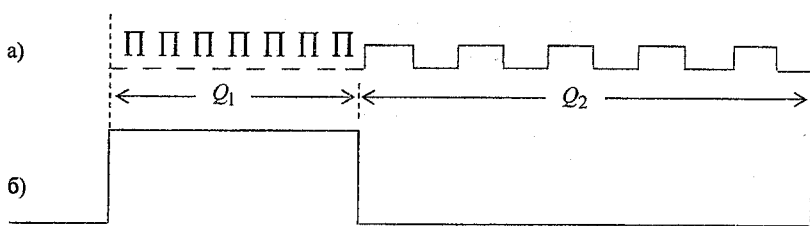


Рис.2.8. Структурная характеристика телеметрического сигнала радиозонда МРЗ-3А:

- а) { суперирующая частота  $800 \pm 25$  кГц;  
 б) {  $Q_1$  – период прямоугольных импульсов ВТП; определяющий каналный интервал;  
 $Q_2$  – период метеочастоты ВТП текущего значения метеопараметра

### 2.3. Радиозонды с низкоомным датчиком температуры

Информационным параметром датчиков радиозондов МРЗ-3А, МАРЗ-2 являются пассивные электрические величины (сопротивление, емкость). В связи с этим для передачи телеметрической информации используются вторичные преобразователи (ВП). Для выше перечисленных радиозондов в качестве датчика температуры применяется полупроводниковый поликристаллический терморезистор типа ММТ-1, а в качестве датчика влажности сорбционно-деформационный элемент на основе животной пленки. Одним из главных достоинств этих датчиков является их высокая чувствительность к измеряемым величинам. Для терморезистора типа ММТ-1 величина температурного коэффициента сопротивления представлена на рис. 2.9.

Высокая чувствительность датчика позволяет существенно снизить требование к точности вторичного преобразователя и как следствие этого упростить схему реализации.

При пересчете значений погрешности ВП к входу датчика температуры (терморезистор типа ММТ-1) их величина не превышает  $0,4^\circ\text{C}$ . При этом нестабильность частоты релаксационного генератора может достигать 10 %.



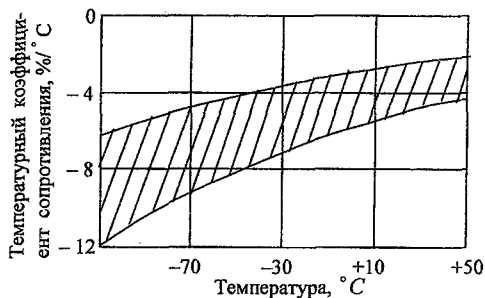


Рис. 2.9. Зависимость температурного коэффициента сопротивления от температуры

Дальнейшее повышение точности измерения метеовеличин при зондировании атмосферы требует применения более совершенных датчиков, имеющих более высокую стабильность характеристик преобразования.

В качестве датчика температуры целесообразно использовать металлические (платиновые, никелевые) микрофольговые и тонкопроволочные терморезисторы. При радиозондировании используются два конструктивных способа выполнения металлических датчиков температуры: микрофольговый и микропроволочный. Микрофольговый датчик выполнен в виде тонкой металлической фольги, нанесенной на диэлектрическое основание (полимерная пленка), которая затем может быть свернута в виде цилиндра. Микропроволочный датчик выполнен в виде тонкой (до 5 мкм) металлической проволоки, растянутой на основании-рамке. В конце 90-х годов был специально разработан терморезистор типа ТРП2-1, который представляет структуру из тонких проводников, выполненных в виде последовательно соединенных «меандр» из никелевой фольги толщиной 5 мкм, нанесенной на полимерную пленку толщиной 15 мкм. Пленка свернута в форме цилиндра с диаметром 1,6 мм и длиной 12 мм. Поверхность цилиндра покрывается белой антирадиационной эмалью типа ВЛ-548. Номинальное сопротивление терморезистора составляет 500 Ом, а температурный коэффициент сопротивления (ТКС) — 05-06 %/°C. Применение таких датчиков позволит в 1,5-2 раза уменьшить динамическую и радиационную погрешность измерения температуры в атмосфере. Например, радиационная погрешность тонкопроволочного платинового терморезистора на высоте 30 км не превышает 0,5°. Однако низкое сопротивление и низкая чувствительность этих терморезисторов существенно ус-

ложняет их применение в радиозондах. На рис. 2.10 приведена зависимость температурного коэффициента сопротивления от температуры для микрофольгового терморезистора ТРП2-1 и платиновой микропроволоки.

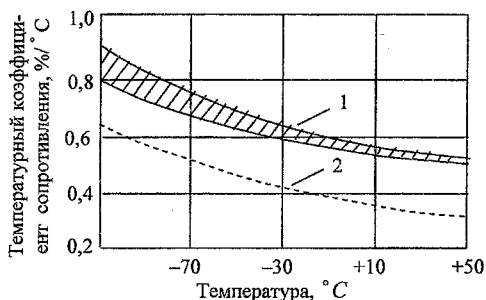


Рис.2.10. Зависимость температурного коэффициента сопротивления (ТКС) от температуры

1 – никелевый микрофольговый терморезистор ТРП2-1; 2 – платиновая микропроволока (5-15 мкм)

При использовании низкоомных терморезисторов для радиозондов следует отметить следующее. Во-первых, последовательное включение терморезистора и опорного резистора приводит к дополнительному снижению общей чувствительности преобразования сопротивления, и это приводит к увеличению требований к стабильности элементов схемы ВП. Во-вторых, остаточные параметры электронных ключей из-за низкого сопротивления и малой чувствительности металлического терморезистора вносят значительный вклад в погрешность преобразования сопротивления. В-третьих, для исключений перегрева терморезистора протекающим через него током, требуется уменьшение напряжения питания ВП. Допустимая величина тока должна быть 0,5 мА и менее. Все вышеперечисленное ставит под сомнение техническую реализацию вторичного телеметрического преобразования на базе релаксационного генератора.

Поэтому задача высокочастотного преобразования сопротивления «низкоомного» датчика температуры была решена путем использования «базовой» структуры вторичного телеметрического преобразователя радиозонда, в котором для этой цели специально разработана измерительная цепь ИЦ<sup>М</sup><sub>(U<sub>x</sub>, U<sub>мк</sub>)</sub> для «низкоомного» датчика, осуществляющая промежуточное преобразование сопротивления в напряжение. Статическая характеристика преобразования терморезистора задается следующей аппроксимирующей формулой

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3), \quad (2.14)$$

где  $R_t$  – сопротивление терморезистора при температуре  $t$ ,  $R_0$  – сопротивление терморезистора при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha = (W_{100} - 1,0704)/100$ ;  $\beta = 6,31 \cdot 10^{-6}$ ;  $\gamma = 7,3 \cdot 10^{-9}$ ;  $W_{100}$  – отношение сопротивлений терморезистора при температурах  $100^\circ\text{C}$  и  $0^\circ\text{C}$ .

Значения  $R_0$  и  $W_{100}$  определяются при индивидуальной градуировке терморезистора и приводятся на его этикетке.

На практике используется обратная характеристика преобразования, которая для терморезистора ТРП2-1 аппроксимируется следующей эмпирической формулой:

$$t = \frac{100 \left( \frac{R_t}{R_0} - 1 \right) (W_{100} - 1,0704)}{(W_{100} - 1,0704)^2 + \left( \frac{R_t}{R_0} - 1 \right) \cdot 6,263 \cdot 10^{-2}}. \quad (2.15)$$

Применение микрофольговых датчиков в радиозондах позволяет в 1,5–2,0 раза уменьшить основную, динамическую и радиационную погрешности измерения температуры. Микрофольговые терморезисторы за счет их высокой технологичности позволяют полностью автоматизировать весь цикл производства датчиков температуры, исключая при этом необходимость их индивидуальной градуировки на предприятии – изготовителе радиозондов.

Высокие метрологические характеристики имеют платиновые датчики температуры. Платиновые датчики обладают постоянной градуировочной характеристикой  $R_0\alpha = \text{const}$  ( $\alpha$  – ТКС платиновой проволоки), что позволяет проводить градуировку датчика в одной точке.

Сконструированный для аэрологических измерений микропроводочный платиновый датчик температуры по своим динамическим характеристикам в условиях радиозондирования атмосферы является практически безинерционным, а его радиационную погрешность до высоты 30 км из-за малого значения можно не учитывать. Из-за сложности конструкции такой датчик температуры находит применение в качестве образцового средства измерения температуры. По своим электрическим характеристикам датчик температуры на основе платиновой микропроволоки практически мало отличается от микрофольгового терморезистора. Его номинальное сопротивление составляет 100–500 Ом в зависимости от длины и диаметра проволоки, а ТКС – 0,3–0,5 %/°C.

Обратная характеристика преобразования платинового датчика аппроксимируется эмпирической формулой:

$$t = 273 \left[ \left( \frac{R_t}{R_0} - 1 \right)^{-1} - 0,03555 \right]^{-1}, \quad (2.16)$$

где  $R_t$  и  $R_0$  – сопротивление датчика при температуре  $t^\circ\text{C}$  и  $0^\circ\text{C}$  соответственно.

Величина  $R_0$  определяется при индивидуальной градуировке датчика и приводится в его этикетке. Структурная схема ВТП «низкоомного» датчика температуры приведена на рис. 2.10. Эта схема включает в себя элементы «базовой» структуры развертывающего преобразователя: устройство сравнения (УС) и интегратор, выполненный на операционном усилителе ОУ<sub>3</sub>, а также измерительную цепь «низкоомного» датчика ИШ<sub>(U<sub>x</sub>U<sub>МК</sub>)</sub><sup>М</sup>. Измерительная цепь «низкоомного» датчика температуры включает в себя источник модулируемого по полярности тока, выполненного на операционном усилителе ОУ<sub>1</sub>, к которому с помощью ключей КЛ<sub>Т</sub>, КЛ<sub>МК</sub> подключается либо усилитель, состоящий из сопротивлений датчика температуры  $R_t$  и резистора  $R_d$ , либо резисторный делитель  $R_{d1}$ ,  $R_{d2}$ , а также усилитель–сумматор на операционном усилителе ОУ<sub>2</sub>.

На выходе измерительной цепи ИШ<sub>(U<sub>x</sub>U<sub>МК</sub>)</sub><sup>М</sup> в зависимости от замыкания КЛ<sub>Т</sub>, КЛ<sub>МК</sub> формируются два знакопеременных напряжения: рабочее напряжение  $U_\tau$  и напряжение мультипликативной коррекции  $U_{МК}$ . Величины этих напряжений связаны с параметрами элементов измерительной цепи следующим соотношением

$$U_\tau = U_{\text{мод}} \left( \frac{R_{y2}}{R_{d1} \cdot R_{y1}} \cdot R_t - \frac{R_{y2}}{R_{\text{см}}} \right), \quad (2.17)$$

$$U_{\text{МК}} = U_{\text{мод}} \left( \frac{R_{y2}}{R_{d1} \cdot R_{y1}} R_{d2} - \frac{R_{y2}}{R_{\text{см}}} \right). \quad (2.18)$$

Как видно из выражения (2.18) измерительная цепь (рис.2.11) ИШ<sub>(U<sub>x</sub>U<sub>МК</sub>)</sub><sup>М</sup> в структуре ВТП выполняет следующие действия:

- а) линейное преобразование сопротивления датчика  $R_t$  в рабочее напряжение  $U_\tau$ ;
- б) компенсацию части выходного напряжения, обусловленного начальным сопротивлением датчика (при минимально измеряемой температуре);
- в) усиление размаха рабочего напряжения (в диапазоне изменения сопротивления датчика) до необходимого уровня.



$$Y_T = \frac{U_T}{U_{MK}} \quad (2.20)$$

Вид функции ВТП  $Y_T = f(R_T)$  может быть получен, исходя из выражения (2.14), на основании выражений для выходных напряжений измерительной цепи  $U_T$  и  $U_{MK}$

$$Y_T = \frac{U_T}{U_{MK}} = \frac{\frac{1}{R_{d1}} \cdot R_T - \frac{R_{y1}}{R_{cm}}}{\frac{R_{d2}}{R_{d1}} - \frac{R_{y1}}{R_{cm}}} \quad (2.21)$$

Как видно из выражения (2.21) функция преобразования сопротивления «низкоомного» датчика температуры является линейной.

Погрешность преобразования сопротивления датчика определяется стабильностью резисторов измерительной цепи, входящих в выражение (2.21). Поэтому здесь должны использоваться высокоточные резисторы, имеющие малый ТКС.

Для удобства при практическом использовании задается обратная характеристика преобразования в виде следующей аппроксимирующей формулы:

$$R_T = R_{01} + R_{02} \cdot Y_T, \quad (2.22),$$

где  $R_{01}$  и  $R_{02}$  – постоянные параметры, определяемые при индивидуальной градуировке ВТП (статические характеристики). Погрешность аппроксимации (нелинейность) характеристики преобразования ВТП, определяемая выражением (2.22), не превышает 0,05 %.

Описанная структура ВТП использовалась при разработке сетевого радиозонда МРЗ-6 с датчиком температуры на основе микрофольгового терморезистора ТРП2-1.

#### 2.4. Радиозонд с интегральными кремниевыми тензорезисторными датчиками атмосферного давления

Для использования радиопленгационного метода были разработаны датчики давления нового поколения. Принцип работы датчика давления основан на использовании интегрального чувствительного элемента в виде кремниевой мембраны. Для преобразования деформации мембраны в электрическую величину применяют интегральные тензопреобразователи (ИТП), имеющие резисторный выход. Первый отечественный радиозонд с датчиком давления, работающий на этом принципе, – радиозонд МРЗ-5 с преобразователем П-317, диапазон измерений давления – 1100 – 5 гПа. Схема интегрального тензорезисторного преобразователя давления представлена на рис. 2.12.

Корпус первичного преобразователя и внешняя электрическая схема с дополнительными регистрами размещена на печатной плате 45,85 мм.

На одной из стадий технологического процесса изготовления ИТП на поверхности кремниевой пластины толщиной 0,2–0,4 мм с помощью метода интегральной технологии (диффузия, ионная имплантация) создается тензорезисторная схема для преобразования деформации мембраны в электрическую величину. Расположение тензорезисторов на мембране и их ориентация относительно кристаллографических осей кремния выбираются исходя из максимальной чувствительности и линейности характеристики преобразования мостовой схемы. С этой целью выбор ориентации тензорезисторов должен обеспечить противоположный знак их тензочувствительности в смежных плечах моста. Кроме того, должна быть обеспечена высокая стабильность характеристики преобразования при работе датчика давления. Наличие моста из четырех тензорезисторов, достаточно удаленных друг от друга, приводит к ухудшению идентичности и воспроизводимости, возрастает разбаланс схемы и появляется температурная зависимость. В последние годы приступили к промышленному выпуску интегральных преобразователей, работающих на принципе поперечной тензо-ЭДС, позволяющей получить более высокие метрологические характеристики датчика.

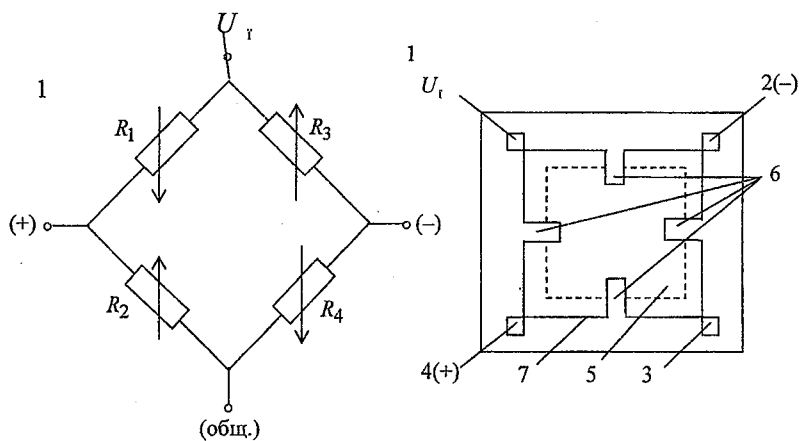


Рис. 2.12. Структурная схема интегрального тензорезисторного преобразователя давления. 1–4 – плечи моста; 5 – кремниевая мембрана; 6 – резисторы  $R_1, R_2, R_3, R_4$ ; 7 – металлические проводники.

Тензопреобразователь на поперечный тензо-ЭДС в отличие от мостовой схемы содержит только один резисторный элемент, воспринимающий деформацию мембраны. Действие его основано на эффекте, возникающем в кристалле полупроводника при пропускании через него тока и наложении одноосного механического напряжения. В результате на поперечных гранях кристалла появляется разность потенциалов, обусловленная наличием тока и внутреннего электрического поля. Эту разность потенциалов можно рассматривать как тензо-ЭДС и по ее величине определить величину механического напряжения.

Фирма MOTOROLA разработала датчик давления с поперечными тензо-ЭДС типа MPX. Размеры датчика давления 15x5 мм, масса 2 г. Элемент с поперечной тензо-ЭДС фирмы MOTOROLA представлен на рис. 2.13. Чувствительность ИТП  $S_0$  при температуре  $T_0$  можно определить по формуле

$$S_0 = (dU_{\text{вых}} / dP) \cdot (1 / U_{\text{тм}}) \quad (\text{мкВт/гПа}), \quad (2.23)$$

где  $U_{\text{тм}}$  – напряжение питания измерительного тензомоста.

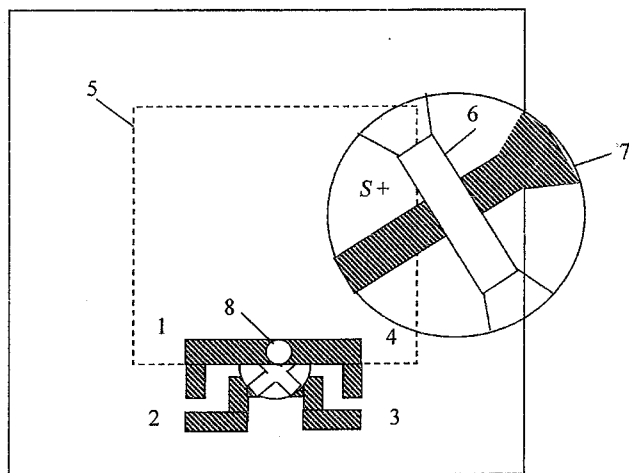


Рис. 2.13. Элемент с поперечной тензо-ЭДС фирмы MOTOROLA

- 1 – общий; 2 –  $(+U_{\text{вых}})$ ; 3 –  $(-U_{\text{пит}})$ ; 4 –  $U_{\text{вых}}$ ; 5 – край мембраны;  
 6 – активный резисторный элемент; 7 – съем напряжения тензо-ЭДС;  
 8 – резистор с поперечной тензо-ЭДС

Структурная схема интегрального мостового тензопреобразователя датчика давления П-317 приведена на рис. 2.14.



Для уменьшения температурной зависимости выходного напряжения тензопреобразователя его температура повышается до  $+65^{\circ}\text{C}$ , в последующих моделях – до  $+150^{\circ}\text{C}$ .

Тензочувствительная схема выполнена в виде резисторного моста, плечи которого образуются сопротивлениями следующих резисторов:  $R_{d1}$ ,  $R_{d2}$ ,  $R_t^*$  и  $R_m$ . Величина  $R_m$  – суммарная величина сопротивления термопреобразователя ( $R_{d1} + R_{d4}$ ) в диагонали питания моста, резистор  $R_t^*$  используется для настройки температуры пластины.

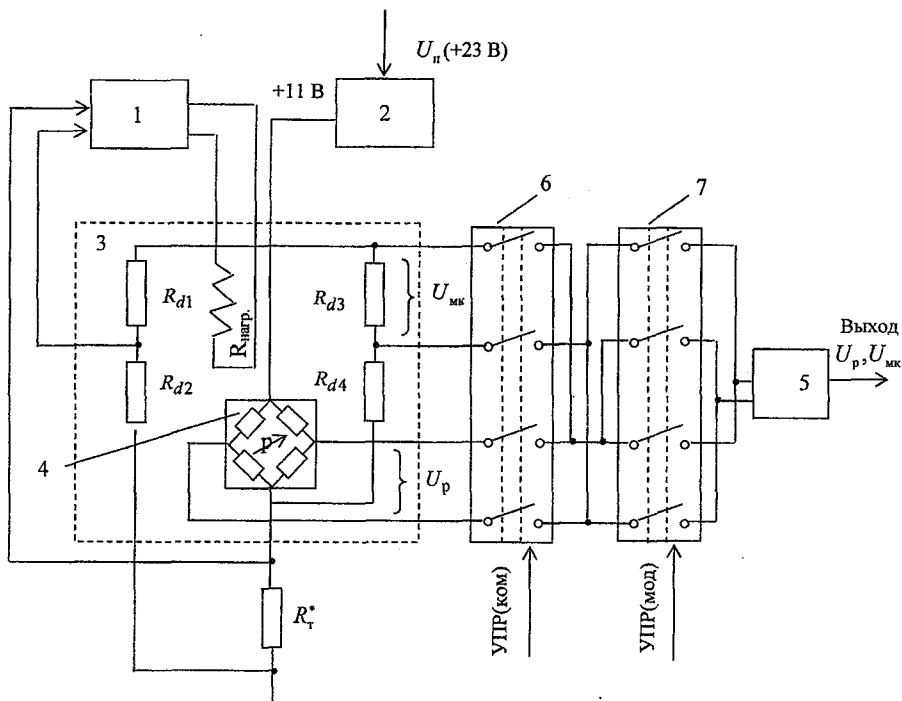


Рис. 2.14. Структурная схема преобразователя давления П-317

1 – усилитель–регулятор температуры; 2 – стабилизатор напряжения; 3 – пластина первичного преобразователя; 4 – тензопреобразователь; 5 – дифференциальный усилитель; 6 – коммутатор; 7 – модулятор

При подключении преобразователя П-317 в качестве измерительной цепи ИЦ<sup>м</sup><sub>(U<sub>x</sub>, U<sub>мк</sub>)</sub> к «базовому» ВТП образуется частотный преобразователь атмосферного давления, имеющий 3 частотных телемет-

рических сигнала: период давления  $Q_p$ , период мультипликаторной коррекции  $Q_k$ , период опорного сопротивления  $Q_{оп}$ .

Выходной информационный параметр частотного телеметрического преобразователя определяется выражением:

$$Y_p = (Q_p - Q_{оп}) / (Q_{мк} - Q_{оп}) \quad (2.24)$$

Функция частотного телеметрического преобразователя аппроксимируется полиномом второй степени:

$$P = a_0 + a_1 Y_p + a_2 Y_p^2, \quad (2.25)$$

где  $P$  – измеряемое атмосферное давление,  $a_0, a_1, a_2$  – постоянные параметры преобразователя.

Средняя величина погрешности за счет аппроксимации функции преобразователя в диапазоне измерений не превышает 0, – 0,2 гПа.

В радиозонде МРЗ-5 функции преобразователя заданы отдельно для радиоблока и преобразователя П-317.

Для радиоблока функция преобразования имеет вид

$$X_p = G_1 \cdot 10^{-4} (1 + G_2 \cdot 10^{-4}) \cdot Y_{p1}, \quad (2.26)$$

где  $X_p, Y_{p1}$  – соответственно выходные информационные параметры преобразователя П-317 и радиоблока,  $G_1$  и  $G_2$  – постоянные коэффициенты, полученные в результате градуировки радиоблока.

Для преобразователя П-317 функция преобразования имеет следующий вид

$$P = E + LX_p + FX_p^2, \quad (2.27)$$

где  $X_p$  – выходной информационный параметр,  $E, L, F$  – постоянные коэффициенты, полученные в результате градуировки преобразователя П-317. Основная погрешность не более 1,5 гПа.

Суммарная величина дополнительной погрешности не более 5 гПа, которая складывается из влияния дестабилизирующего фактора влажности и температурной погрешности на пластину первичного преобразователя. Неравномерность температурного поля приводит к появлению временного дрейфа выходного напряжения преобразователя. Более высокая точность достигается при использовании методов «внешней» коррекции погрешностей преобразователя.

В информационно-измерительных системах термокомпенсирования сигнала можно разделить на 2 группы:

- 1) методы и схемы внутрисхемной термокомпенсации,
- 2) методы и схемы внешней коррекции температурной погрешности, исключают температуру погрешность на выходе вычислительного устройства.

Разработан измерительный преобразователь атмосферного давления (ИПАД) с дополнительным каналом температурной коррекции.

В качестве чувствительного элемента абсолютного давления используется тензопреобразователь серии МРХ фирмы MOTOROLA.

Функция преобразователя ИПАД задается полиномом второй степени и имеет вид:

$$P = E(Y_{\text{TK}}) + L(Y_{\text{TK}})Y_p + Y_p^2 \cdot F(Y_{\text{TK}}), \quad (2.28)$$

где  $P$  – измеряемое атмосферное давление,  $Y_0 = U_0 / U_{\text{ie}}$  – выходной рабочий параметр,  $Y_{\text{TK}} = U_{\text{TK}} / U_{\text{MK}}$  – выходной параметр температурной коррекции,  $E(Y_{\text{TK}})$ ,  $L(Y_{\text{TK}})$ ,  $F(Y_{\text{TK}})$  – функциональные зависимости параметров аппроксимации  $E, L, F$  от выходного параметра  $Y_{\text{TK}}$ .

Функциональные зависимости  $E, L, F$  от выходного параметра  $Y_{\text{TK}}$  аппроксимировались полиномами третьей степени вида

$$\begin{aligned} E &= E_0 + E_1 Y_{\text{TK}} + E_2 Y_{\text{TK}}^2 + E_3 Y_{\text{TK}}^3, \\ L &= L_0 + L_1 Y_{\text{TK}} + L_2 Y_{\text{TK}}^2 + L_3 Y_{\text{TK}}^3, \\ F &= F_0 + F_1 Y_{\text{TK}} + F_2 Y_{\text{TK}}^2 + F_3 Y_{\text{TK}}^3, \end{aligned} \quad (2.29)$$

где  $E_0, E_1, E_2, E_3, L_0, L_1, L_2, L_3, F_0, F_1, F_2, F_3$  – параметры аппроксимации, определяемые в результате градуировки преобразователя. Экспериментальные исследования показали, что точность измерения атмосферного давления в рабочем диапазоне температур 1,5–2 гПа. Недостатком представленной методики температурной коррекции является трудоемкость градуировки преобразователя давления. Однако при использовании современного стендового оборудования, обеспечивающего автоматизацию градуировочных работ, указанный недостаток может быть не столь существенным.

Рассмотренные методы коррекции погрешности радиозондовых измерительных устройств следует считать перспективными, так как они обеспечивают высокую точность измерений без повышении требований к точности применяемых датчиков.

## 2.5. Проведение температурно-ветрового зондирования атмосферы

### комплексом 1Б44 «Улыбка» с радиозондом МРЗ-3А

#### *Включение питания станции*

1. На щите питания ШЛ-009 (ауд. 401) тумблер «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» установить в положение «РЕЗЕРВНЫЙ».
2. Включить ПАКЕТНИК 3 ф 50 Гц на щите ШЛ-009. Проверить наличие фаз переключением ПАКЕТНИКА вольтметром.
3. Нажать кнопку «ПУСК» на дистанционном пульте ВПЛ-30.
4. Включить ПАКЕТНИК 3 ф 220 В 400 Гц на щите Ш-900. Проверить наличие фаз с помощью переключателя и вольтметра.

5. Подать питание на изделие 1Б44, включив ПАКЕТНИК справа от щита ШЛ-009.

6. Отключить ПАКЕТНИК 3 ф 220 V 400 Гц на щите ШЛ-009.

7. На РЛС 1Б44 включить ПАКЕТНИК питания «СЕТЬ». Проверить наличие фаз (3 ф 220 V 400 Гц).

8. На пульте ЦТ-601 все тумблеры должны быть в исходном состоянии «СИНЯЯ ТОЧКА». Местное управление должно быть выключено. Автономное включение блоков «СИНЯЯ ТОЧКА». Управление антенной в боевом режиме «СИНЯЯ ТОЧКА». Управление ЭВМ установить в положение «АВТОМАТ/СИНЯЯ ТОЧКА». Имитация полета положение «ОТКЛ». Полоса пропускания «ШИРОКАЯ» или «УЗКАЯ».

9. Включить тумблер «БЛОКИ».

10. Включить видеоконтрольное устройство «ВКУ».

11. Включить тумблер «ВКЛ. ПИТ» на блоке АЦПУ. При этом на блоке АЦПУ загораются сигнальные лампочки 5 В и 27 В. На блоке управления АЦПУ горит сигнальная лампочка «ВКЛ».

12. Проверить состояние красной сигнальной лампочки. Если лампочка горит, проверить и заправить бумагу.

13. Нажать кнопку «СБРОС» на блоке управления АЦПУ, при этом красная сигнальная лампочка должна погаснуть.

14. Включить приводы антенны по углу места и по азимуту.

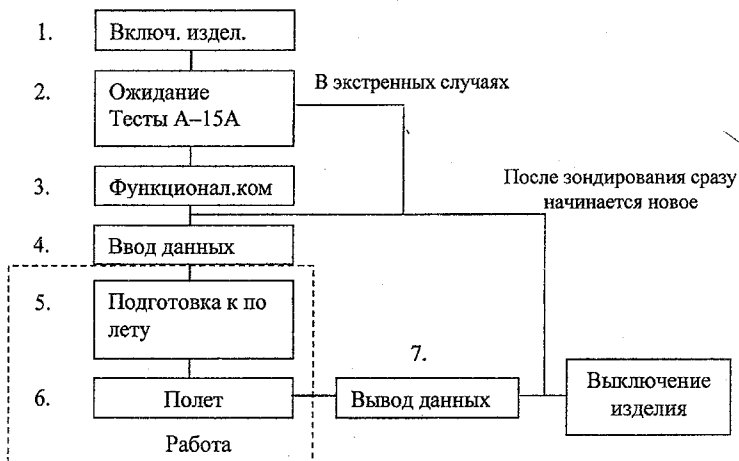
15. Установить тумблером тип радиозонда.

*Режим «ОЖИДАНИЕ»*

1. Нажать «СБРОС АВУ», а затем «ТЕСТЫ» на пульте оператора. При успешном проведении тестов на пульте оператора загорается лампочка «ИСПРАВНОСТЬ» и аппаратура автоматически переходит в режим «ОЖИДАНИЕ».

2. Ввести тип выходного документа КН-04, нажав пробел.

Режим работы программного обеспечения РЛС



### *Автоматизированный функциональный контроль «ФК»*

Функциональный контроль осуществляется с использованием имитатора сигналов радиозонда (ИСРЗ) осциллографа, индикатора в блоке Ц52 м, встроенного волномера СБ-210, контрольных стрелочных приборов в блоке Щ63 м.

Для выполнения функционального контроля установить тумблеры в соответствующее положение:

1. Дальность в положение «АВТ».
2. Признак «АСД» в положение «АВТ».
3. Привод антенны в положение «ВКЛ».
4. «ГОН» в положение «ВКЛ».
5. Тумблер управления антенны «АВТ-РУЧ» в положение «АВТ».
6. Управление «ИСРЗ АВТ-РУЧ» в положение «АВТ» в блоке БЩ6.4.
7. Переключатель «ПРД» в положение «АВТ».
8. Тумблер «ВЫСОКОЕ ПРД» в положение «ВКЛ». Проконтролировать импульс запуска и работу имитатора СВЧ сигналов «ИСВЧ» на ВКУ.
9. Нажать клавишу «ФК» на пульте Щ-601. Автоматически проверяется работоспособность Щ-10, Щ-30, Щ-40, Щ-50, Щ-70, Щ-90, АПЧП, АПЧГ.

На экране ВКУ высвечиваются результаты функционального контроля, и результаты печатаются на листе АЦПУ.

### *Режим «ВВОД ДАННЫХ»*

1. Включить питание радиозонда.
2. Навести антенну РЛС на радиозонд.

В этом режиме программное обеспечение (ПО) вычисляет и выдает значение координат радиозонда на экране ВКА  $D_0$ ,  $E_0$ ,  $A_0$  – начальные значения дальности  $D_0$ , угла места  $E_0$ , азимута  $A_0$  и длительность периодов частот  $Q_0$ ,  $Q_T$ ,  $Q_U$  в цикле, который задан коммутатором радиозонда.

3. Включить клавишу «ВВОД» на пульте Щ-601.
4. Оператор производит набор данных с помощью клавиатуры Щ-602. После набора каждого параметра необходимо нажать (.).

ВР – время московское декретное (соответствует зимнему московскому декретному (ч/мин)).

ДТ – число, месяц, год (ДД/ММ/ГГ).

$N_c$  – синоптический индекс (NNnn).

ШМ – широта места АЭ в градусах (ШШ).

$H_0$  – высота АЭ над уровнем моря в метрах (НН).

Z – высота солнца в градусах (aa).

AM – азимут местного ориентира (AA, 22-30).

$T_0$  – температура сухого термометра с точностью  $0,1^\circ$  (TTT).

$U_0$  – относительная влажность с точностью до 1 % (UU).

$P_0$  – наземное давление с точностью до 0,1 Гпа (PPP).

V – скорость ветра до 1 м/с (VV).

AV – направление наземного ветра до  $1^\circ$  (DDD).

Обл. –  $N_0 C_L h C_i \tilde{N}_i$ .

Ввести в АБУ с клавиатуры Щ-602 паспортные данные радиозонда А, В, С,  $R_{01}$ ,  $R_{02}$ , К, N, M.

Определить годность радиозонда, для этого с пульта ЩТ-602 ввести команду «ПГ» (ПРОВЕРКА ГРАФИКА) и нажать (.). На экране ВКУ отмечаются вводимые данные и текст: «зонд ИСПРАВЕН» при условии  $\Delta t \leq 1,8$ ,  $\Delta U \leq 15\%$ .

На АЦПУ печатаются вводимые данные и результаты проверки годности радиозонда.

#### *Подготовка радиозонда к полету*

1. Установить органы управления в положения, отмеченные синими точками.
2. Перейти в режим РАБОТА, включив клавишу «РАБ».
3. Навести антенну РЛС на радиозонд по угловым координатам и убедиться в появлении сигнала радиозонда  $E=0-20$ ,  $A=0-40$ ,  $D_0=130$ м.
4. Включить ГОН.
5. Включить «ВЫСОКОЕ» малого передатчика и убедиться в наличии ответной паузы радиозонда.
6. Включить тумблер «ЗАХВАТ».
7. На панели АЦПУ включить режим «Р» (РАБОТА) и тумблер «М» (МОТОР).
8. Набрать на клавиатуре Щ-602 команду «ПД» (.) – печать данных АЦПУ.
9. Проверить данные в кадре ВКУ и убедиться в наличии АВТО-ЗАХВАТА радиозонда по координатам и индикацию значений метеопараметров.

#### *Режим «ПОЛЕТ»*

1. В момент выпуска по команде оператор нажимает клавишу «ПУСК».
2. Для отмены выпуска нажать на Щ-601 клавишу «СТОП» и, не отпуская ее, с помощью клавиатуры ввести команду «ОТП».

3. При возобновлении выпуска после задержки вновь нажать клавишу «ПУСК».
4. По окончании полета нажать клавишу «СТОП» на Ц601 (при этом на ВКУ останавливается ВРЕМЯ «ВР»).

#### *Режим «ВЫВОД ДАННЫХ»*

Нажать клавишу «ВЫВОД». По этой команде программное обеспечение запоминает и обрабатывает последнее значение координат и частот метеовеличин. На АЦПУ печатаются слова «ВРЕМЯ окончания радиозондирования», и программное обеспечение обращается к телетайпу для распечатки текста телеграммы.

#### *Работа в режиме «ИМИТАТОР»*

5. Выполнить операцию ВВОД ДАННЫХ.
6. Установить начальную дальность кнопкой «ДАЛЬНОСТЬ 200–300 м».
7. Установить начальный угол места 1,50 ду.
8. Установить скорость полета ИМИТАТОРОМ СКОРОСТИ ПОЛЕТА.
9. Установить температуру (с клавиатуры набрать температуру и нажать точку (·)).
10. Режим МЕТЕО–СЕЛЕКЦИЯ установить в положение «СЕЛЕКЦИЯ».
11. Поставить тумблер «АВТОМАТ» по дальности.
12. На клавиатуре Ц-602 для проверки градуировки набрать команду ПГИ и нажать (·).
13. Убедиться, что радиозонд годен к выпуску.
14. Включить кнопку «ПУСК».
15. Включить тумблер «ЗАХВАТ».
16. Включить тумблер «ИМИТАТОР ПОЛЕТА».
17. Ручкой температуры и влажности плавно меняют во времени (слева – влажность «ГРУБО, ТОЧНО», справа температура – «ГРУБО, ТОЧНО»).
18. Сигнал ошибки по угловым координатам задается искусственно в блоке БЩ-6/4 по углу места Е – вверх, вниз, по азимуту А – влево, вправо.
19. Осуществляется контроль скорости подъема (она должна быть 4–6 м/с,  $\Delta t = 1$  с).
20. Регулировать скорость подъема вертикальным углом и потенциометром «ИМИТАТОР СКОРОСТИ ПОДЪЕМА».
21. После проведения работы отключить РЛС, отключить пакетики.

## Литература

1. Будаи Б. Т., А. В. Гусев, В. Э. Иванов, О. В. Мироненко // О некоторых принципах разработки цифровых радиотехнических систем. Инженерная микроэлектроника, 1998. №2.
2. Гутников В. С., А. В. Клементьев и др. Микропроцессорный измеритель давления и температуры // Приборы и системы управления., 1995. №8, с. 28-29.
3. Ермаков В. И., А. Ф. Кузенков, В. А. Юрманов. Системы зондирования атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. –304 с.
4. Ефимов А. А. Принципы работы аэрологического информационно-измерительного комплекса АВК-1. – М.: Гидрометеоиздат, 1989. – 149 с.
5. Иванов В. Э., М. Б. Фридзон, С. П. Ессяк. Радиозондирование атмосферы, 2004.
6. Качурин Л. Г. Методы метеорологических измерений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 485 с.
7. Киселев В. Н., А. Д. Кузнецов. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). – СПб., 2004. – 428 с.
8. Матвиенко В. А., М. Б. Фридзон, Х. Н. Гайнанов. Метрологические характеристики измерительного преобразователя температуры аэрологического радиозонда // Метрология, 1984. №1. с. 50–56.
9. Матвиенко В. А. Метрологические основы проектирования радиозондов. Диссертация на соискание уч. степени к.т.н. – М.: ЦАО, 1987.
10. Миковцев А. П. Основы теории радиотелеметрии. – М.: Энергия, 1973. – 592 с.
11. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 4, часть III. Аэрологические наблюдения на станциях. РД 52.11.650, 2003.
12. Решетов В. Д. Требования к точности радиозондирования атмосферы // Труды ЦАО. Вып. 151, – М., 1983. – с. 3–7.
13. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
14. Терморезисторы фольговые ТРП2-1. Технические условия ОЖО. 468.050 ТУ. – М.: Изд-во стандартов, 1989.



## Условные обозначения

АВУ - автоматическое вычислительное устройство,  
АПЧГ - автоматическая подстройка частоты гетеродина,  
АПЧП - автоматическая подстройка частоты передатчика,  
АСД - автоматическое сопровождение по дальности,  
АТТ - аттенюатор,  
АФС - антенно-фидерная система,  
АЦПУ - алфавитно-цифровое печатающее устройство,  
ВКУ - видеоконтрольное устройство,  
ВчУ - вычислительное устройство  
ГОН - генератор опорного напряжения,  
ДЗУ - долговременное запоминающее устройство,  
ИКШ - измеритель коэффициента шума,  
ИСРЗ - имитатор радиозонда,  
ОЗУ - оперативное запоминающее устройство,  
ПАПЧ - полуавтоматическая подстройка частоты,  
ПЕРЕКЛ ПЕР - переключение передатчиков,  
РПЧГ - ручная подстройка частоты гетеродина,  
РЛС - радиолокационная станция,  
РЗ - радиозонд (зонд),  
САК - система автоматического контроля,  
СВЧ-АГ - автогенератор сверхвысокой частоты  
СВЧ - сверхвысокая частота,  
СО - сигнал ошибки,  
СОИ - система отображения информации,  
СОК - система определения координат,  
СОУ - система обработки и управления,  
СПП - сверхгенеративный приемопередатчик  
УВВ - устройство ввода-вывода,  
УПЧ - усилитель промежуточной частоты,  
ФД - фазовый детектор,  
ФК - функциональный контроль,  
ЭВМ - электронная вычислительная машина,  
ЭКВ, Экв - эквивалент.

*Учебное издание*

Осипов Юрий Германович  
Герасимова Нина Васильевна  
Дядюра Александр Владимирович

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «УЛЫБКА»**

*Учебное пособие*

Редактор О.С. Крайнова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

---

Подписано в печать 26.09.09. Формат 60 × 90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печать офсетная.  
Печ. л. 3,8. Тираж 500. Зак. № 7.

---

195196, СПб, Малоохтинский пр. 98. РГГМУ

