

В. В. МИРОНОВ, С. В. ВАСИЛЬЕВ

**УСТРОЙСТВО БОРТОВОЙ
АППАРАТУРЫ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КОМПЛЕКСА РАКЕТНОГО
ВООРУЖЕНИЯ „ТЕРМИТ“**

454

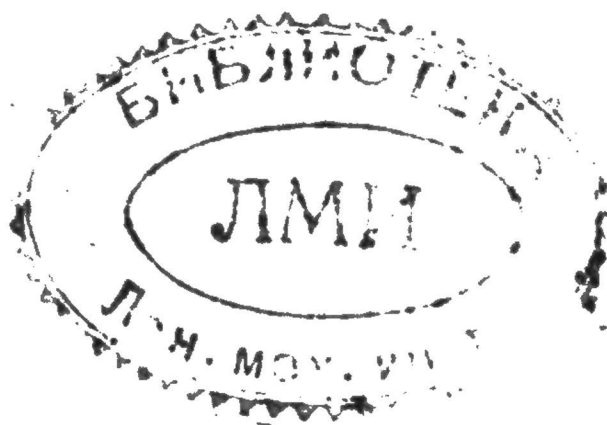
Санкт-Петербург
2001

Министерство образования Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет «Военмех»

В. В. МИРОНОВ, С. В. ВАСИЛЬЕВ

УСТРОЙСТВО БОРТОВОЙ
АППАРАТУРЫ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КОМПЛЕКСА РАКЕТНОГО
ВООРУЖЕНИЯ „ТЕРМИТ“

454



Санкт-Петербург
2001

УДК
М 63

Устройство бортовой аппаратуры системы управления комплекса ракетного вооружения «Термит»: Учеб. пособие / В. В. Миронов, С. В. Васильев; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2001. 196 с.

Данное учебное пособие соответствует одноименной части изучаемой дисциплины «Устройство и эксплуатация комплекса ракетного вооружения «Термит»». Описывается устройство и принцип действия бортовой аппаратуры системы управления данного комплекса.

Предназначено для подготовки по специальностям ВУС-471103, 471300, 073000.

Рецензенты: кафедра Боевого применения ракетного оружия ВМИ (нач. каф. *В. Т. Ирмуратов*); Военно-морская кафедра СПБИТМО (нач. каф. *Б. Н. Павлов*)

*Рекомендовано
направлением военного образования ВМФ РФ
в качестве учебного пособия*

Перечень условных обозначений и сокращений

АНК — аппаратура наземного контроля; **АПК** — аппаратура предстартового контроля; **АП** — автопилот; **АПЧК** — автоматическая подстройка частоты клистрона; **АРМ** — автоматическая регулировка мощности; **АРУ** — автоматическая регулировка усиления; **АСД** — автомат сопровождения по дальности; **АСН** — автоматическое сопровождение по направлению; **АУ** — автономное управление; **Б** — база; **БАСУ** — бортовая аппаратура системы управления; **БАУ** — бортовая аппаратура управления; **БК** — блок контейнеров; **БМ** — базовый механизм; **БП** — боковое перемещение; **БПУ** — боевой пост управления; **БСО** — бортовое спецоборудование; **БСУ** — береговая система управления; **В** — высота; **ВВ** — высоковольтный выпрямитель; **ВИР** — величина изменения расстояния; **ВНП** — выносной наблюдательный пункт; **ВНЦ** — визир наблюдения и целеуказания; **ВЧ** — высокочастотный; **ГН** — горизонтальное наведение; **ГОН** — генератор опорных напряжений; **ГУ** — гироскоп упреждения; **ГУВ** — гироскоп упреждения высоты; **ГУК** — гироскоп упреждения курса; **Д_ц** — дальность до цели; **Дв. В** — двигатель высоты; **Дв. К** — двигатель курса; **Дв. СК** — двигатель сканирования; **ДВМ** — дистанционно-временной механизм; **ДГ** — демпфирующий гироскоп; **ДНА** — диаграмма направленности антенны; **ИЗП** — импульс запуска передатчика; **ИКЛ** — инфракрасные лучи; **ИЛ** — искусственная линия; **ИМ** — интегрирующий механизм; **К** — курс; **КАЗ** — команда «Автозахват»; **К. б. в.** — коэффициент бегущей волны; **КК** — концевой контакт; **КНД** — коэффициент направленного действия; **КП** — катодный повторитель; **КПА** — контрольно-проверочная аппаратура; **КР** — крылатая ракета; **Кр** — крен; **КРВ** — комплекс ракетного вооружения; **КСС** — канал спектральной селекции; **КУ** — курсовой угол; **КЧ** — контроль чувствительности; **ЛТЦ** — ложная тепловая цель; **ОН** — опорное напряжение; **ОС** — обратная связь; **Пб** — пеленг базы; **ПВМ** — программно-временной механизм; **ПЛЭ** — приемник лучистой энергии; **ПРД** — передатчик;

ПРН — приемник; **ПУПЧ** — предварительный усилитель промежуточной частоты; **ПУС** — приборы управления стрельбой; **ПХ** — пеленгационная характеристика; **РВ** — радиовысотомер; **РГС** — радиолокационная головка самонаведения; **РК** — ракетный комплекс; **РМ** — рулевая машина; **РО** — ракетное оружие; **РП** — реле поляризованное; **РТУСН** — радиотехническое устройство самонаведения; **РУ** — релейный усилитель; **РЧД** — регулировка чувствительности по дальности; **СВ** — самонаведение по высоте; **СК** — самонаведение по курсу; **СГ** — свободный гироскоп; **СМ** — смеситель; **СН** — самонаведение; **СПС** — строб предварительной селекции; **СПУ** — самоходная пусковая установка; **СЧП** — селектор по частоте повторения; **ТГС** — тепловая головка самонаведения; **ТГ.К** — тахогенератор курса; **ТГ.В** — тахогенератор высоты; **ТУСН** — тепловое устройство самонаведения; **УМ** — угол места; **УМЦ** — упрежденное место цели; **УН** — управляющее напряжение; **УНК** — управляющее напряжение курса; **УНВ** — управляющее напряжение высоты; **УНДК** — управляющее напряжение двигателя курса; **УНДВ** — управляющее напряжение двигателя высоты; **УПТ** — усилитель постоянного тока; **УПТК** — усилитель постоянного тока курса; **УПТВ** — усилитель постоянного тока высоты; **УПЧ** — усилитель промежуточной частоты; **УР-1** — уровень первый; **УР-2** — уровень второй; **УТ** — усилитель тока; **ФК** — ферритовая катушка; **ФП** — ферритовый переключатель; **ФС** — фотосопротивление; **Ц.м.** — центр масс; **ЦП** — цель потеряна; **ЦУ** — целеуказание; **ЧП** — частота повторения; **ШАРУ** — шумовая АРУ; **ЩМ** — щелевой мост; **ЭД** — электродвигатель; **ЭМПУ** — электромеханическое программное устройство; **ЭОП** — эффективная отражающая поверхность; **ЭПР** — эффективная площадь рассеивания; **ЭЦО** — эффективный центр отражения; D_n — дальность от СПУ до береговой черты; d_r — дальность выбора и захвата УСН; K_m — курс машины; v_p — средняя скорость ракеты; w — скорость ветра; β_w — направление ветра; f — частота; t_a — время автономного полета ракеты; t_v — время полета КР до выдачи команды t_v ; t_{H_2} (t_{H_3}) — время до выдачи команды перевода КР на высоту H_2 (H_3); q_b — курсовой угол боевой; q_k — курсовой угол контейнера; φ_n — угол послестартового доворота КР по курсу; ϑ_n (θ_n) — угол послестартового доворота КР по тангажу (крену); ΔH — отклонение высоты полета КР от установленной высоты стабилизации; H_1 (H_2 , H_3) — высота стабилизации полета КР.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЛЕКСА «ТЕРМИТ»

1.1. Назначение, состав и основные ТТД КРВ «Термит»

Комплекс РВ «Термит» представляет собой ракетный комплекс ближнего действия класса «корабль-корабль», предназначенный для поражения надводных целей противника в открытых и прибрежных районах моря. В качестве носителей используются ракетные катера пр. 205МОД, 1241.1 и корабли пр. 56У, 61М, 61МП.

В состав КРВ «Термит» входят: 1) крылатые ракеты «Термит» (количество определяется проектом корабля-носителя); 2) пусковые установки КТ-97Б (КТ-138) (по количеству ракет); 3) система управления (СУ); 4) наземное оборудование (НО).

КРВ «Термит» допускает эксплуатацию и боевое применение в любое время суток и года при следующих условиях: дождь, снег, туман, облачность, грозовые разряды; состояние моря — до 5 баллов включительно; боевое транспортирование при состоянии моря до 7 баллов включительно для катеров и до 8 баллов включительно для кораблей; скорость ветра любого направления — до 15 м/с; температура наружного воздуха — от -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$; относительная влажность воздуха — до 98% при температуре $+20^{\circ}\text{C}$; скорость хода носителя — до 50 узлов; скорость хода цели — до 80 узлов.

Боевые возможности КРВ «Термит» характеризуют следующие ТТД:

Дальность обнаружения цели	35—60 км
Дальность стрельбы максимальная (минимальная — 8 км)	90 км
Вероятность попадания в одиночную цель в зависимости от ее тоннажа (с учетом техн. надежности)	от 60 до 80%
Время предстартовой подготовки	240 с
Интервал между пусками	5 с
Скорость полета ракеты на маршевом участке	315—320 м/с
Высота полета на маршевом участке	25 или 50 м

Геометрические и весовые данные ракеты

Длина, м	6,75
Высота (крыло разложено), м	1,20
Высота (крыло сложено), м	1,50
Стартовый двигатель подстыкован, м	1,63
Размах при разложенном крыле, м	2,40
Размах при сложенном крыле, м	1,42
Максимальный диаметр фюзеляжа, м	0,76
Диаметр круга, в который вписывается сечение КР со сложенным крылом, м	1,69
Стартовая масса ракеты, кг	2573
Масса СПРД-192, кг	около 490
Масса БЧ, кг	около 480
Масса окислителя АК-20К, кг	около 635
Масса горючего ТГ-02, кг	около 216
Масса ракеты в конце полета, кг	1259
Масса ракеты без топлива, БЧ, СПРД, кг	752

1.1.1. Крылатая ракета «Термит»

Планер КР выполнен по стандартной самолетной схеме и представляет собой цельнометаллический среднеплан со складывающимся трапецевидным крылом малого удлинения и трехплоскостным оперением, образованным из перьев, геометрически подобных крылу и расположенных под углом 120° друг к другу.

Двигательная установка комбинированная и состоит из стартового порохового ракетного двигателя (массой 483 кг), обеспечивающего разгон КР до 680 ... 720 км/ч (190 ... 200 м/с) и маршевого двигателя (МД). МД представляет собой однокамерный двухрежимный ЖРД с турбонасосной подачей самовоспламеняющихся компонентов топлива — окислителя АК-20К (630 кг) и горючего ТГ-02 (214 кг).

Боевая часть угловая, фугасно-кумулятивная (масса — 480 кг).

Первичным источником электропитания является ампульная аккумуляторная батарея. Раскладывание крыла, а также наддув топливных баков и аккумуляторных батарей осуществляются воздушной системой. Стартовая масса КР — 2550 кг, длина — 6740 мм, размах крыла — 2400 мм, скорость полета — 1150 км/ч. Высота полета на маршевом участке — 25 (50) м.

1.2. Траектория полета КР «Термит» с РГС

По ком. «Старт» с прибора 101 включается бортовой источник питания, разарретируются свободные гироскопы кур-

са, крена и высоты автопилота, запоминая плоскость стрельбы, и срабатывает стартовый агрегат. КР сходит с ПУ, совершает послестартовые довороты по курсу, крену, тангажу и начинает набор высоты.

Траекторию полета КР (рис. 1.4, а) можно разделить на три участка: старт и набор заданной высоты; автономный полет (АП) на маршевой высоте; самонаведение на цель.

Команды на изменение режимов полета КР на траектории выдают программные механизмы ДВМ-А и ДВМ-Р, запускающиеся в момент отрыва бортразъемов КР при сходе с ПУ (ком. 0), и УСН.

В момент старта по ком. 0 и РВ на канал высоты АП подключаются сигналы «Программа взлета» от ПВМ, ΔH и dh/dt от РВ и КР плавно выходит на высоту $H=50$ м.

На 5-й с полета, когда заканчиваются переходные процессы и увеличивается аэродинамическая эффективность рулей и элеронов за счет возрастания скорости КР, с ПВМ выдается ком. 3. При этом происходит следующее:

— уменьшаются передаточные числа АП по угловым скоростям КР, так как для стабилизации КР теперь требуются меньшие углы закладки рулей и элеронов при одних и тех же угловых скоростях КР;

— включаются интегрирующие механизмы каналов курса и крена АП, которые в установившемся режиме полета КР компенсируют статические ошибки наведения, вызванные постоянно действующими возмущениями (аэродинамическая асимметрия, асимметрия тяги и др.).

На участке автономного полета передатчик РГС работает на эквивалент антенны, не излучая энергию в пространство, что затрудняет обнаружение КР противником.

По ком. 10 с ПВМ за 1 с до истечения времени автономного полета t_a передатчик РГС переключается с эквивалента на антенну, и начинается поиск цели на дальностях $d_r \pm 1,3$ км при неподвижной антенне РГС. Размер полосы просмотра ограничен шириной диаграммы направленности антенны по углу ($5^\circ 30'$) и стробом предварительной селекции СПС по дальности (см. рис. 1.6).

По истечении времени t_a по ком. 4 с ПВМ РГС начинает поиск цели по курсу, а СПС начинает движение в сторону меньшей дальности со скоростью 2 мкс/с, компенсируя скорость КР. При этом зона поиска цели по дальности остается неподвижной относительно водной поверхности, смещаясь только по курсовому углу за счет перемещения луча РГС. Та-

ким образом, несмотря на движение КР со скоростью примерно 300 м/с, поиск цели осуществляется в установленном перед стартом районе моря, увеличивая вероятность захвата назначенной цели. Поиск по курсовому углу производится первоначально в узком секторе: луч отклоняется вначале вправо, а затем влево на 5° от направления строительной оси КР.

Если захвата цели не произошло, то по сигналу «Антенна влево 5° » зона поиска по дальности симметрично расширяется с 2,6 до 6 км (рис. 1.5) и начинается поиск по курсу в установленном широком секторе (± 10 или $\pm 15^\circ$) движением луча вправо. Если захвата цели снова не произошло, то по сигналу «Антенна влево 10° » СПС снимается и начинается поиск во всем диапазоне дальности РГС — от 22,5 до 3,6 км. Если захвата не произошло, то за 3 ... 5 км от предполагаемого места цели по ком. t_0 с ПВМ нижняя граница диапазона поиска по дальности уменьшается до 1 км и в РГС отключается схема запрещения сопровождения уводящей по дальности помехи, создавая условия для ее захвата.

При обнаружении цели на любом участке траектории (после ком. 10) в РГС вырабатывается ком. «Захват», по которой поиск прекращается, и начинается сопровождение цели по дальности и угловым координатам. В режиме сопровождения оптическая ось антенны РГС непрерывно следит за целью по курсовому углу и углу места.

Через 0,8 с после ком. «Захват», когда оптическая ось антенны уже точно совместится с направлением на цель, в РГС вырабатывается ком. СК для перевода КР в самонаведение по курсу. При этом с датчика курса антенны управляющие напряжения курса (УНК), пропорциональные углу отклонения строительной оси КР от направления на цель (т. е. от направления оптической оси антенны), подключаются на АП, и КР разворачивается на цель. После совмещения строительной оси КР с оптической осью антенны УНК равны нулю, а с РГС на АП выдаются команды РГУК и СВ. По ком. РГУК разарретируется гироскоп упреждения курса АП, и начинается этап самонаведения КР по курсу методом последовательных упреждений. По ком. СВ от АП отключаются сигналы ΔH и dh/dt радиовысотомера, а подключаются управляющие напряжения высоты (УНВ) с датчика антенны РГС, пропорциональные углу рассогласования строительной оси КР и оптической оси антенны РГС в вертикальной плоскости, для разворота КР на цель.

При совмещении продольной оси КР с направлением оптической оси по команде РГУВ с антенны РГС разарретируется гироскоп упреждения высоты АП для реализации наведения по методу последовательных упреждений и в вертикальной плоскости. При этом методе делается обязательный принудительный изгиб траектории вверх, благодаря чему траектория оказывается выпуклой на всем конечном участке и приведение КР до цели исключается.

1.3. Траектория полета КР «Термит» с ТГС

До ком. 10 траектория полета КР с ТГС аналогична траектории КР с РГС (рис. 1.6, а). По ком. 10 открывается оптический тракт ТГС. По ком. 4 оптическое устройство ТГС начинает покадровый просмотр водной поверхности в секторе ± 5 , ± 10 или $+15^\circ$ по курсу и 4° по высоте (от 3° ниже продольной оси КР до 1° выше нее ступенями по 1° на концах сектора поиска по курсу (рис. 1.6, б)).

Обнаружив реальную морскую цель, ТГС выдает ком. ГС («Головка следит»), по которой поиск прекращается и начинается сопровождение цели оптическим устройством ТГС по угловым координатам.

Через 0,7 ... 1,4 с вырабатывается ком. СК, а при совмещении продольной оси КР с оптической осью ТГС — ком. РГУК, обеспечивая, как и в КР с РГС, самонаведение по курсу методом последовательных упреждений.

Когда за счет сближения КР с целью тепловой поток превысит в 2-3 раза порог захвата, вырабатывается ком. УР-1 («Уровень-1») при наличии ком. СК.

По ком. УР-1 в ТГС отключаются селекторы целей по длительности и спектру, исключавшие захват протяженных и высокотемпературных помех соответственно. К протяженным помехам относятся некоторые виды подсвеченных солнцем облаков, береговая черта, солнечная дорожка. Высокотемпературные помехи создает противник и факелы маршевых двигателей передних КР залпа.

При наличии ком. РГУК и УР-1 выдается ком. СВ, а затем РГУВ и начинается самонаведение в вертикальной плоскости по методу последовательных упреждений, как и в КР с РГС.

При возрастании теплового потока от цели в 50 ... 100 раз выше порога захвата в ТГС вырабатывается ком. УР-2 («Уровень-2»), по которой запирается канал селекции высокотем-

пературных помех и подготавливается к работе схема выработки ком. 11 («Принижение»).

За 200 ... 300 м от цели ТГС выдает на АП ком. 11, по которой траектория КР принижается для попадания не в трубу (тепловой центр излучения корабля, куда наводится оптическая ось ТГС), а в борт корабля.

Команда t_v , подаваемая с ПВМ за 4 ... 5 км до цели, в ТГС обеспечивает:

1. Принудительное формирование ком. СВ при наличии ком. СК и РГУК, если ком. УР-1 в ТГС не вырабатывается до ком. t_v из-за малого теплового потока от цели (рис. 1.6, в).

2. Выработку в ТГС по ком. t_v ком. «Имитация t_v », если до ком. t_v не произошло захвата цели, а в поле зрения присутствует высокотемпературная помеха, которая может создаваться и на самом корабле противника для его маскировки под высокотемпературную помеху.

По этой команде в ТГС отключаются селекторы высокотемпературных и протяженных помех и уменьшается усиление сигналов с фотоприемников цели, создавая таким образом условия для захвата цели с искусственно созданной на ней высокотемпературной помехой.

2. УСТРОЙСТВО ТИПОВОЙ РГС

2.1. Принципы самонаведения

Самонаведение — это способ управления, при котором формирование управляющих сигналов осуществляется бортовой аппаратурой КР при наличии энергетического контакта с целью и ее контрастности на окружающем фоне.

Комплекс приборов, обеспечивающий СН КР на цель, называется системой самонаведения. Система СН является системой автоматического регулирования с управляющим воздействием от цели.

Для осуществления СН КР на цель система управления (СУ) КР должна непрерывно (или дискретно) получать информацию о направлениях на цель в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно главных плоскостей КР (рис. 2.1) и вырабатывать сигналы управления в соответствии с отклонениями КР от требуемой траектории метода наведения. Чувствительным элементом системы СН является устройство самонаведения (УСН). Сигналы управления реализуются с помощью автопилота.

Структурная схема системы СН (рис. 2.2) включает:

— кинематическое звено, определяющее связь движения центров масс КР и цели с положением линии «КР — цель»;

— УСН, входным воздействием которого является угловое рассогласование между линией «КР — цель» и осью визирования УСН, выходным — положение оси визирования;

— автопилот КР, вырабатывающий нужные углы отклонения рулей КР по сигналам от УСН и дополнительным сигналам обратных связей;

— ракету, положение продольной оси которой изменяется отклонением рулей или внешними возмущениями.

УСН определяет угловое отклонение цели от оси визирования и непрерывно совмещает ось визирования с направлением на цель. Таким образом, в системе СН ось визирования УСН является физическим аналогом линии «КР — цель». От нее и ведется отсчет требуемого направления продольной оси или вектора скорости КР. Требуемое направление продольной оси КР или ее вектора скорости связано с направлением линии «КР — цель» условиями метода наведения. Угловое рассогласование, пропорциональное отклонению оси КР от оси визирования УСН, используется в качестве входного воздействия на автопилот. Отклонение рулей вызывает повороты корпуса КР вокруг центра масс. При этом изменяются подъемная и боковая силы, вследствие чего траектория КР изменяется в нужном направлении.

Таким образом, все цепи регулирования контура управления оказываются замкнутыми.

Основное преимущество систем СН — возможность наведения КР на движущиеся цели с высокой точностью. Промах составляет единицы-десятки метров по точечной цели при дальности СН в несколько десятков километров. В противокорабельных КР самонаведение используют на конечном участке траектории.

Для осуществления энергетического контакта УСН с целью наиболее приемлемым оказывается электромагнитное поле, либо излучаемое самой целью (излучение тепловое и работающих передатчиков), либо отраженное ею. В последнем случае цель должна быть облучена («подсвечена») внешним по отношению к ней источником электромагнитной энергии.

СН на источник энергии, расположенный на самой цели, называется *пассивным*, в отличие от *активного*, когда источник подсветки находится на самой КР, или *полуактивного*, если источник подсветки находится вне КР.

В зависимости от диапазона используемых электромагнитных волн различают *радиотехнические* и *тепловые* (инфракрасные) УСН. В КР «Термит» используется либо активное радиотехническое УСН «ДСМ-А» (радиолокационная головка самонаведения — РГС), либо тепловая головка самонаведения (ТГС) «Снегирь».

Точность визирования цели зависит от характеристик диаграммы направленности антенны.

Использование в РГС трехсантиметрового диапазона электромагнитных волн позволяет применять остронаправленные антенные системы для получения более высоких точностей визирования при сравнительно небольших геометрических размерах антенных систем.

ТГС характеризуют абсолютная скрытность работы, более высокая точность и разрешающая способность по угловым координатам при тех же габаритах антенной (оптической) системы, так как они используют электромагнитные волны с гораздо меньшей длиной волны (3 ... 6 мкм). ТГС обладают также большей, по сравнению с РГС, помехозащищенностью, но дальность их действия существенно зависит от метеоусловий и ракурса атакуемой цели.

2.2. Структурная схема активной РГС

РГС должна обеспечивать: автоматический поиск целей по курсу и дальности, выбор и захват заданной цели, ее автоматическое сопровождение по угловым координатам и дальности, а также выработку управляющих напряжений на автопилот, пропорциональных углам рассогласования между осью визирования УСН (оптической осью) и линией «КР — цель» в азимутальной и вертикальной плоскостях.

В соответствии с решаемыми задачами в структурную схему РГС (рис. 2.3) входят подвижный антенный блок, передатчик, синхронизатор, приемник, система автоматического сопровождения цели антенной по направлению (АСН) и система автоматического сопровождения цели по дальности (АСД). В систему АСН входят блок выделения ошибки сопровождения цели антенной (БВО) и следящие приводы антенны по курсовому углу и углу места.

Синхронизатор обеспечивает синхронизацию временных процессов в РГС.

Высокочастотные зондирующие импульсы ПРД поступают на антенну. Антенна формирует требуемую диаграмму на-

правленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях и облучает цель. Положение центра диаграммы направленности обычно совпадает с осью визирования (оптической осью) РГС.

Часть отраженной целью энергии (эхо-сигнал), распространяясь в обратном направлении, принимается антенной и поступает в ПРН. Время задержки эхо-сигнала τ_3 относительно зондирующего импульса характеризует дальность до цели $\tau_3 = 2D_{ц}/c$ мкс, где $c \approx 300$ м/мкс — скорость распространения электромагнитной энергии. В соответствии с этим $D_{ц} = 150\tau_3$ м.

В ПРН выделяется огибающая ВЧ-импульса (видеосигнал), усиливается и поступает на БВО и систему АСД.

Система АСД осуществляет захват и селекцию цели по дальности путем открытия ПРН узким стробом дальности только на время приема отраженных от захваченной цели импульсов. Поскольку задержка эхо-сигналов непрерывно уменьшается по мере сближения КР с целью, следящая система АСД непрерывно определяет рассогласование следящих полустробов относительно эхо-импульсов и совмещает строб дальности и полустробы с отметкой цели, осуществляя таким образом автосопровождение захваченной цели по дальности. При этом эхо-импульсы от целей, находящихся на других дальностях, имеют другую задержку, а следовательно, со стробом дальности не совпадают по времени и в ПРН не поступают (рис. 2.4).

Для наведения КР на цель информация о дальности до цели не используется, однако система АСД имеет важное значение, обеспечивая помехозащищенность РГС и работу системы АСН только по захваченной цели. Таким образом, задачей АСД является не точное измерение дальности до цели в процессе СН, а только селекция сигналов от захваченной цели и выдача ком. «Захват».

Автоматическое определение угловых координат цели осуществляется системой АСН совместно с ПРН и обеспечивается за счет использования антенного устройства направленного действия и сканирования диаграммы направленности антенны.

Направленные свойства антенны характеризуются диаграммой направленности (ДНА), которая графически определяет зависимость плотности потока мощности ВЧ-энергии в равноудаленных точках пространства от направления на эти точки. Ширина диаграммы направленности (ШДН) в го-

горизонтальной и вертикальной плоскостях обычно определяется по уровню половинной мощности (см. рис .2.7).

Сканирование ДНА по определенному закону осуществляет высокочастотная часть антенны. Одновременно ВЧ-часть антенны вырабатывает опорные напряжения по КУ и УМ, фаза которых однозначно определяет положение ДНА при сканировании

БВО по информации о положении цели, заключенной в определенных признаках, принятых от цели эхо-сигналов по отношению к опорным напряжениям, вырабатывает напряжения, пропорциональные угловым отклонениям электрической оси антенны от линии «КР — цель» в горизонтальной $U_{с. о. к}$, вертикальной $U_{с. о. в}$ плоскостях.

Под действием этих напряжений двигатели приводов курса и высоты совмещают ось антенны с направлением на цель, сводя ошибку рассогласования к нулю.

С приводами антенны связаны токосъемники потенциометрических датчиков углового рассогласования между электрической осью антенны (линией визирования цели) и продольной осью КР. Напряжения с датчиков поступают на АП для разворота строительной оси КР на цель в соответствии с принятым методом наведения.

Необходимо отметить, что задача УСН по измерению текущего угла рассогласования оси антенны от направления на цель не зависит от выбранного метода наведения.

Таким образом, процесс самонаведения можно условно разделить на два этапа.

1. Совмещение оси визирования УСН с направлением на цель системой АСН и выработка управляющих напряжений соответствующих рассогласованию фактического направления продольной оси КР с требуемым.

2. Изменение направления продольной оси КР в соответствии с принятым методом наведения. Наведение продольной оси КР может осуществляться как в настоящее, так и в упрежденное место цели, а электрическая ось антенны РГС всегда наводится на цель.

2.3. Основные параметры РГС

Основными тактико-техническими данными РГС являются: дальность действия; точность сопровождения цели; разрешающая способность по дальности и угловым координатам; углы

поля зрения и обзора; период обзора; помехозащищенность; избирательность.

Дальность действия РГС $D_{сн}$ определяется таким расстоянием от КР до цели, на котором происходит надежный захват и автосопровождение цели по угловым координатам и дальности.

$D_{сн}$ зависит прежде всего от технических параметров РГС, типа и характера цели, состояния атмосферы, влияния подстилающей поверхности.

Рассмотрим основные параметры РГС, влияющие на $D_{сн}$ без учета влияния атмосферы и подстилающей поверхности.

Если ПРД создает импульсную мощность $P_{и}$, то плотность потока мощности Π_1 у цели, находящейся на расстоянии D , будет равна:

$$\Pi_1 = \frac{P_{и} G_a \eta_{ПРД}}{4\pi D^2}, \quad (2.1)$$

где G_a — коэффициент направленного действия антенны (КНД); $\eta_{ПРД}$ — КПД передающего антенно-волноводного тракта; $4\pi D^2$ — площадь сферы радиусом D .

Цель переизлучает в окружающее пространство мощность P_1 , равную:

$$P_1 = \Pi_1 \sigma, \quad (2.2)$$

где σ — средняя эффективная площадь рассеяния цели (ЭПР). Часть переизлученной мощности P_1 создает у антенны РГС плотность потока мощности, равную:

$$\Pi_2 = \frac{P_1}{4\pi D^2}. \quad (2.3)$$

Под действием Π_2 на входе ПРН создается мощность принимаемых отраженных сигналов, равная:

$$P_{пр} = S_a \Pi_2 \eta_{ПРН}, \quad (2.4)$$

где $\eta_{ПРН}$ — КПД приемного антенно-волноводного тракта.

Эффективная площадь антенны РГС при этом равна

$$S_a = G_a \lambda^2 / 4\pi, \quad (2.5)$$

где $\lambda = c/f$ — длина рабочей волны РГС; f — несущая частота ПРД; c — скорость распространения радиоволн.

Подставляя в выражение (2.4) формулы (2.1) — (2.3) и (2.5) получаем основное уравнение радиолокации:

$$P_{пр} = \frac{P_a G_a^2 \sigma \lambda^2 \eta_{ПРН} \eta_{ПРД}}{(4\pi)^3 D^4}. \quad (2.6)$$

Это уравнение связывает между собой величину мощности отраженных сигналов на входе ПРН в зависимости от технических параметров РЛС, ЭПР цели и расстояния до цели.

Если мощность на входе ПРН ограничить его чувствительностью, т. е. минимальной мощностью, необходимой для приема сигналов с заданной вероятностью правильного обнаружения и ложной тревоги, то условию $P_{\text{пр}} = P_{\text{пр}_{\text{мин}}}$ соответствует $D = D_{\text{сн}_{\text{макс}}}$.

Известно, что

$$P_{\text{пр}_{\text{мин}}} = N_{\text{ш}} m k T_0 \Delta f, \quad (2.7)$$

где $m = (P_{\text{с}}/P_{\text{ш}})_{\text{вых}}$ — коэффициент различимости, который определяет необходимое для захвата и сопровождения цели минимальное отношение сигнал-шум на выходе ПРН (для РГС $m = 5 \dots 10$); $N_{\text{ш}}$ — коэффициент шума, показывающий, во сколько раз реальный ПРН ухудшает отношение сигнала к шумам по сравнению с нешумящим (идеальным) ПРН; k — постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{23}$ Дж/К; T_0 — температура антенно-волноводного тракта, К; $\Delta f = f_1 - f_2$ — полоса пропускания частот ПРН. Ширина частотного спектра Δf связана с длительностью импульса зависимостью

$$\Delta f = 1/\tau_{\text{и}}. \quad (2.8)$$

С учетом формул (2.6) — (2.8) при условии, что передача и прием сигналов осуществляются одной и той же антенной, максимальная дальность самонаведения будет равна:

$$D_{\text{сн}} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} \tau_{\text{и}} \sigma G_{\text{а}}^2 \lambda^2 \eta_{\text{ПРН}} \eta_{\text{ПРД}}}{N_{\text{ш}} m k T_0 (4\pi)^3}}. \quad (2.9)$$

Таким образом, максимальная дальность СН без учета влияния атмосферы и подстилающей поверхности зависит прежде всего от энергии зондирующего импульса, длины волны $P_{\text{и}} \tau_{\text{и}}$, КНД антенны, чувствительности ПРН и ЭПР цели. Наибольшее влияние на $D_{\text{сн}}$ оказывает КНД антенны. Так, для увеличения $D_{\text{сн}}$ в два раза мощность излучаемых импульсов или чувствительность ПРН надо увеличить в 16 раз, в то время как КНД только в четыре раза. Как видно из формулы $G_{\text{а}} = S_{\text{а}}/4\pi\lambda^2$, для повышения КНД антенны при ограниченных размерах антенн РГС (30...60 см) необходимо уменьшать длину волны, хотя $D_{\text{сн}}$ при этом также будет уменьшаться. Наиболее приемлемыми для РГС являются сантиметровые волны, для которых коэффициент затухания в

атмосфере незначителен, а КНД достигает величин 300...1200 при приемлемых габаритах антенны.

Для параболического отражателя антенны диаметром d $G=4,6d^2/\lambda^2$, а ширина диаграммы направленности $2\beta_{0,5} = (60...70)\lambda/d$.

При ограниченной импульсной мощности ПРД $D_{сн}$ возрастает при увеличении длительности импульса $\tau_{и}$, однако при этом ухудшается разрешающая способность РГС по дальности. Обычно в РГС $\tau_{и}=0,5...1,5$ мкс.

Импульсная мощность $P_{и}\tau_{и}$ ПРД связана с его средней мощностью соотношением $P_{и}\tau_{и}=P_{ср}T_{п}$, где $T_{п}=1/F_{п}$ — период посылок зондирующих импульсов, а $F_{п}$ — частота посылок.

Из соотношения $P_{и}=P_{ср}T_{п}/\tau_{и}$ видно, что чем больше $T_{п}$, тем больше отношение $T_{п}/\tau_{и}$, называемое скважностью, а значит больше $P_{и}$ и дальность самонаведения $D_{сн}$ при одной и той же $P_{ср}$ ПРД.

Однако $T_{п}$ должен выбираться не только из условия повышения $P_{и}$ ПРД. Период посылок зондирующих импульсов определяется также условием однозначного определения дальности до цели и требованием перехода РГС от поиска цели на ее автосопровождение в пределах полуширины диаграммы направленности антенны (ДНА) при минимальной вероятности ложного срабатывания системы захвата цели.

Действительно, для однозначного определения дальности следующий зондирующий импульс должен излучаться только через некоторое время после приема эхо-импульса от цели, находящейся на $D_{сн_{макс}}$ (задержка эхо-импульса при этом $\tau_{макс}$).

Тогда

$$T_{п_{мин}} \geq 1,25 \frac{2D_{сн}}{c} \geq 1,25 \tau_{макс}$$

Максимальный период посылок выбирается из условий захвата цели и угловой скорости поиска Ω .

При поиске цели луч антенны «наползает» на цель, и эхо-импульсы начинают приниматься РГС.

Для уменьшения вероятности ложной тревоги захват цели должен происходить при приеме не менее пяти импульсов подряд ($n=5$). Такое количество импульсов будет принято за время облучения цели $T_{обл}=T_{п_{макс}} n$.

Время перехода систем АСД и АСН на автосопровождение с учетом их инерционности составляет $T_{захв}$. Таким образом, общее время перехода РГС из поиска на сопровождение



цели составляет $T_{\text{обл}} + T_{\text{захв}} = nT_{\text{п макс}} + T_{\text{захв}}$. За это время антенна развернется на угол $\beta = (nT_{\text{п макс}} + T_{\text{захв}})\Omega$, который должен быть меньше или равен полуширине ДНА β_0 . Отсюда

$$T_{\text{п макс}} \leq (\beta_0/\Omega - T_{\text{захв}})/n, \quad \text{т.е.} \quad 1,25 \frac{2D_{\text{сн}}}{c} \leq T_{\text{п}} \leq (\beta_0/\Omega - T_{\text{захв}}).$$

Количественной характеристикой отражающих свойств корабля-цели является ЭПР корабля. Она зависит от его геометрических размеров, архитектуры и диэлектрических свойств; параметров РГС; несущей частоты (т. е. от длины волны), ШДН, длительности зондирующих импульсов, а также от волнения моря, дальности до корабля и его курсового угла по отношению к линии визирования. В табл. 2.1 приведены усредненные статистические значения ЭПР отдельных классов кораблей для сантиметрового диапазона волн, волнения моря 3—4 балла, углов облучения (углов места), близких к нулю, курсовых углов цели, равных 90° .

Таблица 2.1

Класс корабля	ЭПР σ , м ²	Класс корабля	ЭПР σ , м ²
авм	70 000 ... 80 000	фр	3000 ... 5000
кра	10 000 ... 15 000	рка, тка	250 ... 500
тр	15 000 ... 20 000	тщ (до 500 ... 600 т)	500 ... 1200
эм	5000 ... 10 000	пл (в надв. полож.)	50 ... 150

Для ракет с малой высотой полета H параметры РГС выбирают такими, чтобы обнаруживать цели заданного класса на дальности радиолокационного горизонта: $D_{\text{сн}} = 4,12(\sqrt{H} + \sqrt{h})$ км, где h — средняя высота центра отражения цели.

Минимальная дальность сопровождения цели по дальности определяется в основном длительностью зондирующих импульсов $\tau_{\text{и}}$ и временем $t_{\text{в}}$ восстановления чувствительности ПРН после излучения зондирующего импульса, которое обычно меньше или равно $\tau_{\text{и}}$, т. е. $D_{\text{мин}} = 150(\tau_{\text{и}} + t_{\text{в}})$ м.

Минимальная дальность захвата цели РГС зависит в основном от высоты полета, допустимого угла снижения, маневренных свойств и скорости КР. При полете на малых вы-

сотах минимальная дальность захвата ограничивается также влиянием отражений от моря в ближней от КР зоне.

Углом зрения РГС называется угол, в пределах которого (при неподвижной антенне) происходит захват цели и переход к ее устойчивому автосопровождению по угловым координатам при максимальной дальности действия РГС. Следовательно, угол зрения РГС определяется шириной диаграммы направленности антенны и зависит от ЭПР цели. Действительно, мощность отраженного от цели сигнала при прочих равных условиях с уменьшением ЭПР уменьшается (так же, как и с увеличением дальности), поэтому при уменьшении ЭПР цели (как и при увеличении дальности) угол зрения РГС уменьшается.

Угол обзора РГС 2α (рис. 2.5) определяется требуемой шириной полосы просмотра морской поверхности B при поиске цели и зависит от сектора поиска 2γ антенны РГС и ширины ДНА: $2\alpha = 2\gamma + 2\beta_{0,5}$. Ширина полосы просмотра должна задаваться такой, чтобы обеспечить требуемую вероятность нахождения цели в полосе обзора с учетом погрешностей целеуказания и вывода КР в район цели, маневренных свойств КР и максимальной скорости цели.

Угловая скорость обзора Ω при заданной ШДН должна обеспечивать минимальное время обзора пространства в заданном углу с допустимой вероятностью пропуска цели и требуемой вероятностью ее захвата.

При малой высоте полета КР и сравнительно широкой ДНА в вертикальной плоскости ($3 \dots 6^\circ$) обеспечивается обзор пространства на всей дальности без поиска в вертикальной плоскости.

Разрешающая способность РГС по дальности может оцениваться расстоянием ΔD между двумя целями, расположенными в пределах ширины ДНА, при котором эхо-сигналы от них принимаются раздельно и не нарушается работа систем АСД и АСН по захваченной цели.

Раздельный прием эхо-сигналов от разных целей возможен только при условии, что эхо-сигнал от первой цели закончится раньше, чем начнется сигнал от второй цели. Поэтому в неавтоматизированных РЛС потенциальное значение разрешающей способности δD пропорционально длительности зондирующего импульса передатчика $\delta D = c\tau_{\text{зонд}}/2$.

В автоматизированных РЛС, в том числе в РГС, при захвате цели по дальности следящие полустробы системы АСД совмещаются с эхо-импульсом (см. рис. 2.4). Если в полу-

стробы попадает хотя бы часть импульса от другой цели, то сопровождение по дальности будет нарушено. Поэтому потенциальная разрешающая способность системы АСД по дальности может определяться длительностью следящих полустробов.

Длительность полустробов выбирается такой, чтобы они перекрывали эхо-импульс. Длительность эхо-импульсов от точечных целей при условии оптимальной полосы пропускания приемника практически равна $\tau_{\text{зонд}}$.

Длительность эхо-импульсов от реальных морских целей $\tau_{\text{р. м. ц}}$ увеличивается пропорционально длине цели в направлении визирования. Как видно из рис. 2.8, $\tau_{\text{р. м. ц}} = \tau_{\text{зонд}} + L(\sin q)/c$, где q — курсовой угол цели к направлению визирования.

Для сопровождения цели по угловым координатам на БВО системы АСН должны поступать только эхо-импульсы от захваченной цели. Селекция эхо-импульсов по дальности осуществляется стробом дальности системы АСД, длительность которого обычно всегда больше длительности следящих полустробов. Если в строб дальности будут попадать эхо-импульсы от другой цели, то они будут также поступать и на БВО и сопровождение захваченной цели будет нарушено. Исходя из этого, в качестве оценки потенциальной разрешающей способности РГС по дальности можно принять длительность строба дальности системы АСД, поскольку основной задачей РГС является сопровождение цели по угловым координатам. Таким образом, для РГС $\delta D_{\text{пот}} = 150\tau_{\text{стр}}$ м.

Разрешающая способность РГС по направлению определяется минимальной величиной угла $\Delta\alpha$ между двумя целями, расположенными в разных направлениях, но на одном расстоянии от РГС, при котором не нарушается сопровождение захваченной цели по угловым координатам. Потенциальное значение разрешающей способности РГС по направлению можно оценивать половиной угла зрения РГС на данной дальности.

2.4. Функциональная схема РГС

2.4.1. Синхронизация работы РГС

Синхронизацию импульсных устройств РГС (рис. 2.12), а также установку и ограничение зоны поиска цели по дальности осуществляет блок ДС-7СА. В его состав входят: задающий генератор; схемы формирования импульсов синхро-

низации, бланкирующих импульсов и импульсов запуска ПРД (ИЗП), ШАРУ, РЧД; схема формирования СПС.

Задающим генератором схемы синхронизации является мультивибратор, работающий в режиме самовозбуждения. Период собственных колебаний мультивибратора (рис. 2.12, а) равен 500 мкс и модулируется напряжением частоты 400 Гц в интервале от ± 10 до ± 20 мкс относительно собственных. Это приводит к вобуляции частоты следования синхроимпульсов, что обеспечивает повышение помехоустойчивости РГС при активных ретрансляционных помехах.

Импульсы задающего генератора передним фронтом запускают генератор синхроимпульсов. Импульсы синхронизации длительностью 2,8 мкс поступают на формирование импульсов запуска ШАРУ, РЧД, ИЗП, СПС и на генератор схемы регулируемой задержки схемы АСД блока ДС-8СА.

Через 12 мкс после синхронизирующего импульса вырабатывается ИЗП, который подается на подмодулятор передатчика. Магнетрон возбуждается, генерируя напряжение СВЧ, которое подается на антенну и излучается в пространство (рис. 2.12, в).

Для понимания физической сущности процессов в РГС рассмотрим происходящие в ней временные процессы с учетом полного радиолокационного сигнала на входе ПРН при наличии в поле зрения РГС одноптичных целей с большой ЭПР и отсутствии искусственных помех (рис. 2.12, д).

В момент излучения зондирующего импульса в приемный тракт «пролезает» часть мощности ПРД, что может привести к перегрузке ПРН и срабатыванию схемы АСД. Для предотвращения этого на время излучения системы АСД и ПРН запираются бланкирующим импульсом длительностью 1,6 мкс (рис. 2.12, з). Запуск генератора бланк-импульса осуществляет ИЗП, а срыв генерации — задержанный на 1,6 мкс ИЗП. В ПРН бланк-импульс подается на ПУПЧ бл. ДС-3С, внося затухание 60...70 дБ.

Мощность отраженных импульсов, поступающих в ПРН, уменьшается пропорционально D^4 . Так как КР имеет малую высоту полета, то мощность эхо-сигналов от взволнованной морской поверхности в ближней от КР зоне может также привести к перегрузке ПРН и срабатыванию схемы АСД. Чтобы этого не произошло, коэффициент усиления ПРН в момент излучения должен быть минимальным и повышаться с увеличением дальности. Эта задача решается с помощью

схемы регулирования чувствительности по дальности блока ДС-4С.

Запуск схемы РЧД осуществляется до излучения зондирующего импульса импульсами запуска схемы РЧД длительностью 2,8 мкс, задержанными относительно синхроимпульсов на 3-й мкс. Схема РЧД блока ДС-4С вырабатывает отрицательное импульсное напряжение РЧД, уменьшающееся по экспоненциальному закону и имеющее длительность около 120 мкс (рис. 2.12, е). Во время своего действия напряжение РЧД уменьшает коэффициент усиления УПЧ блока ДС-4С, изменяя тем самым чувствительность ПРН по экспоненциальному закону от 40 до 74 дБ на дальностях от КР 0...15 км соответственно.

Уменьшение усиления ПРН предотвращает захват отражений от волн и, кроме того, облегчает режим работы ПРН при сопровождении цели в ближней зоне.

Для предотвращения захвата максимальных отражений от волн нижняя граница диапазона поиска строга дальности относительно ИЗП дополнительно устанавливается в пределах 24 мкс (3,6 км), а после ком. t_v — 10 мкс (1,5 км).

За один период ПРН открывается дважды: стробами ШАРУ и поисковыми стробами АСД (рис. 2.11, ж, з), которые при совпадении с СПС подаются на блоки ДС-3С и ДС-4С как стробы ВЧ и УПЧ соответственно.

Отрицательные импульсы ШАРУ длительностью 3 мкс совпадают по времени с синхроимпульсами. Они открывают УПЧ блока ДС-4С за 12 мкс до излучения следующего зондирующего импульса, т. е. примерно через 500 мкс после излучения зондирующего импульса. При этом в стробе ШАРУ эхо-сигналы практически отсутствуют даже при наличии цели на направлении излучения, так как в строб может попасть только излучение от цели, находящейся на дальности примерно 75 км от КР, а эхо-сигналы от нее практически затухают в атмосфере. В силу этого при отсутствии искусственных помех строб ШАРУ выделяет собственные шумы ПРН (шумовые импульсы), которые усиливаются и поступают на схему ШАРУ ПРН для регулирования коэффициента усиления УПЧ обратно пропорционально мощности шумов, т. е. для стабилизации чувствительности ПРН. Так как ПРН открывается также стробами дальности (стробы ВЧ, УПЧ), то для предотвращения попадания эхо-сигналов и шумов, совпадающих с ними, схема ШАРУ блока ДС-4С открывается стробом

ШАРУ, пропуская на нее только шумовой импульс (рис. 2.12, и).

Схема селекции цели по дальности служит для выработки stroba предварительной селекции (СПС) длительностью 17 мкс (40 мкс), в пределах которого производится первоначальный поиск цели по дальности. Задержка СПС относительно момента запуска ПРД устанавливается в пределах 40...130 мкс (6...19,5 км) и пропорциональна величине напряжения d_r с прибора 101 ПУС «Клен-205УМ», которое запоминается следящей системой программного устройства ЭМПУ-1 блока ДС-10СА. По ком. 4 ЭМПУ-1 начинается программное уменьшение задержки СПС со скоростью 2 мкс/с, компенсируя скорость полета КР. По сигналу «Ант. влево 5°» СПС расширяется с 17 до 40 мкс, продолжая уменьшение задержки. По сигналу «Ант. влево 10°» СПС снимается.

При наличии СПС поисковые stroбы дальности блока ДС-8С длительностью 8 мкс поступают на выход схемы дальности блока ДС-7СА в виде совпадающих по времени stroбов ВЧ и УПЧ только при совпадении с СПС, что обеспечивает захват цели на дальности установки СПС (т. е. на установленной дальности d_r). Stroбы ВЧ в блоке ДС-3С уменьшают затухание принятых эхо-сигналов на 30 дБ, а stroбы УПЧ в блоке ДС-4С открывают УПЧ. Таким образом, при отсутствии stroбов принятые антенной сигналы, ослабленные в 1000 раз, могут поступать в блок ДС-3С, но в блоке ДС-4С их усиление не производится, так как УПЧ закрыт. Это позволяет с помощью stroбов отселектировать ту цель, задержка эхо-импульсов которой равна задержке stroбов ВЧ и УПЧ.

При снятии СПС поисковые stroбы блока ДС-8С в виде stroбов ВЧ и УПЧ перемещаются от 150 до 24 мкс (или 10 мкс) со скоростью 650 мкс/с, открывая ПРН и просматривая таким образом водную поверхность «скользящим окном», размеры которого ограничиваются шириной ДНА и длительностью stroба ($8 \text{ мкс} = 1,2 \text{ км}$), во всем диапазоне дальностей захвата цели (22,5...3,6 км или 22,5...1,5 км после ком. t_v).

Поскольку stroбы перемещаются с больших дальностей в сторону меньших, то при прочих равных условиях вероятность захвата дальней цели увеличивается.

По ком. СК длительность stroбов ВЧ и УПЧ уменьшается до 2,5 мкс (375 м), что уменьшает вероятность приема сигналов от других целей и предотвращает их влияние на точ-

ность сопровождения захваченной цели по дальности и угловым координатам.

На рис. 2.12, к показана чувствительность ПРН в зависимости от дальности (при открытии стробами ШАРУ, ВЧ и УПЧ), а на рис. 2.12, л — полный радиолокационный сигнал, приведенный к выходу ПРН.

2.4.2. Высокочастотная часть антенны

Высокочастотная часть антенного устройства (блока ДС-1СА) предназначена для обеспечения направленного излучения и приема электромагнитной энергии, а также модуляции принятой ВЧ-энергии в зависимости от угла между направлением на цель и РСН.

Она состоит из антенны и узла электронного сканирования ДНА на прием (см. рис. 2.15, 2.16).

Антенна представляет собой параболический рефлектор (зеркало) диаметром 420 мм, в фокусе которого расположен четырехрупорный излучатель. Каждый рупорок излучателя соединен прямоугольным волноводом четырехфазной линии передачи с соответствующим плечом 1...4 турникетного сочленения узла сканирования.

В состав узла электронного сканирования входят: турникетное сочленение, ферритовый переключатель, невзаимный делитель, фазовращатель и разрядник. Основные узлы блока соединяются между собой волноводными изгибами, скрутками и петлями.

Узел сканирования имеет два канала: суммарный и разностный, соединенные с невзаимным делителем. Суммарный канал образуется каналом 5 турникетного сочленения, фазовращателем и каналом 2 невзаимного делителя.

Фазовращатель представляет собой прямоугольный волновод с диэлектрической пластиной, которая изменяет фазовую скорость волн в волноводе и обеспечивает уравнение электрических длин суммарного и разностного каналов.

Разностный канал образуется каналом 3 невзаимного делителя, ферритовым переключателем, разрядником и каналами 6—7 турникетного сочленения, по круглому волноводу которого могут одновременно распространяться волны H_{11} горизонтальной и вертикальной поляризации.

Турникетное сочленение каналами 1—4 и четырехфазной линией передачи соединено с рупорным излучателем; кана-

лом 5 — с суммарным, а круглым волноводом (каналы 6, 7) — с разностным каналом узла сканирования.

Турникетное сочленение в режиме передачи делит ВЧ-энергию магнетрона поровну между рупорками излучателя, а в режиме приема разлагает суммарное поле, возбуждаемое рупорками, на три типа волн: поперечную электромагнитную волну ТЕМ и волны H_{11} горизонтальной и вертикальной поляризации. Волна ТЕМ возникает при любом положении цели относительно РСН и возбуждает в прямоугольном волноводе 5 суммарного канала волну вида H_{01} .

Волны H_{11} горизонтальной и вертикальной поляризации возникают только при отклонении цели по КУ и УМ соответственно и поступают в разностный канал.

Ферритовый переключатель ФП осуществляет электронное, квадрантное сканирование приемной ДНА. В круглом волноводе ФП расположены два ферритовых стержня Ф1 и Ф2 и две взаимно перпендикулярные поглощающие пластины 1 и 2, расположенные под углом 45° к плечу 5 турникетного сочленения. Ферриты перемагничиваются магнитным полем катушек ФК-1 и ФК-2, которые питаются меандрами токов $УН \pm 45^\circ$ и $УН \pm 90^\circ$ соответственно.

Разрядник совместно с невзаимным делителем не пропускает в антенну ВЧ-энергию передатчика через разностный канал, предотвращая сканирование ДНА в режиме передачи.

Невзаимный делитель представляет собой волноводный многополюсник, который благодаря ферриту, подмагничиваемому продольным полем постоянного магнита, обладает невзаимными свойствами при передаче и приеме ВЧ-энергии.

В плече 2 невзаимного делителя происходит алгебраическое сложение суммарного сигнала (волны H_{11}) с разностными (волны H_{01}), обеспечивающими амплитудную модуляцию принятого сигнала пропорционально отклонению цели от РСН.

Невзаимный делитель и ФП представляют собой ферритовые устройства с использованием эффекта Фарадея. Этот эффект заключается в том, что ферритовый стержень, подмагничиваемый продольным магнитным полем, разворачивает плоскость поляризации электромагнитной волны, имеющей поперечное магнитное поле, на угол, пропорциональный длине ферритового стержня и напряженности подмагничивающего поля H_0 (при незначительной величине H_0). Под плоскостью поляризации понимают плоскость, в которой расположен вектор напряженности электрического поля волны \vec{E} . Поскольку

в электромагнитной волне векторы \vec{E} и \vec{H} взаимно перпендикулярны, то поворот плоскости вектора \vec{E} сопровождается поворотом на тот же угол плоскости вектора напряженности магнитного поля \vec{H} . Поворот плоскости поляризации всегда происходит по часовой стрелке, если смотреть вдоль вектора подмагничивающего поля независимо от направления распространения волны.

2.4.3. Передающий канал РГС

Передатчик РГС ДСМ-А (блок ДС-2С) состоит из подмодулятора, модулятора, магнетронного генератора, схемы защиты и волноводного тракта (рис. 2.11). ИЗП с блока ДС-7СА усиливается подмодулятором и запускает модулятор. Модулятор формирует мощные отрицательные импульсы, возбуждающие магнетронный генератор. Магнетрон МИ-159 на каждый запускающий импульс вырабатывает ВЧ-импульс в диапазоне $Y-400 \dots Y+400$ МГц мощностью 40 кВт.

При коротком замыкании, пробое или искрениях в модуляторе или магнетроне схема защиты на 0,2...0,5 с отключает цепь питания высоковольтного выпрямителя, предохраняя их от перегрузки. Если искрения будут продолжаться, то схема защиты вновь отключит высокое напряжение.

ВЧ-импульсы генератора через аттенюатор поступают на ферритовый циркулятор, а часть мощности с ослаблением 55 дБ — на схему АПЧК ПРН.

Ферритовый циркулятор обеспечивает передачу ВЧ-энергии от магнетрона в антенное устройство, развязку магнетрона от антенны по отраженной волне не менее, чем на 30 дБ, а также коммутацию ВЧ-тракта на передачу и прием.

С выхода циркулятора ВЧ-энергия через ВЧ-переключатель до ком. 10 поступает на эквивалент антенны, а после ком. 10 — на антенну. Часть ВЧ-энергии «поджигает» разрядник защиты приемника, он накоротко замыкается, и падающая на него ВЧ-энергия ПРД отражается и поглощается нагрузкой. Незначительная часть мощности ПРД все же через разрядник «пролезает» в ПРН.

Эквивалент антенны представляет собой согласованную нагрузку, рассчитанную на рассеяние 120 Вт средней мощности. С аттенюатора эквивалента, имеющего затухание 55 дБ, часть ВЧ-энергии выводится для контроля частоты ПРД с помощью КПА.

В ВЧ-части блока ДС-1СА ВЧ-энергия ПРД через плечи 1, 2 невзаимного делителя и фазовращатель поступает в плечо 5 турникетного сочленения и поровну распределяется между рупорками излучателя, которые возбуждаются синфазно и совместно с рефлектором формируют суммарную ДНА на передачу. Суммарная ДНА образуется путем сложения диаграмм направленности каждого рупорка, которые называются парциальными диаграммами. Поскольку каждый из рупорков смещен относительно оптической оси антенны, то и парциальные диаграммы смещены относительно оси антенны («перекошены») и пересекаются по уровню $0,64P_{\text{макс}}$ (см. рис. 2.7).

2.4.4. Система АСН РГС

В систему АСН входят антенное и приемное устройства (блоки ДС-1СА, ДС-3С, ДС-4С), блок управления ДС-5С и блок усилителей ДС-6С.

Чувствительным элементом системы АСН является ВЧ-часть антенного устройства.

Представив антенну в виде оптической линзы, в фокусе которой расположен четырехрупорный приемник излучения (рис. 2.17), рассмотрим принцип формирования команд управления в системе АСН.

УСН должно автоматически измерять угол рассогласования $\varphi_{\text{ц}}$ между оптической осью антенны и направлением на цель, который равен модулю вектора рассогласования $\vec{\Delta}_{\text{ц}} = \vec{D}_0 - \vec{X}_0$, где \vec{D}_0 и \vec{X}_0 — единичные векторы дальности и оси антенны. Угол $\varphi_{\text{ц}}$ лежит в плоскости рассогласования, т. е. в плоскости, проходящей через ось антенны и направление на цель. Положение плоскости рассогласования относительно отсчетной определяется углом фазирования $\Theta_{\text{ц}}$. Вектор рассогласования $\Delta_{\text{ц}}$ может быть представлен в декартовой системе координат проекциями $\Delta_{\text{КУ}}$ и $\Delta_{\text{УМ}}$ на взаимно перпендикулярные плоскости управления КР или в полярной системе координат своим модулем Δ и углом фазирования $\Theta_{\text{ц}}$.

Система АСН РГС ДСМ-А вырабатывает в декартовой системе координат напряжение рассогласования постоянного тока, пропорциональное углам рассогласования $\varphi_{\text{КУ}}$ и $\varphi_{\text{УМ}}$. Величина углов определяется проекциями $\Delta_{\text{КУ}}$ и $\Delta_{\text{УМ}}$: $U_{\text{КУ}} = f_1(\varphi_{\text{КУ}}, \varphi_{\text{УМ}})$; $U_{\text{УМ}} = f_2(\varphi_{\text{УМ}}, \varphi_{\text{КУ}})$.

Так как связь между каналами измерения углов $\varphi_{ку}$ и $\varphi_{ум}$ при малых углах рассогласования незначительна, то $U_{ку} = f_1(\varphi_{ку})$; $U_{ум} = f_2(\varphi_{ум})$.

На рис. 2.17 видно, что углы рассогласования $\varphi_{ц}$, $\varphi_{ку}$, $\varphi_{ум}$ однозначно определяют положение изображения цели в фокальной плоскости антенны.

Представим принятую от цели общую мощность отраженного сигнала в виде единичного вектора $P_{общ}$. С помощью антенного устройства этот вектор разлагается на две составляющие: суммарную \bar{P}_{Σ} и разностную \bar{P}_{Δ} . Разностный вектор характеризует направление и величину отклонения цели от оси антенны. Проекции этого вектора $\bar{P}_{ку}$ и $\bar{P}_{ум}$ на взаимно перпендикулярные плоскости характеризуют сторону и величину отклонения цели по курсовому углу и углу места соответственно. Таким образом, в антенном устройстве осуществляется разложение принятого сигнала на составляющие: $\bar{P}_{общ} = \bar{P}_{\Sigma} + \bar{P}_{ку} + \bar{P}_{ум}$.

Отражатель АУ фокусирует ВЧ-энергию в плоскости раскрыва четырехрупорного излучателя (рис. 2.18).

Реальная антенна дает изображение цели не в виде точки, а в виде пятна, размеры которого в основном зависят от свойств антенны и угловых размеров цели. Положение центра пятна (центра фокусировки ВЧ-энергии) определяется угловым положением цели относительно оси антенны, т. е. углом прихода плоской волны отраженного от цели сигнала.

Если цель находится на оптической оси, то центр фокусировки находится в центре раскрыва излучателя и в каждый рупорок попадает одинаковая часть мощности принятого сигнала. Если цель смещена от оси антенны на некоторый угол $\Theta_{ц}$ влево-вверх, то центр фокусировки смещается от центра излучателя вправо-вниз на величину $\Delta = F \operatorname{tg} \Theta_{ц} / k$, где F — фокусное расстояние зеркала, а k — коэффициент, характеризующий геометрию зеркала. При этом мощность, принимаемая рупорками, неодинакова. Информация об угловом положении цели заключается в разности мощностей в соответствующих парах рупорков: левых и правых, верхних и нижних.

Рассмотрим принцип выделения информации о положении цели в одной плоскости, для чего требуется только два рупорка.

За счет пересечения парциальных диаграмм рупорков при приеме ВЧ-энергии создается равносигнальное направление, совпадающее с оптической осью антенны (рис. 2.19).

Общая мощность эхо-сигнала, принятая рупорками, равна: $P_{\text{общ}} = P_1 + P_2$. Если цель находится на РСН, то $P_1 = P_2$. Если же цель смещена от РСН, то появляется разность мощностей $P_{\Delta} = P_1 - P_2$, несущая информацию о положении цели.

Для выделения этой разности достаточно теперь последовательно запомнить, а затем сравнить мощности сигналов, принятых левым и правым рупорками. Этот процесс осуществляется в узле электронного сканирования антенного устройства, а поскольку каждый рупорок имеет свою диаграмму направленности, то считают, что осуществляется переключение диаграммы направленности антенны на прием.

Так как сканирование ДНА производят только при приеме эхо-сигналов в самой РГС, то частота сканирования скрыта от противника, что не позволяет создавать прицельные помехи каналу АСН на частоте сканирования. Вот почему такой способ создания равносигнального направления и определения угловых координат называется скрытым сканированием. При скрытом сканировании передающий луч в пространстве неподвижен.

Поскольку при отклонении цели от РСН уровни мощности в рупорках различны, то в процессе переключения ДНА на прием возникает амплитудная модуляция ВЧ-сигналов, принятых от цели, глубина которой пропорциональна разности мощностей в рупорках. Зависимость величины и направления разностного сигнала P_{Δ} от угла и стороны отклонения цели характеризуется разностной диаграммой направленности антенны, которая подобна производной от суммарной ДНА, создаваемой рупорками (рис. 2.20).

Четырехрупорный излучатель позволяет одновременно формировать разностные ДНА в азимутальной и угломестной плоскостях.

Принципиально возможно выделение разностного сигнала уже в высокочастотном тракте, а также дальнейшее его усиление, детектирование и выделение напряжений рассогласования $U_{\text{ку}}$ и $U_{\text{ум}}$. Однако, кроме выделения угловой ошибки сопровождения, РГС должна решать задачу обнаружения и сопровождения цели по дальности. Для этого требуется достаточно мощный сигнал, не зависящий от углового положения цели. В качестве такого сигнала необходимо использовать суммарный сигнал P_{Σ} . С целью упрощения конструкции

РГС суммарный сигнал модулируется разностным в узле электронного сканирования. Этот амплитудно-модулированный сигнал преобразуется и усиливается в ПРН с сохранением амплитудной модуляции. В системе АСД осуществляется захват и сопровождение модулированных по амплитуде видеоимпульсов, а в схеме выделения ошибки блока ДС-5С они демодулируются путем выделения огибающей, а затем вырабатываются напряжения рассогласования постоянного тока $U_{ку}$ и $U_{ум}$, пропорциональные глубине и фазе модуляции.

Для обеспечения скрытого сканирования ДНА на прием используются свойства четырехрупорного излучателя (РИ) и турникетного сочленения (ТС), которые разлагают отраженную от цели энергию на составляющие: $P_{общ} = P_{\Sigma} + P_{ку} + P_{ум}$. При этом P_{Σ} характеризует средний уровень принятой мощности и возникает в любом случае при наличии $P_{отр}$, а составляющие $P_{ку}$ и $P_{ум}$ возникают только при отклонении оси антенны от направления на цель и характеризуют величину и направление отклонения.

Такое разложение происходит, благодаря различной структуре полей, возникающих в РИ и турникетном сочленении при различном соотношении мощностей в рупорках РИ (рис. 2.21).

Если мощность в рупорках одинакова, т. е. цель находится на РСН, то в каналах РИ возбуждаются поля, одинаковые по фазе и амплитуде, которые возбуждают в плечах 1...4 ТС такие же одинаковые по фазе и амплитуде поля (общее поле $I = \text{полю } II$). При этом в ТС возбуждается только поперечная электромагнитная волна вида ТЕМ, которая через коаксиальную линию возбуждает в прямоугольном волноводе канала 5 волну вида H_{11} . В этом случае вся энергия из плеч 1...4 ТС переходит в плечо 5 и далее через суммарный канал и плечо 1 невзаимного делителя на выход антенны не модулированная по амплитуде. Волна вида ТЕМ, возбуждаемая одинаковыми по фазе и амплитуде полями РИ, и есть суммарный сигнал P_{Σ} , характеризующий средний уровень мощности принятого сигнала.

Если же уровни мощностей в рупорках различны, т. е. цель отклонена от РСН, то в этом случае, кроме поля II , возбуждаемого составляющей P_{Σ} принятой мощности, в каналах РИ разностными составляющими $P_{ку}$ и $P_{ум}$ возбуждаются поля III и IV , амплитуда которых (длина стрелок) пропорциональна разности мощностей в соответствующих парах рупорков: левых и правых, верхних и нижних. Фаза (на-

правление стрелок) зависит от распределения мощности по парам рупорков (сравните b и v на рис. 2.21).

Поле II возбуждает в ТС волну ТЕМ, которая возбуждает в плече 5 ТС волну H_{01} и поступает по суммарному каналу в плечо 2 невзаимного делителя.

Поле III , возбуждаемое разностной составляющей $P_{ку}$ при наличии отклонения цели от РСН по курсовому углу, возбуждает в ТС горизонтально поляризованную волну H_{11} , которая по круглому волноводу ТС через разрядник поступает в разностный канал узла сканирования антенны на вход ферритового переключателя.

Поле IV возбуждается составляющей $P_{ум}$ при отклонении цели от РСН по углу места и возбуждает в круглом волноводу ТС вертикально поляризованную волну H_{11} , которая также поступает в разностный канал на вход ферритового переключателя.

Примечания: 1. Направление вектора поля \vec{E} волн H_{11} определяет сторону отклонения цели от РСН.

2. Волны H_{11} горизонтальной и вертикальной поляризаций могут одновременно распространяться в круглом волноводу ТС (каналы 6 и 7 соответственно).

Ферритовый переключатель (рис. 2.22) формирует разностную диаграмму направленности антенны на прием. Переключение ДНА вниз-влево-вверх-вправо осуществляется скачкообразными изменениями направления подмагничивающего поля ферритов $\Phi 1$ и $\Phi 2$ с помощью катушек $\Phi К-1$ и $\Phi К-2$ соответственно.

Катушки питаются меандрами управляющих токов УН « $\pm 45^\circ$ » и УН « $\pm 90^\circ$ », имеющих частоты $2(L \pm 50)$ Гц и $(L \pm 50)$ Гц соответственно, где $(L \pm 50)$ Гц — частота сканирования (рис. 2.23, $a, б$). Частота сканирования L случайным образом изменяется в пределах ± 50 Гц, что значительно снижает эффективность скользящих угловых помех системе АСН.

УН « $\pm 45^\circ$ » создает в катушке $\Phi К-1$ магнитный поток, при котором феррит $\Phi-1$ разворачивает плоскость поляризации вектора поля \vec{E} волн H_{11} на $\pm 45^\circ$. УН « $\pm 90^\circ$ » создает в катушке $\Phi К-2$ магнитный поток, при котором феррит $\Phi-2$ разворачивает плоскость поляризации волн H_{11} на $\pm 90^\circ$. При положительном меандре плоскость поляризации разворачивается на соответствующий угол ($+45$ или $+90^\circ$) по часовой стрелке, а при отрицательном меандре — на такой же угол ($-45, -90^\circ$) против часовой стрелки (см. рис. 2.22).

За каждым ферритом расположена нагрузка, поглощающая волны, не перпендикулярные им. Нагрузки расположены взаимно перпендикулярно, поэтому волны H_{11} , перпендикулярные нагрузке 1, после разворота их на 90° ферритом 2 оказываются перпендикулярны нагрузке 2, проходят на выход ферритового переключателя и алгебраически суммируются с волной H_{01} , осуществляя амплитудную модуляцию суммарного сигнала разностным.

Работа ферритового переключателя за период сканирования характеризуется четырьмя тактами (рис. 2.23, *a—и*).

Во время тактов I и III (при положительном токе в катушке ФК-1) горизонтально поляризованная волна H_{11} , несущая информацию об отклонении цели по курсу, после феррита Ф1 оказывается параллельна нагрузке 1 и поглощается ею. Вертикально поляризованная волна H_{11} , несущая информацию об отклонении цели по углу места, оказывается перпендикулярна нагрузкам 1 и 2 и проходит на выход ферритового переключателя, изменяя амплитуду суммарного сигнала. Поскольку во время этих тактов полярность тока в катушке ФК-2 различна, то изменяется и направление волны на выходе ферритового переключателя. В результате этого, если в такте I произошло вычитание разностного сигнала из суммарного, то в такте III произойдет их сложение (и наоборот). Это соответствует отклонению ДНА по высоте вначале вниз (такт I), а затем вверх (такт III).

Во время тактов II и IV при отрицательном токе в катушке ФК-1 поглощается вертикально поляризованная волна H_{11} , а горизонтально поляризованная волна проходит на выход ферритового переключателя и алгебраически суммируется с суммарным сигналом. При положительном токе в катушке ФК-2 ДНА отклоняется по курсу влево, а при отрицательном — по курсу вправо.

Таким образом, за период сканирования ДНА последовательно переключается вниз-влево-вверх-вправо. При этом УН « $\pm 45^\circ$ » переключает ДНА на 90° (курс-высота), а УН « $\pm 90^\circ$ » — на 180° (вниз-вверх, влево-вправо). В результате алгебраического суммирования сигналов суммарного и разностного каналов при переключении ДНА эхо-сигналы модулируются по амплитуде.

Время переключения ДНА из одного положения в другое определяется крутизной фронтов управляющих токов катушек и составляет примерно 175 мкс. За время нахождения

ДНА в любом из фиксированных положений РГС излучает и принимает несколько импульсов (5-7).

Глубина модуляции эхо-сигналов при нахождении цели в пределах линейной части пеленгационной характеристики антенны пропорциональна углу отклонения цели от РСН, а фаза характеризует сторону этого отклонения.

Эхо-импульсы из плеча 1 невзаимного делителя блока ДС-1СА через ВЧ-переключатель, циркулятор и разрядник защиты приемника блока ДС-2С поступают в приемный тракт (см. рис. 2.11). В блоке ДС-3С эхо-импульсы, имеющие несущую частоту $f_{отр}$, пройдя аттенюаторы входа, АРМ и стробирования, через преселектор поступают на преобразователь частоты. Преселектор настроен на несущую частоту $f_{отр}$ и имеет полосу пропускания $\Delta f = f_{отр} \pm 14$ МГц. Он обеспечивает селекцию эхо-импульсов по частоте, предохраняя приемник от «пролезания» помеховых сигналов, частоты которых лежат вне его полосы пропускания.

Преобразование частоты осуществляется балансным смесителем, на который подаются эхо-импульсы сигнала гетеродина на частоте $f_{гет}$. В результате смешения частот образуется частота биений $f_б = f_{отр} - f_{гет}$, которая сохраняет амплитудную модуляцию эхо-сигналов.

Частота $f_б$ выделяется кристаллическими детекторами смесителя, в результате чего эхо-импульсы, имевшие несущую частоту 9...10 ГГц, приобретают промежуточную частоту ($f_{пр} = f_{гет} - f_{отр}$), равную 60 МГц. Эти импульсы усиливаются в 70...130 раз пятикаскадным предварительным усилителем промежуточной частоты (ПУПЧ), настроенным на $f_{пр} = 60$ МГц и поступают в блок ДС-4С. Коэффициент усиления ПУПЧ регулируется напряжением АРУ с блока ДС-4С.

В качестве гетеродина в блоке ДС-3С используется клистронный генератор, стабильность частоты которого, а следовательно промежуточной частоты, поддерживается с помощью схемы АПЧК.

Схема АПЧК собрана по обычной диодно-транзитронной схеме и вырабатывает отрицательное напряжение регулирования частоты клистрона при изменении частоты передатчика или клистрона, пропорциональное отклонению разностной частоты $f_p = f_{гет} - f_{прд}$ от 60 МГц. Управляющее напряжение регулирования подается на отражатель клистрона и меняет частоту клистрона таким образом, чтобы $f_p = 60$ МГц, в результате чего и $f_{пр} = 60$ МГц, так как $f_{отр} = f_{прд}$.

В блоке ДС-4С эхо-импульсы цели усиливаются в 1200...
...1700 раз шестикаскадным УПЧ, а затем с помощью детектора выделяются видеоимпульсы. Они усиливаются в 30 раз видеоусилителем и подаются на схему ШАРУ ПРН, на блок ДС-8С и на блок ДС-5С. После захвата цели системой АСД блока ДС-8С видеоимпульсы подаются на схему АРУ ПРН.

Схема АРУ совместно с системой АРМ представляет собой замкнутую петлю автоматического регулирования усиления приемного тракта пропорционально средней мощности эхо-импульсов для обеспечения линейной характеристики ПРН в динамическом диапазоне мощностей эхо-импульсов от -74 до $+20$ дБ.

Для сохранения амплитудной модуляции видеоимпульсов цели используется инерционная АРУ с задержкой и с такой постоянной времени, при которой выработанное напряжение АРУ уменьшает коэффициент усиления УПЧ и ПУПЧ и увеличивает затухание ВЧ-сигнала с помощью схемы АРМ пропорционально средней амплитуде видеоимпульсов на выходе ПРН за период сканирования ДНА. При отсутствии модуляции эхо-импульсов амплитуда видеоимпульсов вначале возрастает пропорционально мощности входного сигнала, а затем остается практически неизменной за счет воздействия АРУ и АРМ.

Назначение схем ШАРУ, РЧД, стробирования и бланкирования ПРН было рассмотрено выше.

В блоке ДС-5С с помощью самовозбуждающегося мульти-вibrатора, собственная частота которого $2L$ изменяется в пределах $2(L \pm 50)$ Гц по случайному закону, вырабатывается УН « $\pm 45^\circ$ ». Путем деления частоты на два из этого напряжения вырабатываются УН « $\pm 90^\circ$ », период которых соответствует периоду сканирования ДНА. УН « $\pm 90^\circ$ » используются в блоке ДС-1СА для переключения ДНА на 180° влево-вправо, вниз-вверх, а поэтому оно используется в качестве опорного напряжения канала курса блока ДС-5С. Сдвинутое относительно него по фазе на 90° напряжение той же частоты используется в качестве ОН канала высоты.

УН « $\pm 45^\circ$ » в блоке ДС-1СА осуществляет переключение ДНА по курсу и высоте, а в блоке ДС-5С используется в качестве селектирующего напряжения для разделения непрерывной последовательности видеоимпульсов с выхода ПРН по каналам выделения ошибки сопровождения курса и высоты (рис. 2.24, б, ж). При этом видеоимпульсы, полученные при отклонении ДНА вниз и вверх (I и III такты периода

сканирования), поступают в канал высоты, а полученные при отклонении ДНА по курсу влево и вправо (II и IV такты) — в канал курса (рис. 2.24, *г, и*). При отклонении ДНА вначале вниз, а затем вверх (рис. 2.22, *д*) в канале высоты с помощью амплитудного синхронного детектора максимальная амплитуда полученной серии видеоимпульсов запоминается на $1/2$ периода сканирования. В результате этого видеоимпульсы преобразуются в переменное напряжение сигнала ошибки высоты, разность амплитуд которого пропорциональна глубине модуляции видеоимпульсов. При этом фаза определяется стороной отклонения цели, а период соответствует периоду сканирования ДНА. В усилительно-преобразующей цепи это напряжение усиливается и на фазовом детекторе выделяется постоянное напряжение сигнала ошибки, величина которого пропорциональна глубине модуляции эхо-сигналов цели (т. е. углу отклонения цели от РСН), а полярность — стороне отклонения цели от РСН (рис. 2.24, *е*).

Аналогично работает канал выделения ошибки сопровождения курса, с той лишь разницей, что в канале высоты ОН сдвинуто по фазе на 90° и используются противофазные селектирующие напряжения (рис. 2.24, *ж, л*).

Если цель находится на РСН, то амплитудная модуляция эхо-импульсов отсутствует и напряжение ошибки на выходе фазовых детекторов равно нулю.

По команде «Захват» с блока ДС-8С (см. рис. 2.11) поиск цели по курсу антенной прекращается, и схема памяти блока ДС-5С подключает управляющие напряжения постоянного тока с фазовых детекторов курса и высоты (УПТК, УПТВ) на усилители мощности блока ДС-6С. Управляющие напряжения двигателей курса и высоты (УНДК и УНДВ) подключаются к соответствующим двигателям приводов антенны также схемой памяти. Схемы памяти блоков ДС-5С и ДС-1СА обеспечивают требуемый закон повторного поиска цели.

Таким образом, контур АСН по команде «Захват» замыкается, и антенна непрерывно отслеживает положение цели, сводя ошибку рассогласования к нулю.

Порядок подключения УНК и УНВ с датчиков антенны на автопилот и выдача команд «Антенна влево 5° », «Антенна влево 10° », «Антенна по оси курса» и «Антенна по оси высоты» рассмотрен при описании структурной схемы РГС и траектории полета КР (см. п. 2.5.10).

Основные параметры контура АСН: величина зоны сопровождения, крутизна характеристики сопровождения и время запаздывания контура.

Величина зоны сопровождения $\delta\psi_{\text{макс}}$ ограничена шириной диаграммы направленности антенны.

Крутизна характеристики сопровождения характеризует угловую скорость вращения антенны и при единичной угловой ошибке сопровождения δ : $\psi k = \Omega / \delta\psi$. Она зависит от крутизны пеленгационной характеристики (ПХ) РГС ($k_1 = U_{c.o} / \delta\psi$) и крутизны скоростной характеристики (СХ) привода антенны ($k_2 = U_{c.o} / \Omega$).

При малой крутизне характеристики сопровождения любое возмущение (порыв ветра, «воздушная яма», маневр цели и др.) будет обрабатываться медленно, и если погрешность сопровождения станет больше зоны сопровождения, то цель будет потеряна.

Большая крутизна характеристики увеличивает вредное влияние угловых шумов на малых дальностях от цели, что также увеличивает вероятность промаха.

Реальная пеленгационная характеристика $U_{c.o} = k_1 \delta\psi$ (рис. 2.27, а) зависит от параметров разностной характеристики антенны, технических характеристик БВО и ПРН. Она отличается от идеальной нелинейностью, систематической погрешностью (а), наличием зоны нечувствительности (б) и зависимостью от мощности входного сигнала.

Наряду с этим реальная СХ привода, выраженная зависимостью $\Omega = k_2 U_{c.o}$ (рис. 2.27, б), в отличие от идеальной также может иметь систематическую погрешность. Она всегда нелинейна, так как двигатель имеет ограничение по скорости, а усилитель ограничивает входной сигнал, а также всегда имеет зону нечувствительности, так как для начала движения антенны момент на валу двигателя должен уравнивать момент трения, а для этого надо иметь $U_{c.o}$ больше некоторой величины. Кроме того, для сопровождения движущейся цели необходимо вращение антенны, а это возможно только при некоторой ошибке сопровождения. Такую минимальную ошибку, необходимую для вращения антенны, называют динамической ошибкой ($\delta\psi_1$). Для идеальных ПХ и СХ динамическая ошибка пропорциональна угловой скорости линии визирования в установившемся режиме: $\delta\psi_1 = \Omega_1 / k_1 k_2$. При постоянном значении Ω_1 эта ошибка обратно пропорциональна крутизне ПХ и СХ.

Казалось бы, что для повышения точности сопровождения цели необходимо уменьшать динамическую ошибку сопровождения увеличением крутизны ПХ и СХ. Однако в действительности погрешность сопровождения должна быть достаточно большой, что вызвано блужданием эффективного центра отражения цели (рис. 2.26).

В каждый данный момент времени цель представляет собой набор случайно расположенных элементарных отражателей со случайной эффективной отражающей поверхностью (ЭОП) σ_i (светлые круги). Линией 1 показано распределение вероятности расположения ЭЦО вдоль корабля. Часть элементарных отражателей находится ниже ватерлинии и вызваны переотражениями от воды. ЭЦО цели быстро и хаотически перемещается в картинной плоскости, т. е. в плоскости, перпендикулярной линии визирования, причем угловой размах колебаний возрастает при сближении с целью (рис. 2.25, линия 1). Если бы динамическая ошибка равнялась нулю, т. е. если бы полоса пропускания привода была не менее спектра колебаний, то антенна отслеживала бы колебания ЭЦО и имела бы весьма большие погрешности сопровождения, особенно к концу самонаведения, когда оно прекращается из-за попадания цели в мертвую зону РГС. Отсюда следует, что $\delta\psi_1$ надо увеличивать.

Увеличение динамической ошибки вдвое приводит к существенному уменьшению ошибки сопровождения центра цели (линия 2). Однако, если увеличить динамическую ошибку еще в 5 раз, то появится заметная погрешность сопровождения центра цели (линия 3). Перемещение центра цели на рис. 2.25 показано штриховой линией.

На близком расстоянии от цели ДНА уже не перекрывает весь корабль (окружность, обозначенная на рис. 2.26 штриховой линией). Теперь сигналы от элементарных отражателей будут иметь уже ЭОП не σ_i , а $\sigma_i G_a^2$, где G_a — относительный коэффициент усиления антенны. Это явление, называемое пространственной фильтрацией, приведет к уменьшению роли удаленных от центра ДНА отражателей (заштрихованные круги), и распределение ЭЦО сосредотачивается к центру ДНА. Если ЭЦО при этом кратковременно переместится на край цели, то антенна с малой динамической ошибкой последует за ним, что приведет к ослаблению отражений в центре корабля и увеличению вероятности промаха. В то же время менее подвижная антенна (т. е. антенна с большей динамической ошибкой) не успеет отойти от центра корабля. Благодаря этому в

такой антенне пространственная фильтрация дополняется фильтрацией частотной. Обычно величина динамической ошибки сопровождения регулируется крутизной скоростной характеристики привода путем подбора масштаба напряжения сигнала ошибки БВО.

Максимальная скорость вращения привода должна обеспечивать отслеживание антенной боковых перемещений цели, маневров КР и рыскание продольной оси КР. Скорость перемещения цели при условии сопровождения ее ракетой не превышает 1 град/с на всем участке СН. Наибольшая угловая скорость КР определяется ее динамикой и может достигать 10 град/с. Именно на эту скорость должен быть рассчитан привод и его скоростная характеристика. Делать приводы с большими скоростями обработки нецелесообразно, так как это требует увеличения их мощности и габаритов и приводит к увеличению мертвой зоны. Как видно из рис. 2.27, б максимальная скорость приводов РГС ДСМ-А составляет 15 град/с.

2.4.5. Канал дальности РГС

Автоматический поиск цели по дальности, ее захват и автосопровождение по дальности, а также выдачу ком. «Захват» и СК производит блок ДС-8СА (см. рис. 2.11).

В состав блока ДС-8СА входят: следящая система, автомат захвата и схема запрещения сопровождения ретрансляционных помех.

Следящая система представляет собой электронный автодальномер, который вначале обеспечивает автоматический поиск цели по дальности, а затем ее автосопровождение и селекцию путем стробирования ПРН. Режим работы следящей системы обеспечивает автомат захвата.

Автомат захвата является обнаружителем РГС. Обнаружение цели осуществляется подсчетом эхо-импульсов, превышающих по амплитуде порог обнаружения и пришедших подряд с частотой повторения зондирующих импульсов. Минимально необходимое число импульсов для срабатывания автомата захвата равно пяти. При этом он выдает ком. «Захват», переводя следящую систему АСД и систему АСН РГС из режима поиска в режим автосопровождения цели по дальности и угловым координатам. Через 0,8 с, необходимых для окончания процессов, связанных с переходом на автосопро-

вождение, автомат захвата выдает ком. СК для перевода КР в режим самонаведения.

Схема запрещения сопровождения помехи устанавливает факт наличия ретрансляционных помех, уводящих следящий строб дальности в сторону «дальше», и выдает в следящую систему команду на сброс сопровождения помехи («отскок»), повторный поиск эхо-сигнала цели и его захват.

В состав следящей системы входят: временной дискриминатор, управляющий каскад и временной модулятор (схема регулируемой задержки следящих стробов).

Входным сигналом следящей системы являются отраженные от цели эхо-сигналы, задержанные относительно зондирующих импульсов ПРД на время $\tau_{\text{ц}} = 2D_{\text{ц}}/c$, где c — скорость света, и характеризующие истинную дальность до цели $D_{\text{ц}}$ (рис. 2.28).

Выходным сигналом следящей системы является следящий строб, открывающий ПРН. Задержка строба относительно зондирующих импульсов ПРД $\tau_{\text{з}}$ характеризует измеренную следящей системой дальность $D_{\text{изм}}$. Со следящим стробом жестко связаны и совпадают следящие полустробы, образующие «временную вилку» следящей системы. Строб и полустробы вырабатываются временным модулятором. Их задержка прямо пропорциональна величине напряжения $u_{\text{д}}$ управляющего каскада. Поскольку это напряжение характеризует измеренную дальность, то его называют «напряжением дальности». Полустробы по цепи обратной связи подаются на вход следящей системы — на временной дискриминатор.

Временной дискриминатор является измерительным элементом системы АСД. Он сравнивает временное положение эхо-сигнала с задержкой полустробов (рис. 2.29) и вырабатывает напряжение разности, пропорциональное временной ошибке сопровождения: $U_{\text{р}} = f(\tau_{\text{ц}} - \tau_{\text{з}}) = f\Delta\tau$. Временная ошибка сопровождения характеризует ошибку измерения дальности, так как $\Delta\tau_{\text{макс}} = \Delta D/0,15$ км.

Характеристика временного дискриминатора показывает, что $U_{\text{р}}$ пропорционально разности площадей перекрытия эхо-сигнала с задержанным II и незадержанным I полустробами. Знак этого напряжения характеризует сторону ошибки измерения. Если $D_{\text{изм}}$ равно $D_{\text{ц}}$, то эхо-сигнал находится точно между полустробами и $U_{\text{р}} = 0$.

При перекрытии эхо-сигнала только с одним полустробом величина напряжения ошибки рассогласования достигает максимального значения ± 40 В. Коэффициент преобразова-

ния дискриминатора определяет крутизну его характеристики: $k = \Delta U_{\text{вых}} \Delta t$ В/мкс. При длительности отраженного эхо-сигнала 0,4 мкс в системе АСД блока ДС-8С $k = 200$ В/мкс. От крутизны характеристики зависит точность сопровождения цели по дальности.

Напряжение ошибки рассогласования подается на управляющий каскад, в режиме сопровождения представляющий собой усилитель-интегратор, выходное напряжение которого U_d изменяется прямо пропорционально интегралу от напряжения рассогласования: $U_p = U_{d_0} \pm k \int_0^t U_p dt$, где U_{d_0} — выходное напряжение интегратора до появления U_p .

Благодаря интегрирующим свойствам управляющего каскада, при подаче на его вход напряжения рассогласования в виде скачка напряжения его выходное напряжение будет изменяться не скачком, а линейно (рис. 2.30). Скорость изменения напряжения пропорциональна величине напряжения рассогласования. При положительном значении U_p напряжение U_d линейно уменьшается, а при отрицательном — увеличивается.

При наличии рассогласования полустроби относительно эхо-сигнала появляется напряжение рассогласования U_p и изменяется напряжение дальности U_d . За счет этого временной модулятор изменяет задержку следящих полустроби и строба в функции $\tau_z = f(U_d)$, стремясь приблизить измеренное значение дальности к истинному и тем самым свести ошибку рассогласования к нулю.

Рассмотрев характеристики дискриминатора и свойства усилителя-интегратора, можно сделать вывод, что скорость движения полустроби (и строба) прямо пропорциональна величине ошибки рассогласования, а направление их движения определяется знаком ошибки измерения: $\Delta D = D_y - D_{\text{изм}}$. Если $D_y > D_{\text{изм}}$, то эхо-сигнал больше совпадает со вторым полустробиом. Задержка полустроби при этом будет увеличиваться, а при $D_y < D_{\text{изм}}$, наоборот, будет уменьшаться.

За счет непрерывного сближения КР с целью возникает динамическая (скоростная) ошибка сопровождения цели по дальности, пропорциональная скорости сближения КР с целью. Действительно, в этом случае от момента послышки зондирующего импульса до приема эхо-сигнала КР пролетит некоторое расстояние. Задержка эхо-сигнала уменьшится, а полустроби будут еще иметь прежнюю задержку, т. е. $D_{\text{изм}} > D_y$. Поэтому эхо-сигнал больше совпадает с незадержанным по-

лустробом, а на выходе временного дискриминатора появляется положительное напряжение рассогласования, пропорциональное скорости сближения КР с целью — «напряжение скорости». Это приведет к уменьшению задержки полустробо-в, но следующий эхо-сигнал снова будет иметь меньшую задержку. Таким образом, система АСД КР всегда отслежи-вает дальность с некоторым опозданием, пропорциональным скорости сближения КР с целью.

Рассматриваемая система АСД является астатической си-стемой автоматического регулирования второго порядка (с двумя интегрирующими звеньями), поэтому она обладает памятью о скорости сопровождения цели и уменьшает ско-ростную ошибку сопровождения (только при неизменных па-раметрах движения цели и КР).

Память по скорости достигается подключением на выходе временного дискриминатора второго интегрирующего звена — РС-цепочки с большой постоянной времени. Благодаря ско-ростной памяти после пропадания эхо-сигналов полустробы продолжают движение с той же скоростью, что увеличивает вероятность нахождения эхо-сигнала между полустробами после повторного их появления.

Примечание. Система АСД с одним интегрирующим звеном обладает только памятью по положению. Так как при пропадании эхо-сигнала $U_p=0$, то $dU_d/dt=0$, а значит $D_{изм}$ перестает изменяться. В этом случае при длительном пропадании эхо-сигналов появляется значительная раз-ница между прежним «запомненным» значением $D_{изм}$ и новым значением D_y , что приведет к потере цели.

Режим поиска цели по дальности. В режиме поиска цели по дальности следящая система блока вырабатывает поиско-вые стробы длительностью 8 мкс, которые открывают ПРН. Стробы перемещаются со скоростью 650 мкс/с в диапазоне от 162 до 7 мкс относительно синхронизирующих импульсов.

В режиме поиска на управляющий каскад с автомата за-хвата подается +50 В, и он работает в режиме транзитрон-ного генератора, вырабатывая линейно-падающее напряжение с периодом 250 мс (см. рис. 2.32). Это напряжение поступает на генератор переменной задержки временного модулятора. На каждый синхроимпульс с блока ДС-7СА генератор вы-рабатывает импульс, длительность которого зависит от вели-чины напряжения с управляющего каскада. При каждом по-следующем синхроимпульсе длительность импульса генера-тора уменьшается примерно на 0,3 мкс. Импульс генератора дифференцируется и задним фронтом запускает блокинг-ге-

нератор полустроба. Полустроб длительностью 0,8 мкс запускает генератор строба, а с отводов линии задержки на 0,6 и 1,4 мкс уже два полустроба поступают на селекторы временного дискриминатора, образуя следящие полустробы.

Поскольку длительность импульсов генератора переменной задержки после каждого синхроимпульса уменьшается на 0,3 мкс, то стробы и связанные с ними полустробы уменьшают задержку скачками по 0,3 мкс (45 м). Скорость их перемещения (650 мкс/с) определяется крутизной линейно-падающего напряжения управляющего каскада.

Импульсы строба открывают ПРН в установленной зоне поиска и захвата цели. При равенстве задержек строба и эхо-сигналов на выходе ПРН появляются видеоимпульсы цели, которые поступают на автомат захвата и на селекторы временного дискриминатора. До ком. «Захват» выход временного дискриминатора зашунтирован автоматом захвата для предотвращения работы по случайным импульсам. Зона поиска до ком. «Антенна влево 10° » ограничена шириной СПС блока ДС-7СА. После снятия СПС нижняя граница зоны захвата ограничивается автоматом захвата, имеющим зону запрета в пределах 0...36 мкс, которая после команды t_0 устанавливается в пределах 0...22 мкс относительно синхроимпульсов (0...24 мкс и 0...10 мкс соответственно относительно ИЗП).

Режим захвата и автосопровождения цели. Автомат захвата обеспечивает обнаружение цели и перевод РГС из режима поиска в режим автосопровождения цели по дальности и угловым координатам.

Факт обнаружения цели фиксируется счетчиком импульсов автомата захвата при поступлении на него не менее пяти эхо-импульсов подряд амплитудой не менее 30 В, следующих с периодом повторения зондирующих импульсов ПРД и не совпадающих с зоной запрета захвата. Только в этом случае счетчик выдает «сигнал захвата», который поступает на схему памяти блока ДС-5С для выработки ком. «Автозахват» (КАЗ) и перевода системы АСН в режим сопровождения, а также на схему памяти и выработки ком. «Захват» и СК блока ДС-8СА.

По ком. «Захват» в блоке ДС-7СА отключается СПС, а в блоке ДС-8СА расшунтируется выход временного дискриминатора; с управляющего каскада снимается напряжение поиска, он переводится в режим усилителя-интегратора с большой постоянной времени, а на его вход подключается отрица-

тельное напряжение обратного хода и напряжение рассогласования с временного дискриминатора. При этом скачкообразно уменьшается скорость перемещения стробов поиска до скорости перемещения эхо-сигналов за счет сближения КР с целью (2 мкс/с), а напряжением обратного хода строб перемещается назад до захвата эхо-сигналов полустробидами для создания условий автосопровождения цели. Движение строба назад необходимо, так как из-за большой скорости поиска полустроби «проскакивают» эхо-сигнал примерно на 1,5 мкс (рис. 2.31). Когда задний полустроб «наползает» на эхо-сигнал, то на выходе временного дискриминатора возникает отрицательное напряжение, увеличивающее скорость возрастания напряжения управляющего каскада и соответственно скорость движения полустроби назад. При наползании заднего фронта переднего полустроби на эхо-сигнал отрицательное напряжение временного дискриминатора начинает уменьшаться, замедляя скорость движения полустроби назад. Когда это напряжение станет равно нулю, эхо-сигнал будет точно совпадать со серединой полустроби и таким образом будут созданы условия для автосопровождения эхо-сигналов цели следящими полустробидами системы АСД.

В режиме сопровождения знак и амплитуда напряжения временного дискриминатора определяются разностью площадей перекрытия эхо-сигнала с передним и задним полустробидами. Напряжение на выходе управляющего каскада равно:

$$U_{\text{д}} = \frac{1}{CR} \int_0^t U_{\text{р}} dt \quad \text{или} \quad \frac{dU_{\text{д}}}{dt} = \frac{1}{CR} U_{\text{р}}.$$

Из последнего выражения видно, что чем больше ошибка сопровождения $U_{\text{р}}$, тем больше скорость изменения напряжения на выходе управляющего каскада, а значит тем больше скорость движения полустроби и связанного с ними строба. В установившемся режиме напряжение с выхода временного дискриминатора пропорционально скорости сближения КР с целью и называется напряжением скорости. Это напряжение положительное, так как за счет уменьшения дальности задержка эхо-сигнала уменьшается и он имеет большее совпадение с незадержанным полустроби.

Напряжение на выходе управляющего каскада определяет величину задержки строба, т. е. пропорционально дальности до цели, и называется напряжением дальности. При скорости КР 300 м/с задержка следящего строба системы АСД умень-

шается со скоростью 2 мкс/с, а напряжение скорости равно +5 В. Через 0,8 с после ком. «Захват» автомат захвата выдает команду СК для перевода КР в самонаведение по курсу. В блоке ДС-8СА от управляющего каскада отключается напряжение обратного хода, и уменьшается длительность строба сопровождения с 8 до 2,5 мкс для повышения помехозащищенности РГС, а к выходу временного дискриминатора подключается конденсатор С20 большой емкости, обеспечивающий память по скорости системы АСД (второй интегратор).

С целью уменьшения вероятности ложной тревоги (ложного срабатывания автомата захвата в режиме обнаружения) порог срабатывания автомата захвата в режиме поиска устанавливается больше, чем в режиме сопровождения. Уменьшение порога производится по ком. «Захват», что повышает надежность сопровождения цели при флюктуациях эхо-сигнала.

Схема памяти автомата захвата удерживает систему АСД в режиме «Захват» еще 1,7 с после пропадания эхо-сигналов, а скоростная память следящей системы все это время продолжает перемещение строба и полустробов в сторону уменьшения дальности с прежней скоростью (рис. 2.33).

Схема запрещения сопровождения помех защищает систему АСД от синхронных импульсных помех, уводящих строб сопровождения в сторону больших задержек со скоростью более 1,5 мкс/с. Механизм создания таких помех заключается в следующем.

В момент приема зондирующего импульса РГС РЛС помех без задержки излучает мощный импульс помехи на несущей частоте РГС. В результате этого РГС принимает сумму отраженного и помехового сигналов (рис. 2.34), которые захватываются полустробами. Следующий импульс помехи излучается с некоторой задержкой относительно принятого зондирующего, не превышающей длительность полустроба. Поскольку помеховый импульс мощнее отраженного, то полустробы отслеживают изменение задержки помехового импульса, т. е. переходят на его сопровождение. В дальнейшем импульсы помех переизлучаются со все возрастающей задержкой, в результате чего скорость движения полустробов и строба уменьшается на величину скорости увода, и они «отстают» от эхо-импульсов, задержка которых продолжает уменьшаться со скоростью 2 мкс/с. Сам факт потери эхо-сигналов цели следящей системой АСД не нарушает сопровождения цели, создающей помехи, системой АСН. Опасность

заключается в том, что после увода следящего строга противник выставляет ложные пассивные цели и выключает РЛС помех. При отсутствии импульсов цели системы АСД и АСН теряют цель и переходят в поиск, при котором вероятность повторного захвата цели снижается.

Когда под действием уводящей помехи скорость строга станет меньше 0,5 мкс/с, схема запрещения устанавливает факт наличия уводящей помехи по уменьшению напряжения скорости с временного дискриминатора. Для исключения зависимости напряжения скорости от дальности до цели оно корректируется напряжением дальности. Если после ком. СК напряжение скорости станет меньше $-2,5$ В, то схема запрещения выдает ком. «Отскок». По этой команде строг прекращает сопровождение импульсов помехи и делает скачок в сторону меньших задержек на 8...10 мкс, а затем под действием напряжения обратного хода движется назад, навстречу движению эхо-сигнала до его захвата. Время работы схемы отскока равно 1,8 с. За это время следящие стробы успевают достичь эхо-импульса, а следящая система производит его захват. Скачка строга на 8...10 мкс достаточно для захвата эхо-импульса, так как схема запрещения фиксирует начальный момент увода следящего строга.

За 3...5 км до цели по ком. t_0 схема запрещения отключается с целью повышения устойчивости сопровождения цели на конечном участке самонаведения и исключения захвата отражений от моря в ближней от ракеты зоне при «скачках» строга по ком. «Отскок».

Схема запрещения отключается также при контроле КР для обеспечения работы системы АСД по неподвижному эхо-сигналу.

Режим повторного поиска и захвата цели. Захват цели системой АСД может произойти в следующих случаях:

- после ком. 10 до ком. 4 — в узком СПС (17 мкс) без поиска по курсовому углу;
- после ком. 4 до сигнала «Антенна влево 5° » — в узком секторе поиска по курсу ($\pm 5^\circ$) и в узком СПС, движущемся с программной скоростью 2 мкс/с в сторону уменьшения задержки;
- после сигнала «Антенна влево 5° » до сигнала «Антенна влево 10° (15°)» — в широком секторе поиска по курсу ($\pm 10^\circ$ или $\pm 15^\circ$) и в широком СПС (40 мкс);
- после сигнала «Антенна влево 10° » — в широком секторе поиска по курсу в полном диапазоне дальности в пре-

делах 150...24 мкс, а также и после ком. t_v — 150...10 мкс.

По ком. «Захват» поиск цели прекращается как по дальности, так и по курсу, и начинается ее автосопровождение системами АСД и АСН РГС. При потере цели возобновляется прерванный захватом закон поиска по курсу и по дальности, так как все команды на изменение режимов поиска в РГС «запоминаются» и будут выполняться только команды, которые до захвата не подавались (кроме ком. 4 и t_v).

Строб предварительной селекции по ком. «Захват» в блоке ДС-7СА отключается, а при снятии ком. «Захват» восстанавливается. За время работы в режиме «Захват» положение СПС изменится пропорционально программной скорости полета КР, и потерянная цель будет находиться в его пределах.

При пропадании импульсов цели автомат захвата блока ДС-8СА снимает с блока ДС-5С сигнал «Захват», но строб АСД и антенна РГС продолжают движение «по памяти», а КР изменяет направление полета вслед за антенной.

Через 0,35 с (время памяти блока ДС-5С), за которые антенна не успеет отклониться от цели на величину полуширины ДНА, блок ДС-5С снимает КАЗ. При этом от антенны отключаются управляющие напряжения с блока ДС-5С, а от автопилота — УНК и УНВ с антенны. КР летит выработанным направлением с неподвижной антенной, а строб АСД продолжает движение с запомненной скоростью. Если через 1,7 с (время памяти автомата захвата блока ДС-8СА) импульсы цели не появились, то ком. «Захват» и СК снимаются и строб АСД начинает прерванный захватом закон поиска по дальности при неподвижной антенне РГС. Поиск может осуществляться в узком или широком СПС или без него. Если через 0,6 с после снятия ком. «Захват» (время памяти блока ДС-1СА) цель при неподвижной антенне не обнаружена, то продолжится прерванный захватом поиск по курсу (в узком или широком секторе).

Такой закон повторного поиска обеспечивает высокую вероятность повторного захвата потерянной цели.

2.4.6. Работа РГС в режиме автоконтроля

Контроль РГС в составе КР производится аппаратурой РПК-Б. В режиме предварительного прогрева от наземного источника питания на накальные трансформаторы передатчика (блока ДС-2С) подается напряжение 115 В с частотой 400 Гц. В течение 200 с лампы блока прогреваются без вклю-

чения РГС. В состоянии предварительного прогрева РГС может находиться до 8 ч (дежурный режим работы), что сокращает время предстартовой подготовки КР с 280 до 80 с.

После окончания предварительного прогрева ПРД можно включать режим автоконтроля РГС. При этом в течение 20 с осуществляется прогрев ламп РГС, а затем в течение 60 с — цикл контроля функционирования РГС. При подаче на бортовую шину КР напряжения $=27$ В запускается бортовой преобразователь, подавая на блок выпрямителей ДС-9С напряжение ~ 115 В. При этом рефлектор антенны устанавливается в исходное положение, выдавая на аппаратуру РПК-Б сигналы «Антенна по оси курса» и «Исх. ант. по высоте». Передатчик подключен на эквивалент антенны и не генерирует. Через 20 с при исходном положении антенны на РГС автоматически подаются ком.: «Вкл. высокого», «Контроль вправо-вверх», «Контроль влево-вниз», и начинается собственно автоконтроль РГС.

Принцип автоконтроля заключается в использовании «пролезающих» в приемный тракт зондирующих импульсов ПРД в качестве эхо-импульсов и их принудительной модуляции по закону сканирования ДНА для имитации отклонения имитируемой цели от РСН. Это позволяет проверить функционирование всех блоков и систем РГС, за исключением узла электронного сканирования антенны.

По ком. «Включение высокого» на высоковольтный выпрямитель блока ДС-2С подается напряжение ~ 115 В, и магнетрон ПРД начинает генерировать СВЧ-колебания в импульсном режиме.

По ком. «Контроль влево-вниз» задержка импульса запуска ПРД переключается с 12 на 65 мкс; отключается blankирующий импульс блока ДС-7СА и схема запрещения сопровождения помехи блока ДС-8СА; на выходной каскад блока ДС-4С подается отрицательное смещение, подготавливая его к принудительной модуляции импульсов ПРД; центр строба предварительной селекции блока ДС-7СА устанавливается на 65 мкс или отключается совсем; с блока ДС-10СА на автопилот выдается напряжение имитации ком. СВ (РГУК). Все это создает условия для «пролезания» зондирующего импульса ПРД в ПРН, его захвата системой АСД и перевода РГС в режим сопровождения по дальности и направлению.

Так как зондирующие импульсы ПРД задержаны относительно синхронизирующих на 65 мкс, а СПС совпадает с ними

(или отсутствует), то они находятся в диапазоне поиска цели по дальности стробами ВЧ и УПЧ блока ДС-8СА. Поэтому при отсутствии бланк-импульсов зондирующие импульсы ПРД «пролезают» в открытый ПРН, и если он исправен, то импульсы ПРД преобразуются, усиливаются, детектируются и поступают на выход ПРН как видеоимпульсы цели. При нормальной мощности ПРД и чувствительности ПРН амплитуда видеоимпульсов достаточна для захвата системой АСД блока ДС-8СА и выработки ком. «Захват» и СК. Ком. СК подается в автопилот КР.

По ком. «Захват» выход блока ДС-5С подключается к усилителям мощности приводов курса и высоты, а следящая система АСД блока ДС-8СА сопровождает неподвижный импульс ПРД, так как схема запрещения сопровождения помехи отключена. При наличии ком. «Контроль вправо-вверх» на видеоусилитель блока ДС-4С с генератора опорных напряжений блока ДС-5С подается модулирующее напряжение « -90° », сдвинутое по фазе на 90° относительно УН « -90° » для имитации отклонения цели вправо и вверх. Из амплитудно-модулированной последовательности видеоимпульсов с выхода ПРН блок ДС-5С вырабатывает напряжения рассогласования по курсу и высоте, которые усиливаются по мощности в блоке ДС-6С, и двигатели приводов отклоняют антенну вправо и вверх. При наличии ком. СК и СВ (РГУК) с потенциометрических датчиков антенны на автопилот подаются УНК и УНВ, рули КР отклоняются вправо и вверх и замыкают концевые выключатели, формирующие сигнал «Рули вправо-вверху» на аппаратуру РПК-Б. При этом ком. «Контроль вправо-вверх» с РГС снимается, и имитируется отклонение цели влево-вниз подачей на видеоусилитель ПРН модулирующего напряжения « $+90^\circ$ », противофазного предыдущему. Это вызывает отклонение антенны и рулей КР влево и вниз. По сигналу «Рули влево-внизу» с микровыключателей КР на аппаратуру РПК-Б ком. «Контроль влево-вниз» с РГС снимается, отключается «высокое», и РГС приходит в исходное положение. Аппаратура РПК-Б формирует сигнал «Аппаратура исправна» (или неисправна) в ПУС «Коралл-Б».

2.5. Функциональные схемы блоков активной РГС

2.5.1. Антенное устройство (блок ДС-1СА)

Блок ДС-1СА обеспечивает: направленное излучение электромагнитной энергии; скрытое сканирование ДНА на прием

и амплитудную модуляцию эхо-сигналов при отклонении цели от РСН; качание передающего луча по курсу в режиме поиска; отслеживание цели по курсу и высоте в режиме сопровождения и выдачу управляющих напряжений на автопилот.

Блок включает в себя высокочастотную и электромеханическую части (рис. 2.35). Устройство и принцип действия ВЧ-части рассмотрены в п. 2.4.2.

Электромеханическая часть состоит из узлов курса и высоты, обеспечивающих установку рефлектора антенны в нулевое положение по курсу и в исходное положение по высоте при подаче питания на РГС, перемещение рефлектора по курсу в режиме поиска и перемещение рефлектора по курсу и высоте в режиме сопровождения. В состав каждого узла входят: реверсивные электродвигатели $M1$, $M2$ постоянного тока типа ДП-2-26Д мощностью 9 Вт; микровыключатели $MВ1 \dots MВ13$ сигнализации исходного положения и ограничения углов поиска и слежения; релейная схема коммутации цепей питания двигателей ($K1 \dots K9$); потенциометрические датчики УНК и УНВ ($R3$, $R6$), собранные по мостовой схеме. Схема памяти (реле 10 , резисторы 14 , 15 и конденсаторы $15 \dots 18$) по ком. «Захват» переводит узлы курса и высоты в режим слежения и удерживает их в этом режиме еще 0,6 с после снятия ком. «Захват», осуществляя задержку перевода блока в режим повторного поиска цели.

Установка рефлектора антенны в нулевое положение по курсу и исходное положение по высоте осуществляется при подаче питания на РГС автоматически.

Нулевое положение антенны по оси курса, при котором УНК с датчика $R3$ равно нулю, совпадает с положением продольной оси КР и фиксируется микровыключателем $MВ1$ (0°).

Нулевое положение антенны по высоте смещено относительно продольной оси КР вниз на котировочный угол $2,2^\circ$ (по лучу) и сигнализируется микровыключателем $MВ12$ (0°). Это обеспечивает налет КР на цель с требуемым углом атаки. Так как угол атаки достигается отклонением продольной оси КР на некоторый угол вверх от горизонтальной плоскости, то для нормального обзора водной поверхности оптическая ось смещена в исходном положении по высоте от продольной оси КР вниз на установочный угол $3,2^\circ$ (по лучу) и фиксируется микровыключателем $MВ13$ ($-30'$).

Примечание. Угол отклонения луча отличается от угла отклонения рефлектора по механике с учетом коэффициента редукции, учитывающего геометрию рефлектора. На схеме обозначены значения углов отклонения рефлектора по механике, при которых срабатывают микровыключатели *МВ1...МВ13*.

Питание двигателя *М1* узла курса напряжением ± 27 В осуществляется через контакты реле 2, причем $+27$ В подается с потенциометра *R2* регулировки скорости двигателя. При обесточенном реле 2 двигатель перемещает рефлектор вправо, а при включенном — влево. Управление реле 2 осуществляется микровыключателями контактного устройства. Если при подаче питания на РГС рефлектор не находится в нулевом положении по курсу, то контакты 1 и 2 *МВ1* замкнуты и подают напряжение $+27$ В на потенциометр *R2*. Так как реле 2 обесточено, то независимо от стороны первоначального отклонения двигатель разворачивает антенну вправо. Если рефлектор находится слева, то, проходя нулевое положение, он переключает *МВ1*. При этом $+27$ В отключается от двигателя, и он останавливается, а контакты 3 и 4 *МВ1* выдают -27 В сигнала «Антенна по оси курса». Если же антенна находилась справа, то она движется вправо до замыкания *МВ8* ($+8,3^\circ$), который подключает $+27$ В с контактов 1 и 2 *МВ1* на реле 2. Реле 2 срабатывает, самоблокируется через контакты реле 3 и осуществляет реверс двигателя *М1*. Рефлектор начинает движение влево. В нулевом положении рефлектора срабатывает *МВ1*, снимает питание с двигателя, разблокирует реле 2 и выдает -27 В сигнала «Антенна по оси курса».

Если рефлектор не находился в исходном положении по высоте, то $+27$ В через контакты *МВ13* ($-30'$) подается на потенциометр *R5* регулировки скорости двигателя *М2* узла высоты. При этом независимо от стороны отклонения двигатель перемещает рефлектор вниз. Если рефлектор был выше, то в исходном положении *МВ13* отключает $+27$ В с потенциометра *R5*, и двигатель останавливается. Если рефлектор был ниже, то он движется вниз до срабатывания *МВ11* ($-3,8^\circ$). Он включает реле 9, которое срабатывает, самоблокируется и осуществляет реверс двигателя. Рефлектор движется вверх и в исходном положении антенны *МВ13* отключает питание двигателя, разблокирует реле 9 и выдает сигнал «Исходное положение антенны по высоте».

В режиме поиска $+27$ В ком. 4 включает реле 1 и подается напряжение на потенциометр *R2* регулировки скорости

поиска по курсу. Так как реле 2 обесточено, то двигатель начинает вращение рефлектора вправо со скоростью 15 град/с. При отклонении на 3° (5° по лучу) МВ2 подключает +27 В через контакты реле 1 и 3 на реле 2. Реле 2 срабатывает, самоблокируется через контакты реле 1 и 3 и меняет направление вращения двигателя и антенны. При отклонении рефлектора влево от исходного на 3° (5° по лучу) МВ3 включает реле 3, которое самоблокируется, разблокирует реле 2 и выдает сигнал «Антенна влево 5° ». Рефлектор начинает движение вправо до конца установленного сектора. Реверс двигателя на концах сектора обеспечивают реле 4 и 5, которые подключены через контакты обесточенного реле 6 к МВ4 ($+5,6^\circ$) и МВ5 ($-5,6^\circ$) ($\pm 10^\circ$ по лучу) или при подаче команды «Поиск $\pm 15^\circ$ » и включенном реле 6 — к МВ8 ($+8,3^\circ$) и МВ9 ($-8,3^\circ$). При движении вправо МВ4 (или МВ8) включает реле 4, которое самоблокируется через контакты реле 5 и включает реле 2 реверса двигателя. В крайнем левом положении рефлектора МВ5 (или МВ9) включает реле 5, которое разблокирует реле 4 и соответственно реле 2, обеспечивая реверс двигателя и движение антенны вправо. Далее цикл поиска повторяется. Одновременно реле 5 выдает сигнал «Антенна влево 10° (15°)».

В режиме поиска перемещение рефлектора по высоте не производится, так как КР летит на малой высоте, а антенна имеет широкую диаграмму направленности.

По ком. «Захват» срабатывает реле 10 схемы памяти, которое включает реле 7, 8 узлов курса и высоты соответственно. Эти реле переключают двигатели М1 и М2 с цепей установки исходного и поиска на цепи подачи УНДК и УНДВ системы АСН, переводя приводы в режим сопровождения.

Для защиты двигателя привода курса от перегрузки при отклонении рефлектора на предельные углы $\pm 9,6^\circ$ ($\pm 17^\circ$ по лучу) используются концевые выключатели МВ6, МВ7 и защитные диоды 1, 2. При срабатывании выключателя от двигателя отключается плюс управляющего напряжения, так как защитный диод включен встречно, и двигатель останавливается, а сработавший МВ выдает сигнал «Антенна вправо» (или «Антенна влево»). После смены полярности минус УНДК при разомкнутом МВ подается на двигатель через диод, а плюс подается через концевой выключатель противоположного положения рефлектора. По аналогичной схеме выполнена схема защиты двигателя М2 привода высоты при

отклонении рефлектора на углы $3,3^\circ$ вверх и $3,8^\circ$ вниз ($5,6^\circ$ вверх и $6,5^\circ$ вниз по лучу).

Датчики УНК (R3) и УНВ (R6) выполнены по мостовой схеме на двух потенциометрах. Движки потенциометров перемещаются в противоположные стороны от нейтрали, поэтому максимальное выходное напряжение датчика равно величине питающего напряжения, что повышает крутизну управляющих напряжений. Крутизной называется величина управляющего напряжения с датчика при отклонении продольной оси КР от направления оптической оси антенны (РСН) на 1° (по лучу). Для РГС ДСМ-А крутизна УНК и УНВ равна $1,8$ В/град луча. Регулировка крутизны осуществляется резисторами 1 и 4.

При потере цели через $1,8$ с снимается $+27$ В ком. «Захват», но реле 10 отпускает и отключает реле 7, 8 только через $0,6$ с, благодаря блоку конденсаторов C15...C18. Постоянная времени разряда и соответственно время памяти (время удержания реле 10 после снятия ком. «Захват») регулируется резисторами 14, 15. Диод 5 является развязывающим.

2.5.2. Передатчик (блок ДС-2С)

Блок ДС-2С генерирует высокочастотные зондирующие импульсы и обеспечивает развязку приемопередающего тракта на передачу и прием.

В состав передатчика входят: магнетронный генератор МИ-159; подмодулятор; модулятор; каскад защиты; высокочастотный тракт (рис. 2.36).

Модулятор выполнен по обычной тиратронной схеме Л4 с полным разрядом накопителя в виде искусственной линии (ИЛ): L2, C16...C18 с зарядным дросселем ДР1 и импульсным трансформатором ТР3.

Поджиг тиратрона осуществляется положительными импульсами подмодулятора, блокинг-генератор которого формирует импульсы амплитудой 220 В, длительностью $1...2$ мкс на каждый импульс запуска передатчика ИЗП с синхронизатора (блок ДС-7СА) амплитудой 40 В.

В промежутках между ИЗП ИЛ заряжается от высоковольтного выпрямителя (ВВ) с напряжением $2,8$ кВ через зарядный дроссель ДР1 и первичную обмотку ТР3 до напряжения $5...6$ кВ (т. е. почти до удвоенного напряжения ВВ). При подаче на тиратрон импульсов поджига он открывается,

и ИЛ разряжается через тиратрон и первичную обмотку ТРЗ. Трансформатор повышает импульс напряжения ИЛ до 13,5 кВ и одновременно согласует волновое сопротивление ИЛ с сопротивлением нагрузки, т. е. с магнетроном. Отрицательный импульс напряжения длительностью 0,4 мкс с ТРЗ на катод магнетрона приводит к возбуждению магнетрона, и он излучает зондирующий импульс мощностью 40 кВт, длительностью 0,4 мкс. Для формирования одиночного прямоугольного импульса магнетрона необходимо точное согласование волнового сопротивления ИЛ с входным сопротивлением магнетрона, чего трудно добиться. В момент окончания отрицательного импульса за счет несогласованности нагрузки магнетрона и волнового сопротивления ИЛ возникает положительный выброс напряжения, который открывает шунтирующий диод Л6, предотвращающий вредное влияние выброса на магнетрон (шунтируется вторичная обмотка ТРЗ).

При искрениях или пробоях в магнетроне или ТРЗ волновое сопротивление ИЛ и нагрузка магнетрона также не равны, а в ИЛ возникают переотражения и большие обратные напряжения. Для защиты от них тиратрона используется ограничительный диод Л5, включенный параллельно тиратрону, и реле 4 в анодной цепи диода. При наличии пробоев ток через диод Л5 вызывает срабатывание реле 4, которое включает каскад защиты.

За время открытого состояния тиратрона ИЛ практически полностью разряжается. Длительность и форма импульса разряда определяется параметрами ИЛ. Чем больше ячеек LC в ИЛ, тем форма импульса ближе к прямоугольной и тем больше длительность импульса. После окончания ИЗП и деионизации тиратрона начинается резонансный заряд конденсаторов ИЛ, изменяющийся по гармоническому закону (рис. 2.36, г, пунктирная линия). Это достигается использованием зарядного дросселя 1, индуктивность которого совместно с суммарной емкостью параллельно соединенных конденсаторов ИЛ образуют последовательный колебательный контур. Параметры контура подобраны таким образом, что полупериод собственных его колебаний примерно равен периоду повторения ИЗП. Через четверть периода напряжение конденсаторов ИЛ равно напряжению ВВ (2,8 кВ), а рост тока заряда прекращается. Поскольку ток в контуре с катушкой не может прекратиться сразу, то заряд конденсаторов продолжается за счет энергии, запасенной в дросселе 1. В момент, равный полупериоду колебаний контура, напряжение на конден-

саторах достигает максимального значения, примерно равного удвоенному напряжению выпрямителя, а затем начинает убывать. В это время и подается ИЗП для открытия тиратрона при максимальном напряжении конденсаторов ИЛ. Напряжение на конденсаторах при пробое тиратрона резко уменьшается до напряжения ВВ и сохраняется таким до полного разряда ИЛ через импульсный трансформатор 3 и тиратрон. Таким образом, формируется разрядный импульс (рис. 2.36, д), длительность которого равна $\tau_n = 2n\sqrt{LC}$, где n — число ячеек ИЛ; C и L — емкость и индуктивность каждой ячейки соответственно.

При излучении зондирующего импульса ВЧ-энергия магнетрона поступает в ВЧ-тракт. Коммутация антенны на передачу и прием, а также развязка магнетрона от антенны по отраженной волне осуществляется ферритовым циркулятором. При излучении зондирующего импульса часть ВЧ-энергии через предельный аттенюатор λ_c поступает на схему АПЧК блока ДС-3С. Часть ВЧ-энергии магнетрона пробивает разрядник, предотвращая «пролезание» энергии ПРД в приемный тракт. Питание разрядника осуществляется от выпрямителя поджига разрядника. Фазовращатель служит для согласования реактивных сопротивлений приемного и передающего трактов. После окончания зондирующего импульса разрядник восстанавливается, и принятая от цели ВЧ-энергия от антенны через циркулятор и разрядник подается в ПРН (блок ДС-3С).

В основу работы циркулятора положено свойство феррита осуществлять невзаимный сдвиг фазы ВЧ-колебаний (рис. 2.36, б).

ВЧ-энергия магнетрона поступает в плечо 1 щелевого моста (ЩМ) и, разделившись пополам в силу свойств ЩМ, проходит в плечи 2 и 3, причем фаза ВЧ-колебаний (жирная стрелка) в плече 2 отстает от фазы колебаний в плече 3.

Секция с ферритовыми пластинами имеет два волновода с общей узкой стенкой. На широких стенках волноводов приклеены ферритовые пластины, находящиеся в магнитном поле катушки подмагничивания. Магнитное поле ориентировано и подобрано так, что фаза ВЧ-колебаний в плече 4 сдвигается ферритами на -45° , а в плече 5 — на $+45^\circ$. В результате на выходе секции ВЧ-колебания оказываются в фазе и в силу свойств двойного тройника вся ВЧ-энергия магнетрона проходит в плечо 10, т. е. в антенну.

Вследствие конечной величины развязки между плечами ЩМ (не более 30 дБ) часть ВЧ-энергии проходит в плечо 8 и «поджигает» (ионизирует) разрядник. В плече 8 создается короткое замыкание, и падающая мощность отражается (тонкая стрелка). Эта мощность в силу свойств ЩМ, ферритовых пластин и двойного тройника проходит в плечо 9, где поглощается согласованной нагрузкой, не попадая, таким образом, на антенну и магнетрон.

Напряжение —800 В, подаваемое на электрод разрядника с выпрямителя, уменьшает время деионизации (восстановления) разрядника.

В режиме приема ВЧ-энергия с антенны (штриховая стрелка) проходит в плечо 10, а затем делится поровну между плечами 6 и 7 двойного тройника и сдвигается ферритами на -45° в плече 4 и на $+45^\circ$ в плече 5. Из плеча 3 ЩМ вся энергия поступает в плечо 2 со сдвигом фазы на 90° , складывается с энергией, проходящей по верхнему каналу, и поступает через плечо 8 и разрядник в приемное устройство. Так как мощность отраженного сигнала незначительна, то разрядник не ионизируется.

Вследствие свойств ЩМ энергия из плеч 2 и 3 в плечо 1, т. е. на магнетрон, не поступает.

При работе на эквивалент часть ВЧ-мощности ПРД через аттенюатор λ_c с затуханием 55 дБ подается на контроль частоты (в прибор ЕК-102), а остальная энергия поглощается в эквиваленте антенны, рассчитанном на рассеяние 100... 120 Вт средней мощности. Коммутация ВЧ-энергии на антенну или на эквивалент осуществляется высокочастотным переключателем, имеющим дистанционный электропривод. Время переключения составляет 0,25 с. В крайних положениях ВЧП выдаются сигналы контроля: «ПРД на ант.» или «ПРД на экв.».

Каскад защиты при коротком замыкании или пробое в модуляторе и магнетроне отключает цепь питания высоковольтного выпрямителя на 0,2... 0,5 с, а затем снова включает его.

Включение, тренировка и защита передатчика. Для нормальной работы магнетрона требуется предварительный трехминутный прогрев до включения «высокого». Прогрев осуществляется подачей напряжения ~ 115 В на все накальные трансформаторы блока ДС-2С. Так как в начальный момент реле 5 обесточено, то в первичную обмотку ТР9 накала магнетрона включен резистор 14, устанавливающий напряжение накала магнетрона 11 В.

Через 8...15 с, когда ЛЗ прогреется, срабатывает реле 5 и закорачивает резистор 14, повышая напряжение накала до максимального значения 15 В.

При включении «высокого» срабатывает реле 6, а если установлена верхняя крышка блока, замыкающая кнопку электрической блокировки, то срабатывает и реле 7. Реле 6 запирает левую половину лампы 3 отрицательным смещением на сетку, и отпускает реле 5. Реле 6 подает ~115 В фазы II на высоковольтный выпрямитель и подключает в цепь питания ТР9 накала магнетрона резистор 24, который снижает напряжение накала магнетрона для исключения перегрева его катода во время генерации. Для сохранения ресурса магнетрона при проверках РГС без включения «высокого» накал магнетрона выключается по команде с КПА на реле 8. Реле 8 снимает также питание с ТР8 накала лампы 3 релейного каскада, подготавливая схему защиты к повторному включению магнетрона.

В режиме тренировки магнетрона реле 6 и 7 включения «высокого» не включаются. Напряжение фазы II подается на высоковольтный выпрямитель непосредственно с автотрансформатора тренировки магнетрона АНК при полном напряжении накала магнетрона. Необходимость тренировки магнетронов обусловлена тем, что при длительном перерыве в работе (несколько месяцев) в результате выделения газа внутренними деталями магнетрона изменяется характеристика газовой среды, и происходит поверхностное окисление катода. Это приводит к ухудшению эмиссионных свойств катода и его преждевременному разрушению: при включении «высокого» наблюдаются резкие колебания тока магнетрона («искрение»). Физический смысл тренировки заключается в подключении повышенного напряжения накала магнетрона и постепенном увеличении напряжения возбуждения («высокого» напряжения). В результате сильного разогрева выделенные газы поглощаются внутренними деталями магнетрона, а за счет высокой температуры катода при малом напряжении возбуждения восстанавливаются эмиссионные свойства катода. При этом окись бария, которой покрыт катод, диссоциирует, и частицы чистого бария образуют на поверхности катода слой с высокой эмиссионной способностью.

Схема защиты отключает «высокое» на 0,2...0,5 с в случаях превышения допустимого тока высоковольтного выпрямителя при пробоях (искрении) в магнетроне и импульсном трансформаторе 3. В этих случаях срабатывают реле 1 или 4

схемы защиты. При этом: включается реле 3 и самоблокируется напряжением +27 В команды «Вкл. высокого»; отключается реле 7, которое снимает питание ~ 115 В с высоковольтного выпрямителя (отключает «высокое», а значит реле 1 или 4 отпускают); реле 3 отключает напряжение запираания —40 В с сетки правой половины лампы 3, но она остается закрытой на время 0,2...0,5 с, определяемое постоянной времени разряда конденсатора 11 через резистор 16.

Когда правая половина лампы откроется, сработает реле 2 и разблокирует реле 3, которое снова включит «высокое» и запрет правую половину лампы 3. Если причина, вызывающая срабатывание реле 1 и 4, не исчезла, то реле 1 или 4 снова сработают и процесс снятия и включения «высокого» повторится.

Работа магнетрона контролируется по его среднему току или по напряжению контроля, выведенному с цепочки C19, R20, R29.

Магнетроны, устанавливаемые в блоках ДС-2С, имеют разброс токов, зависящий от фактической длительности τ_n , частоты повторения F , скважности (1000) и паспортного тока $I_{\text{пасп}}$. Величину разброса токов можно вычислить с помощью уравнения

$$I_{\text{ср}} = (0,65 \dots 1,05) \cdot 1000 I_{\text{пасп}} \cdot \tau_n F \cdot 10^{-6} \text{ мА},$$

где коэффициент (0,65...1,05) учитывает изменение питающих напряжений. С учетом этого напряжение контроля устанавливается одинаковым для всех блоков (60 В) и регулируется резистором 29.

Обдув анода магнетрона осуществляется вентилятором М1 производительностью 60 м³ в час, давлением 90 мм вод. ст.

Перестройка частоты магнетрона осуществляется вручную по шкале, связанной с приводом.

2.5.3. Высокочастотная часть приемника (блок ДС-3С)

Блок ДС-3С (рис. 2.37) обеспечивает прием, селекцию, стробирование и автоматическую регулировку мощности эхосигналов по высокой частоте, выработку и предварительное усиление сигналов промежуточной частоты, запираение ПРН бланкирующими импульсами и автоматическую подстройку частоты клистрона (АПЧК).

В состав блока входят канал сигнала, канал АПЧК и клистрон (гетеродин).

Канал сигнала обеспечивает:

— установку сигнальной чувствительности ПРН 70 дБ ручной регулировкой затухания, вносимого аттенюатором входа в пределах 0...8 дБ;

— автоматическую регулировку мощности входного сигнала аттенюатором на феррите системы АРМ на величину до 27 дБ в зависимости от напряжения АРУ с блока ДС-4С;

— повышение чувствительности ПРН аттенюатором на кристаллах на 30 дБ при подаче строга ВЧ (стробирование ПРН);

— селекцию сигналов по высокой частоте преселектором, имеющим полосу пропускания ± 14 МГц относительно частоты сигнала f_c ;

— преобразование высокочастотных эхо-сигналов в сигналы промежуточной частоты 60 МГц по закону $f_{пр} = f_{гет} - f_{отр}$ с помощью кристаллических детекторов балансного смесителя;

— предварительное усиление сигналов промежуточной частоты пятикаскадным ПУПЧ, имеющим коэффициент усиления 70...130, регулируемый напряжением АРУ с блока ДС-4С;

— запираение ПУПЧ на 60...70 дБ бланкирующими импульсами во время излучения зондирующих импульсов ПРД.

Канал АПЧК осуществляет автоматическую подстройку частоты клистрона для поддержания постоянного значения промежуточной частоты канала сигнала (60 МГц) при изменении частоты передатчика (а значит и частоты отраженных от цели сигналов), а также при изменении частоты клистрона.

Для решения этой задачи на детекторах балансного смесителя канала АПЧК вырабатывается разностная частота $f_p = f_{гет} - f_{прд}$, она усиливается трехкаскадным УПЧ и сравнивается с частотой настройки дискриминатора электронной схемы АПЧК, которая равна 60 МГц. Если $f_p \neq 60$ МГц, то электронная схема АПЧК вырабатывает управляющее напряжение регулирования, пропорциональное этой разности, которое подается на отражатель клистрона. Частота клистрона изменяется таким образом, чтобы получить $f_p = 60$ МГц. Так как при этом $f_{гет}$ больше $f_{прд}$ на 60 МГц, а клистрон является общим для каналов сигнала и АПЧК, то $f_{пр} = f_{гет} - f_{отр} = 60$ МГц.

Таким образом, в блоке ДС-3С используется разностная двухканальная схема АПЧК, являющаяся системой автоматического регулирования с непрерывной коррекцией, обеспе-

чивающей поддержание частоты клистрона на 60 МГц больше частоты ПРД.

Схема АРМ служит для расширения динамического диапазона ПРН и обеспечивает ослабление мощности эхо-сигналов в пределах 1...27 дБ при увеличении напряжения АРУ блока ДС-4С от -2 до $-4,5$ В.

В состав схемы АРМ входят аттенюатор на феррите и УПТ. Нагрузкой УПТ являются катушки авторегулирования, создающие подмагничивающее поле феррита, пропорциональное напряжению АРУ. Характеристика затухания, вносимого схемой АРМ в зависимости от величины напряжения АРУ, показана на рис. 2.37, а.

Ослабление ВЧ-энергии, вносимое ферритом, вызвано явлением ферромагнитного резонанса. Если к ферромагнетику приложить внешнее постоянное магнитное поле, то все его домены будут ориентироваться по направлению поля и прецессировать относительно этого направления с частотой ферромагнитного резонанса. Электромагнитная волна H_{10} взаимодействует с колеблющимися элементарными магнетиками тем интенсивнее, чем ближе частота прецессии к частоте колебаний электромагнитного поля. В результате взаимодействия энергия электромагнитного поля поглощается, расходуясь на увеличение амплитуды колебаний элементарных частиц ферромагнита, и переходит в тепло. Максимальное поглощение происходит при строго определенной величине магнитного поля, когда частота прецессии равна частоте входного сигнала. С увеличением частоты ток подмагничивания должен быть больше. Поэтому при перестройке частоты РГС в пределах рабочего диапазона частот $Y...Y+400$ МГц необходимо регулировать затухание, вносимое схемой АРМ, путем изменения тока в катушках (т. е. подмагничивающего поля феррита) потенциометром АРМ при постоянном значении напряжения АРУ.

Схема стробирования по ВЧ служит для повышения помехозащищенности ПРН и селекции целей по дальности путем открытия ПРН только стробом ВЧ.

Схема состоит из аттенюатора на кристаллах и усилителя-ограничителя стробов ВЧ. Аттенюатор представляет собой отрезок волновода, в широкую стенку которого включены два переключающих СВЧ-диода на расстоянии $\lambda_v/4$ друг от друга (рис. 2.37, б).

Принцип работы аттенюатора основан на изменении величины полного сопротивления диодов и вносимого ими за-

тухания в зависимости от величины и знака напряжения смещения.

Как известно, для полной передачи ВЧ-энергии по волноводу необходимо, чтобы в нем распространялась только бегущая волна, что возможно лишь в случае согласованной нагрузки волновода (волновое сопротивление волновода равно сопротивлению нагрузки и коэффициент бегущей волны (к. б. в.) равен единице. Если же произошло рассогласование линии передачи энергии (изменилось сопротивление нагрузки), то в волноводе возникают отраженные волны, распространяющиеся в обратном направлении (режим смешанных волн). В результате не вся энергия поступает на выход волновода, так как в этом случае к. б. в. больше или меньше единицы.

До подачи строга ВЧ с усилителя-ограничителя на диоды подается отрицательное (обратное) смещение, величина которого устанавливается резистором 91 «Атт. ШАРУ» в пределах от $-2,5$ до -16 В. Каждый из диодов в этом случае представляет собой последовательный колебательный контур. Полное сопротивление диодов становится гораздо меньше волнового сопротивления волновода, что приводит к шунтированию сопротивления нагрузки и уменьшению к. б. в. В волноводе распространяется смешанная волна, и диоды вносят затухание не менее 30 дБ (кривая на рис. 2.37, б).

При подаче строга ВЧ с усилителя-ограничителя на диоды подается положительное (прямое) смещение величиной $+ (2 \dots 3)$ В. В этом случае каждый из диодов представляет собой параллельный колебательный контур с полным сопротивлением, гораздо большим волнового сопротивления волновода. Поскольку при этом шунтирования сопротивления нагрузки не происходит, то в волноводе распространяется бегущая волна с незначительными потерями ($L_{\text{п}} = 4$ дБ). За счет включения двух диодов увеличивается L_{Σ} при сохранении малых значений $L_{\text{п}}$, так как $L_{n\Sigma} \approx L_{\text{п}}^n$, а $L_{3\Sigma} = 4^{(n-1)} L_{\text{п}}^n$, где n — количество диодов, а L_{Σ} и $L_{\text{п}}$ — величины затухания и потерь, вносимых одним диодом.

Преселектор является двухсвязанным колебательным контуром, обеспечивающим селекцию (фильтрацию) принимаемых сигналов ОВЧ и ослабление помеховых сигналов, частоты которых отличаются от частоты настройки РГС. Он представляет собой цилиндрический объемный резонатор с высокой добротностью (рис. 2.37, в). Настройка преселектора на несущую частоту РГС осуществляется изменением объема ре-

резонаторной камеры подвижным поршнем по градуировочному графику. Для повышения избирательности характеристика контура имеет двугорбую форму (рис. 2.37, г) с полосой пропускания 28 МГц на уровне 3 дБ (по мощности), устанавливаемой винтами настройки.

При подаче на преселектор СВЧ-колебаний в объемном резонаторе возбуждаются собственные колебания (взаимно перпендикулярные волны H_{11}), частота которых зависит только от размеров резонаторной камеры преселектора (соответствует частоте несущих колебаний зондирующих импульсов РГС), а мощность — как от мощности, так и от частоты возбуждающих колебаний. На выходе преселектора возбуждаются колебания несущей частоты такой же структуры, как и на входе, а мощность их пропорциональна мощности колебаний в резонаторной камере. Максимальная мощность на выходе преселектора достигается только на резонансной частоте, когда частота принимаемых РГС сигналов соответствует собственной частоте колебаний преселектора (в пределах полосы пропускания контура).

Ослабление сигнала преселектором при расстройке частот на 120 МГц (избирательность преселектора) составляет не менее 16 дБ. Потери сигнала в преселекторе составляют не более 1 дБ.

Преобразователь частоты обеспечивает преобразование несущей частоты принятого сигнала f_c в промежуточную частоту $f_{пр}$ без изменения закона модуляции и спектра сигнала. В его состав входят балансный смеситель и гетеродин (клизстрон).

Входным устройством балансного смесителя является двойной волноводный тройник с разветвлениями в E и H плоскостях (рис. 2.38). В максимумы электрического поля боковых плеч тройника (на расстоянии $\lambda_v/4$ от замкнутого конца плеча) установлены кристаллические полупроводниковые детекторы-смесители. Благодаря свойствам двойного тройника энергия сигнала из f -плеча разделяется поровну между боковыми плечами в фазе, а энергия клистроны из H -плеча — в противофазе. Кроме того, энергия сигнала не попадает в H -плечо и не влияет на работу клистроны, а энергия клистроны не попадает в E -плечо и не излучается в пространство. Развязка между плечами E и H равна 20 дБ.

При подаче сигнала в боковых плечах двойного тройника колебания гетеродина и сигнала с частотами f_r и f_c образуют биения, представляющие собой амплитудно-модулированное

колебание, огибающая которого имеет напряжение $U_p = U_r \pm U_c$. Глубина модуляции пропорциональна мощности принимаемых сигналов, так как мощность клистрона постоянна (рис. 2.40). Это колебание подается на детектор, являющийся нелинейным элементом преобразователя частоты. Ток детектора представляет собой последовательность импульсов, амплитуда которых изменяется по закону огибающей биений. В частотном спектре такой последовательности содержатся колебания с частотами f_c , f_r их гармоник и колебания на комбинационных частотах $(nf_c \pm mf_r)$, где m и n — целые числа.

Колебания на комбинационных частотах несут информацию о принимаемом сигнале. С помощью фильтра из этих частот выделяется только одна комбинационная частота, имеющая ту же форму, что и принимаемый сигнал: $f_{пр} = f_r - f_c = 60$ МГц.

Преобразователь частоты является линейным элементом ПРН для колебаний сигнала, информацию о котором несет огибающая биений, воздействующая в области линейной части вольт-амперной характеристики детектора. В то же время преобразователь — нелинейный элемент для колебаний гетеродина, заполняющих биения и воздействующих в нелинейной области характеристики детектора.

В плечах смесителя детекторы включены встречно, фазы сигнала совпадают, а фазы гетеродина противофазны. Это обеспечивает последовательное детектирование колебаний сигнала и создает двухтактный выходной сигнал на промежуточной частоте, т. е. токи обоих детекторов на общей нагрузке фильтра складываются.

В то же время относительно противофазных колебаний гетеродина детекторы включены параллельно, что повышает чувствительность ПРН за счет уничтожения шумов гетеродина. Действительно, гетеродин наряду с частотой f_r генерирует широкий спектр флюктуационных шумов, которые в сочетании с частотой f_r образуют на выходе детекторов $f_{пр}$ шума. Поскольку напряжение шумов подается на детекторы в противофазе, то равные по амплитуде, но противоположные по фазе шумовые составляющие токов детекторов 3 и 4, проходя в противоположных направлениях через выходной фильтр, взаимно компенсируются и шумы гетеродина устраняются. Степень подавления шумов гетеродина зависит от степени совпадения коэффициентов преобразования L_1 и L_2 обоих детекторов смесителя, характеризующих отношение напряжения

сигнала на частоте $f_{\text{пр}}$ (на выходе детектора) к напряжению сигнала на частоте f_c на входе смесителя.

Мощность сигнала промежуточной частоты равна: $P_{c, \text{пр}} = (\sqrt{L_1} + \sqrt{L_2})^2 / (L_1 L_2)$, а преобразованная мощность шумов гетеродина —

$$P_{\text{ш}} = (\sqrt{L_1} - \sqrt{L_2})^2 / (L_1 L_2).$$

Степень подавления шумов гетеродина относительно величины сигнала составляет:

$$S = (\sqrt{L_1} + \sqrt{L_2})^2 / (\sqrt{L_1} - \sqrt{L_2})^2.$$

При допустимой разнице потерь в детекторах 3 дБ степень подавления шумов гетеродина равна 34 (15,3 дБ).

Применение балансного смесителя позволяет также увеличить надежность работы блока, так как при выходе одного детектора из строя ПРН продолжает работать с уменьшившейся на 3...5 дБ чувствительностью.

Контроль работы детекторов-смесителей осуществляется по их токам, снимаемым с дросселей и RC-фильтров. Мощность клистрона, подаваемая на смеситель, с помощью аттенюатора устанавливается такой, чтобы токи детекторов лежали в пределах 300...900 мкА, при которых уровень шумов, а также потери преобразователя оптимальны.

ПУПЧ. Входной цепью ПУПЧ является трансформатор, настроенный на частоту $f_{\text{пр}} = 60$ МГц, который одновременно является фильтром преобразователя частоты. Первые два каскада ПУПЧ выполнены по антишумовой схеме на пентодах в триодном включении: триод с заземленным катодом — триод с заземленной сеткой. Остальные три каскада образуют расстроенную тройку контуров, обеспечивающих полосу пропускания ПУПЧ 3,8...4,6 МГц на уровне 0,7. Коэффициент усиления ПУПЧ (70...130) регулируется напряжением АРУ с блока ДС-4С в зависимости от мощности эхо-сигнала во всем динамическом диапазоне ПРН.

Положительный бланкирующий импульс с блока ДС-7СА через катодный повторитель запирает каскады 4 и 5, внося затухание $L_3 = 60...70$ дБ для предотвращения «пролезания» зондирующего импульса в ПРН.

Канал АПЧК. В блоке ДС-3С применена импульсная, разностная, двухканальная, поисковая система АПЧК (см. рис. 2.37).

Двухканальная схема АПЧК имеет отдельный преобразователь частоты (балансный смеситель), усилитель промежу-

точной частоты (УПЧ) и электронную схему автоматической регулировки частоты клистрона.

Преобразователь частоты собран по такой же схеме, как и в канале сигнала, но вырабатывает $f_p = f_r - f_{\text{прд}}$. Установка рабочего уровня мощности передатчика и клистрона, подаваемых на смеситель АПЧК, обеспечивается аттенюаторами.

Частота колебаний клистрона f_r зависит от объема его резонаторной камеры, изменяемой ручкой механической настройки, и от величины отрицательного напряжения на отражателе клистрона.

Напряжение на отражателе устанавливается потенциометром АПЧК и регулируется электронной схемой АПЧК. В состав электронной схемы входят частотный дискриминатор и управляющий каскад, выполненный по обычной диодно-транзитронной схеме. В зависимости от величины отклонения разностной частоты Δf_p от номинального значения промежуточной частоты $f_{\text{пр}} = 60$ МГц управляющий каскад работает либо в режиме транзитронного генератора, либо в режиме УПЧ, обеспечивая работу схемы АПЧК в режимах «Поиск» и «Слежение» соответственно.

В режиме поиска (при большом значении Δf_p или при выключенном передатчике) транзитронный генератор вырабатывает отрицательное напряжение, изменяющееся по пилообразному закону с частотой 4...5 Гц. Это напряжение суммируется с отрицательным напряжением потенциометра АПЧК на отражателе клистрона, что приводит к изменению частоты клистрона f_r (рис. 2.41).

При включенном передатчике в момент излучения зондирующего импульса в смесителе АПЧК вырабатывается разностная частота $f_p = f_r - f_{\text{прд}}$, которая усиливается резонансным УПЧ, настроенным на частоту 60 МГц. Усиленные в УПЧ импульсы разностной частоты поступают на частотный детектор (дискриминатор), который выделяет огибающую этих импульсов (рис. 2.39). Длительность видеоимпульсов равна длительности зондирующих импульсов передатчика, а амплитуда и полярность определяются величиной и знаком отклонения Δf_p от переходной частоты дискриминатора, а также крутизной и полосой пропускания дискриминатора. Частотная характеристика дискриминатора (рис. 2.39) несимметрична относительно $f_{\text{пр}}$. Характеристика дискриминатора $U_{\text{вых}} = \varphi(\Delta f_p)$ отражает закон изменения амплитуды и полярности видеоимпульсов в зависимости от отклонения разностной частоты Δf_p от 60 МГц. На участке *ab* характеристика прямолинейна.

При больших Δf_p характеристика искривляется и имеет падающие участки. Это происходит из-за уменьшения напряжения на контурах дискриминатора вследствие ухода частоты от резонансной. Переход характеристики через ноль происходит на частоте $f_p = 61,5$ МГц. Асимметрия характеристики вызвана особенностями работы управляющего каскада схемы АПЧК, который переводится из режима транзитронного генератора в режим УПТ (а схема АПЧК — в режим слежения) только при некотором отрицательном напряжении на его управляющей сетке. Для создания этого напряжения разностная частота должна стать равной 60 МГц, и тогда на выходе дискриминатора появляются отрицательные видеоимпульсы рассогласования определенной амплитуды. Эти импульсы усиливаются видеоусилителем примерно в 15 раз для повышения крутизны характеристики дискриминатора, что приводит к повышению чувствительности схемы АПЧК к изменениям f_p . Усиленные видеоимпульсы поступают на пиковый детектор управляющего каскада. При некотором значении напряжения на отражателе клистрона частота его станет такой, что разностная частота попадает в полосу пропускания УПЧ. Тогда с выхода дискриминатора на пиковый детектор будут поступать видеоимпульсы с амплитудой, пропорциональной уходу f_p от номинала $\Delta f_{пр}$.

Если f_p больше 61,5 МГц, то на выходе дискриминатора появляются положительные видеоимпульсы, которые после усиления становятся отрицательными и на нагрузке детектора не выделяются. Когда в процессе изменения частоты клистрона f_p станет меньше 61,5 МГц, то на выходе дискриминатора появляются отрицательные видеоимпульсы, которые усиливаются и создают на нагрузке детектора отрицательное напряжение рассогласования. При величине напряжения $-5 \dots -7$ В генерация транзитрона срывается, и он переходит в режим УПТ с коэффициентом усиления 40...50. Срыв генерации (захват) происходит при $f_p = 60$ МГц. В дальнейшем при изменении f_p за счет ухода частоты передатчика или клистрона напряжение рассогласования U_y , а следовательно и частота клистрона, будут изменяться таким образом, чтобы свести ошибку рассогласования к нулю, поддерживая $f_p = 60$ МГц (рис. 2.41). Поскольку частота передатчика и частота эхо-сигналов одинаковы, то промежуточная частота в канале сигнала также равна 60 МГц.

Область захвата схемы АПЧК составляет не менее ± 20 МГц относительно номинала $f_{пр}$. В режиме слежения

рабочий участок характеристики дискриминатора между нулевой точкой перехода и отрицательным пиком характеристики лежит в пределах 2,6...3,6 МГц (полоса пропускания дискриминатора Δf).

Если частота передатчика скачком изменится настолько, что выходит за пределы полосы пропускания дискриминатора, то отрицательное напряжение на нагрузке детектора пропадет и управляющий каскад снова перейдет в режим генерации. Переход в режим слежения (захват) произойдет при новом значении напряжения на отражателе клистрона, когда f_p снова станет равна 60 МГц.

Для проверки параметров РГС при выключенном передатчике схема АПЧК может быть отключена подачей ком. «Выкл. АПЧК» с блока ДК-101С на реле 1. При этом от отражателя клистрона отключается выходное напряжение управляющего каскада, а подключается отрицательное напряжение, величина которого равна величине напряжения с управляющего каскада схемы АПЧК при $f_p = 60$ МГц.

Взаимодействие частотного дискриминатора и управляющего каскада в процессе автоподстройки происходит при замкнутой системе АПЧ. Условие динамического равновесия системы при этом определяется совместным решением уравнений $U_y = \psi(\Delta f_p)$ и $\Delta f_r = \varphi(U_y)$, где U_y — величина управляющего напряжения с выхода управляющего каскада, а Δf_r — изменение частоты клистрона, вызванное изменением U_y .

На рис. 2.42 представлены обе характеристики в одной координатной системе $U_y, \Delta f_r$, где независимой переменной является расстройка Δf .

Характеристика дискриминатора всегда проходит через начало координат, так как управляющее напряжение зависит только от Δf . Характеристика управляющего каскада не должна проходить через начало координат, так как характеристика дискриминатора асимметрична. Когда частота клистрона равна своему номинальному значению, характеристики пересекаются в точке А, где происходит срыв генерации транзистрона и происходит переход схемы АПЧК в режим слежения.

Практически всегда имеется некоторая начальная расстройка клистрона, обусловленная температурной нестабильностью, изменением питающих напряжений и пр. В результате характеристика управляющего каскада пересекает ось частоты в точке $\Delta f_{нач}$. Возникшее за счет первоначальной расстройки напряжение U_{y1} на выходе дискриминатора (точка a_1) стремится изменить частоту клистрона на величину Δf_r

(точка b_1). Однако как только частота клистрона изменится и расстройка окажется равной Δf_1 , появится новое управляющее напряжение U_{y_2} (точка a_2), стремящееся изменить частоту клистрона на величину Δf_{r_2} , и расстройка достигнет величины Δf_2 . Появившееся при этом управляющее напряжение U_{y_3} (точка a_3) стремится изменить частоту клистрона на величину Δf_{r_3} в сторону увеличения расстройки и т. д.

В результате непрерывного протекания этого процесса точка a будет перемещаться по характеристике дискриминатора в точку A пересечения ее с характеристикой управляющего каскада. Напряжение на выходе дискриминатора достигнет значения U_{y_0} , а остаточная расстройка клистрона — величины $\Delta f_0 < \Delta f_{нач}$.

Таким образом, состояние динамического равновесия системы, соответствующее точке A пересечения характеристик, является устойчивым. Величина $k_f = \Delta f_{нач} / \Delta f_0$ называется коэффициентом автоподстройки частоты и характеризует эффективность работы системы АПЧ. Система АПЧ выполняет свои функции только тогда, когда крутизна характеристик дискриминатора $S_d = \operatorname{tg} \alpha = dU_y / d(\Delta f)$ и управляющего каскада $S_y = \operatorname{tg} \beta = d(\Delta f) / dU_y$ в точке A динамического равновесия имеют разные знаки (т. е. пересекаются), так как $k_f = 1 - S_d S_y$. В этом случае $k_f > 1$ и расстройка уменьшается. Повышение крутизны S_d и S_y приводит к повышению эффективности автоподстройки. Ширина полосы пропускания дискриминатора, равная расстоянию между пиками его статической характеристики (см. рис. 2.39), соответствует спектру импульсного сигнала $\Delta f_d = k_n / \tau_n$, где k_n — коэффициент, зависящий от формы импульса.

Уменьшение полосы пропускания дискриминатора уменьшает его эффективность, так как при отклонении f_p от номинального значения (60 МГц) $U_{упр}$ будет тем меньше, чем меньше Δf . При увеличении полосы пропускания дискриминатора уменьшается крутизна его характеристики, отчего увеличивается остаточная расстройка Δf_0 .

2.5.4. Функциональная схема блока ДС-4С

Несколько слов о работе

Блок ДС-4С является импульсной частью приемника РГС и обеспечивает усиление и преобразование сигналов промежуточной частоты в видеоимпульсы цели с сохранением закона модуляции эхо-импульсов на выходе антенны. В состав блока (рис. 2.43) входят: УПЧ, второй детектор, видеоусили-

тель, а также схемы АРУ, ШАРУ, РЧД и формирования стробов УПЧ, которые обеспечивают защиту ПРН от помех и перегрузок. Подробно назначение этих схем приведено в п. 2.4.1.

УПЧ выполнен на двух расстроенных тройках контуров, что обеспечивает полосу пропускания 7 МГц. Коэффициент усиления УПЧ равен 1200...1700 и регулируется напряжениями РЧД, АРУ, ШАРУ и системой стробирования. Частотные характеристики «тройки» каскадов УПЧ приведены на рис. 2.43, а.

На втором детекторе из усиленных импульсов промежуточной частоты выделяются отрицательные видеоимпульсы цели, пропорциональные мощности эхо-сигналов, промодулированных по закону сканирования диаграммы направленности антенны на прием (до замыкания цепи АРУ).

Видеоимпульсы цели усиливаются в 30...50 раз видеоусилителем и с катодных повторителей подаются на блок ДС-8СА (имп. эхо-сигнала) и на блок ДС-5С (имп. СО). Полоса пропускания видеоусилителя равна 1 МГц. УПЧ по второму и четвертому каскадам заперт отрицательным напряжением с УПТ схемы формирования стробов УПЧ. При подаче на УПТ отрицательных стробов ШАРУ и УПЧ (рис. 2.43, б) лампа УПТ закрывается и снимает отрицательное напряжение запирающего с УПЧ. Приемник открывается, и на его выходе выделяются шумовой импульс и импульс цели (при ее наличии в стробе УПЧ).

Выделенные импульсы шумов ПРН используются для работы схемы ШАРУ, а импульсы цели, совпадающие со стробом УПЧ, — для работы систем АСД и АСН.

При проверке РГС напряжение запирающего можно отключить по ком. «Выкл. стробов» с блока ДК-101С на реле 1. При этом приемник открыт и не стробируется.

Последовательность импульсов шумов и протектированных, и усиленных видеоимпульсов цели подается на схемы ШАРУ и АРУ блока ДС-4С.

Схема ШАРУ регулирует коэффициент усиления (чувствительность) ПРН обратно пропорционально мощности шумов, обесточивая стабилизацию сигнальной чувствительности ПРН, равной 74 дБ. Под сигнальной чувствительностью понимается минимальное значение входной мощности, при которой амплитуда видеоимпульсов равна 30 В и происходит «захват» цели системой АСД. При этом напряжение шумов $U_{ш} = 4...5,5$ В, напряжение $U_{р.р.у}$ с потенциометра 57 схемы

АРУ равно $0,7 \dots 0,9$ В, а напряжение регулирования ШАРУ $U_{\text{ШАРУ}} = 2,3 \dots 2,9$ В.

В состав схемы ШАРУ входят: фазоинвертор; детектор ШАРУ; сглаживающий фильтр $R84, C65$; ограничитель ШАРУ.

Шумовые импульсы и видеоимпульсы цели поступают на детектор ШАРУ. Детектор заперт отрицательным напряжением с фазоинвертора. При подаче на фазоинвертор отрицательного строба ШАРУ его лампа закрывается и открывает детектор на время действия строба. Так как со стробом ШАРУ совпадают только шумовые импульсы, то на нагрузке детектора выделяется отрицательное напряжение регулирования $U_{\text{ШАРУ}}$ (см. рис. 2.43, б). Это напряжение сглаживается фильтром $R84, C65$ и подается на управляющую сетку 2-го каскада УПЧ. Постоянная времени детектора ШАРУ и фильтра выбрана такой, что величина $U_{\text{ШАРУ}}$ пропорциональна среднему уровню шумов. Изменение уровня шумов за счет дестабилизирующих факторов (изменения температуры, напряжений, смены ламп и пр.) вызывает изменение напряжения регулирования схемы ШАРУ, благодаря чему уровень шумов на выходе ПРН стабилизируется на уровне $U_{\text{ш}} = 3 \dots 6$ В, а следовательно, и чувствительность ПРН поддерживается постоянной. Однако это происходит только при отсутствии искусственных помех.

Шумовые, непрерывные и импульсные помехи с малой скважностью и высокой частотой посылок, ослабленные системой стробирования блока ДС-3С примерно на 30 дБ (в 1000 раз), проходят в блок ДС-4С и могут совпадать со стробом ШАРУ. Строб ШАРУ будет выделять не только собственные шумы ПРН, но и помеховые сигналы, что приведет к возрастанию $U_{\text{ШАРУ}}$ и понижению чувствительности ПРН пропорционально мощности помеховых сигналов. В результате этого амплитуда видеоимпульсов цели уменьшится, что затруднит обнаружение и захват цели. Кроме того, при большой мощности помехи будет затруднен захват не только цели, но и помехоносителя. Для обеспечения захвата и самонаведения на помехоноситель динамический диапазон схемы ШАРУ уменьшается путем ограничения напряжения ШАРУ диодным ограничителем на уровне $5,4 \dots 7$ В.

Схема РЧД на каждый импульс запуска РЧД с блока ДС-7СЛ, задержанный на 3 мкс относительно синхронизирующего импульса, вырабатывает отрицательное напряжение регулирования коэффициента усиления УПЧ, уменьшающееся

по экспоненциальному закону (рис. 2.43, *e*). При этом чувствительность ПРН возрастает от 40 дБ на дальности 3 км от КР до 74 дБ на дальности 15 км. Уменьшение усиления ПРН в ближней от КР зоне предотвращает перегрузку ПРН за счет отражений от морской поверхности, от ближних целей и в момент излучения зондирующего импульса ПРД, а также облегчает сопровождение цели на малых дальностях.

Ограниченный положительный импульс запуска схемы РЧД через катодный повторитель открывает зарядную лампу, и конденсатор $C60$ заряжается через нее, формируя передний фронт импульса РЧД. После окончания запускающего импульса зарядная лампа закрывается и $C60$ разряжается по экспоненциальному закону через резистор $R77$, формируя задний фронт импульса РЧД. Длительность уплощенной части импульса РЧД (20...25 мкс) устанавливается потенциометром «Отсечка РЧД», а амплитуда импульса (0...6 В) — потенциометром «Амплитуда РЧД». Импульсы РЧД длительностью 100...125 мкс по III, IV, V каскадам УПЧ уменьшают коэффициент усиления ПРН пропорционально величине амплитуды.

Схема АРУ обеспечивает линейность амплитудной характеристики ПРН, поддерживая почти постоянную амплитуду видеоимпульсов цели при изменении среднего уровня мощности отраженных от цели эхо-импульсов в динамическом диапазоне от -64 до 0 дБ.

Динамическим диапазоном ПРН называется отношение максимального входного уровня сигнала к минимальному, при котором обеспечивается прием сигналов без перегрузки (без ограничения). Совместно с системой АРМ блока ДС-3С схема АРУ обеспечивает динамический диапазон работы ПРН от -64 до $+20$ дБ.

В блоке ДС-4С применена инерционная система АРУ «назад» с задержкой и усилением. Принцип действия такой системы АРУ заключается в том, что видеоимпульсы цели с выхода ПРН подаются на вход усилителя АРУ только после достижения определенной амплитуды (АРУ «с задержкой»), после усиления (АРУ «с усилением») они детектируются, проходят фильтр с большой постоянной времени (инерционная АРУ) и в виде отрицательного напряжения регулирования подаются на первые каскады УПЧ (АРУ «назад»), уменьшая коэффициент усиления ПРН обратно пропорционально мощности входных сигналов (амплитуде выходных импульсов ПРН). При увеличении амплитуды отраженного сигнала на

входе ПРН увеличивается выпрямленное напряжение на выходе детектора АРУ. Это напряжение увеличивает отрицательное смещение на сетках регулируемых ламп УПЧ, уменьшая усиление настолько, что напряжение на выходе ПРН остается почти постоянным.

Усилители в цепях АРУ служат для улучшения стабилизирующих свойств системы.

Напряжение задержки во входной цепи усилителя определяет порог срабатывания АРУ. В схеме АРУ с задержкой усиление ПРН остается неизменным до тех пор, пока мощность входных сигналов не достигнет определенной величины, что позволяет снизить порог захвата цели и повысить надежность ее сопровождения.

Система АРУ «назад» в отличие от АРУ «вперед» имеет обратную связь, и поэтому является системой автоматического регулирования, регулирующее действие которой определяется степенью отклонения выходного напряжения ПРН от заданного уровня.

Фильтр служит для отфильтровывания составляющих высоких и низких частот выпрямленного детектором АРУ напряжения и его сглаживания. Постоянная времени детектора и фильтра АРУ выбирается в несколько раз больше периода сканирования диаграммы направленности антенны на прием. В результате этого выходное напряжение АРУ пропорционально среднему значению амплитудно-модулированных эхосигналов цели и предотвращает их демодуляцию, сохраняя таким образом информацию об угловом положении цели, заключенную в огибающей эхосигналов на выходе антенны. При постоянной времени АРУ меньше оптимальной величины система АРУ будет демодулировать эхосигналы, а при большей авторегулирование будет запаздывать относительно изменений входного сигнала.

Инерционная АРУ делает ПРН инерционным, понижает его устойчивость, усложняет настройку и не защищает ПРН от быстро изменяющихся помех. Однако такая АРУ с большой точностью поддерживает постоянную амплитуду видеоимпульсов на выходе ПРН, в результате чего с возрастанием уровня сигналов шумы, меньшие уровня сигналов, уменьшаются. На рис. 2.43, д показаны сравнительные характеристики простой АРУ, АРУ «с задержкой» и «усилением», идеальной АРУ. На оси абсцисс приведены мощности входных сигналов, а на оси ординат — значения амплитуд видеоимпульсов цели и напряжения регулирования АРУ блока ДС-4С.

В блоке ДС-4С по команде «Захват» с блока ДС-8СА, которая выдается при амплитуде видеоимпульсов примерно 30 В, срабатывает реле 2 и подключает на вход видеоусилителя АРУ видеоимпульсы цели и шумовые импульсы с выхода ПРН. Отрицательное напряжение задержки обеспечивает открытие видеоусилителя только при амплитуде видеоимпульсов цели более 45...50 В, поэтому для шумового импульса ($U_{ш}=5...7$ В) лампа оказывается закрытой (рис. 2.43, в).

Для увеличения коэффициента передачи детектора АРУ усиленные видеоимпульсы «растягиваются» конденсатором С50 и поступают на детектор. На нагрузке детектора выделяется отрицательное пульсирующее напряжение, величина которого пропорциональна амплитуде видеоимпульсов цели. Пульсации напряжения обусловлены амплитудной модуляцией видеоимпульсов при отклонении цели от РСН, а также за счет вобуляции частоты повторения зондирующих импульсов. Через фильтр R55, С49, сглаживающий пульсации, постоянное отрицательное напряжение подается на балансный катодный повторитель АРУ. Потенциометром R57 устанавливается начальное отрицательное напряжение ручной регулировки усиления (РРУ), обеспечивающее требуемое усиление ПРН до включения АРУ.

Напряжение регулирования АРУ изменяется в пределах $-0,7...4,8$ В и подается на I каскад УПЧ и в блок ДС-3С на ПУПЧ и схему АРМ. Для контроля на блок ДК-101С подается положительное напряжение АРУ.

Время замыкания АРУ не превышает 0,1 с. Коэффициент усиления схемы АРУ равен 0,6...3, что позволяет поддерживать амплитуду видеоимпульсов на выходе ПРН с ошибкой не более 25% при изменении входной мощности от -65 до -12 дБ.

2.5.5. Блок управления по угловым координатам ДС-5С

Блок ДС-5С обеспечивает:

— выделение огибающих сигнала ошибки по курсу и высоте из амплитудно-модулированных по закону сканирования ДНА видеоимпульсов цели; их усиление и преобразование в управляющие токи для управления антенным устройством в режиме сопровождения цели;

— формирование управляющих напряжений УН $\pm 45^\circ$ и УН $\pm 90^\circ$ для создания электронного сканирования ДНА на

прием, а также формирование опорных напряжений каналов курса и высоты;

— задержку отключения каналов выделения сигнала ошибки на 0,35 с при пропадании эхо-импульсов цели.

В состав блока входят (рис. 2.45): канал формирования управляющих (УН $\pm 45^\circ$, УН $\pm 90^\circ$) и опорных напряжений; канал выделения сигнала ошибки курса; канал выделения сигнала ошибки высоты; схема памяти.

Канал формирования управляющих и опорных напряжений вырабатывает два управляющих напряжения « $+45^\circ$ » и « -45° » частотой $2(L \pm 50)$ Гц, противоположных по фазе (см. рис. 2.46, в), которые используются не только для переключения ДНА на 90° по курсу и высоте, но и в качестве селектирующих (для разделения видеоимпульсов цели по каналам курса и высоты), а также для формирования разрядных импульсов. Кроме того, канал вырабатывает два противофазных управляющих напряжения « $+90^\circ$ » и « -90° » частотой $L \pm 50$ Гц (см. рис. 2.46, к), которые используются для переключения ДНА на 180° (по курсу: влево-вправо, по высоте: вверх-вниз), а также в качестве опорных напряжений канала курса и для формирования опорных напряжений канала высоты, сдвинутых относительно ОН курса по фазе на 90° .

Задающим генератором управляющих напряжений является симметричный самовозбуждающийся мультивибратор (рис. 2.46, а). Период повторения импульсов мультивибратора зависит от его RC-параметров и величины суммарного напряжения на управляющих сетках с RC-генераторов, вырабатывающих синусоидальные напряжения с частотами f и $2f$. Так как частоты генераторов отличаются примерно в два раза и несинхронны, то это дает возможность получить случайный период закона изменения частоты мультивибратора, а следовательно, и частоты сканирования ДНА в пределах $2(L \pm 50)$ Гц. Случайный закон изменения сканирования ДНА на прием затрудняет создание противником угловых помех системе АСН, т. е. повышает помехозащищенность системы АСН.

Продифференцированные отрицательные импульсы мультивибратора переводят триггер I из одного устойчивого состояния в другое и с его выхода снимаются меандры управляющего напряжения « $\pm 45^\circ$ » частоты $2(L \pm 50)$ Гц, которые подаются на селекторы каналов курса и высоты блока ДС-5С, на схему формирования УН « $\pm 90^\circ$ », а после усиления в блоке

ДС-6С — на ферритовые переключатели ДНА антенного устройства.

Для разряда накопительных емкостей синхронных детекторов каналов курса и высоты в моменты переключения ДНА из УН « $\pm 45^\circ$ » формируются короткие и растянутые разрядные импульсы (рис. 2.46, г—ж). С этой целью УН « $+45^\circ$ » дифференцируется цепочкой $R53, C24$, а УН « -45° » — $R48, C21$. Отрицательный импульс, соответствующий заднему фронту УН « $+45^\circ$ » проходит через ограничительный диод 6, усиливается и подается на разрядную лампу синхронного детектора 2 канала курса, а растянутый импульс — на разрядную лампу синхронного детектора 1 канала высоты. Разрядный импульс, получаемый из заднего фронта УН « -45° », усиливается и подается на разрядную лампу синхронного детектора 2 канала высоты, а после растягивающей цепи — на разрядную лампу синхронного детектора 1 канала курса.

Для формирования управляющих напряжений « $\pm 90^\circ$ » частоты $L \pm 50$ Гц УН « $+45^\circ$ » с триггера 1 дифференцируется цепью $R39, C18$, и отрицательные импульсы через диоды $V1, V2$ поступают на триггер 2, который является одновременно делителем частоты на два (рис. 2.45, 2.46, з—к). С выхода триггера 2 снимаются два противофазных напряжения УН « $\pm 90^\circ$ », которые через катодный повторитель подаются на выход блока ДС-5С, а также на схемы формирования опорных напряжений каналов курса и высоты блока ДС-5С. В качестве опорных напряжений канала курса используются усиленные и ограниченные УН « $\pm 90^\circ$ », обеспечивающие переключение ДНА на 180° . Так как отклонение ДНА от РСН происходит в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (по курсу и высоте), то сигналы ошибки по высоте сдвинуты относительно сигналов ошибки курса на 90° . Поэтому для выработки управляющих напряжений по высоте опорные напряжения канала высоты должны быть сдвинуты относительно опорных напряжений канала курса также на 90° .

Для получения ОН высоты служит триггер 3 и селектор ОН. На селектор, запертый отрицательным смещением, подаются УН « $\pm 90^\circ$ » и продифференцированные цепочками $C25, R54$ и $C26, R57$ импульсы управляющего напряжения « $+45^\circ$ » (рис. 2.46, л—м). При совпадении положительных продифференцированных импульсов УН « $+45^\circ$ » с положительными полупериодами УН « $\pm 90^\circ$ » селектор открывается и пропускает положительные продифференцированные импульсы. Эти импульсы запускают триггер 3, который вырабатывает два про-

тивофазных напряжения, сдвинутых на 90° относительно ОН канала курса и имеющих период повторения УН « $\pm 90^\circ$ ». Эти напряжения после усиления и ограничения используются как ОН канала высоты.

Канал выделения сигнала ошибки курса состоит из схемы выделения огибающей сигнала ошибки и усилительно-преобразующей схемы.

В схеме выделения огибающей из последовательности видеоимпульсов с выхода ПРН с помощью селектора *1* выделяются только видеоимпульсы, принимаемые при отклонении ДНА по курсу, которые детектируются синхронным детектором со сбросом и селектируются от паразитных составляющих вторым селектором и синхронным детектором. В результате вырабатывается сигнал ошибки в виде переменного напряжения прямоугольной формы с амплитудой, пропорциональной отклонению цели от РСН, и фазой, определяемой стороной отклонения (т. е. выделяется огибающая эхо-сигналов).

Рассмотрим работу схемы для случая отклонения цели влево-вниз от РСН (рис. 2.47).

Амплитудно-модулированная последовательность видеоимпульсов цели с выхода ПРН поступает на вход селектора *1*. Селектор, представляющий собой схему совпадения, заперт отрицательным смещением. На селектор, кроме видеоимпульсов цели, подается селектирующее напряжение УН « $+45^\circ$ », амплитуда которого меньше напряжения смещения. Видеоимпульсы цели, совпадающие с положительными полупериодами УН « $+45^\circ$ », превышают уровень запирающего селектора и поступают на его выход (рис. 2.47, *в—д*). Это и есть те видеоимпульсы цели, которые принимаются при отклонении ДНА по курсу «влево-вправо» и несут информацию об угловом отклонении цели в разнице амплитуд этих групп импульсов. Отселектированные видеоимпульсы сигнала ошибки курса подаются на пиковый детектор с большой постоянной времени разряда. Емкость детектора заряжается до максимальной амплитуды принятой серии видеоимпульсов при одном положении ДНА и поддерживается почти неизменной до переключения ДНА в противоположное положение по курсу (рис. 2.47, *ж*).

В момент переключения ДНА растянутый разрядный импульс открывает разрядную лампу, и конденсатор детектора разряжается через нее почти до нуля. (Такой детектор называется синхронным детектором со сбросом.)

Следующая серия видеоимпульсов курса, соответствующая переключению ДНА на 180° , заряжает конденсатор синхронного детектора *1* до своего пикового значения и, таким образом, на выходе детектора появляется новое значение модулированного сигнала. Далее цикл повторяется.

Длительность растянутого разрядного импульса равна 350 мкс, что больше времени переключения ДНА, определяемого скоростью изменения токов в катушках ферритового переключателя устройства сканирования ДНА блока ДС-1СА. Это позволяет исключить заряд детектора импульсами, принятыми в момент переключения ДНА и имеющими ложную модуляцию (амплитуда их может быть больше или меньше амплитуды импульсов, характеризующих угловое отклонение цели (рис. 2.47, *а—в*)).

После окончания растянутого разрядного импульса осуществляется заряд синхронного детектора *1* первым видеоимпульсом принятой серии видеоимпульсов сигнала ошибки курса. Время поступления первого видеоимпульса может колебаться от 0 мкс после разрядного импульса до T_p , где T_p — период повторения зондирующих импульсов ПРД, так как частота сканирования ДНА и частота посылок несинхронны. В результате нулевые перепады напряжения ошибки на выходе детектора *1* могут быть различны (рис. 2.47, *ж*).

Кроме того, из-за вобуляции частоты посылок и хаотического изменения частоты сканирования ДНА количество принятых эхо-импульсов в разных сериях может меняться. Среднее значение напряжения детектора *1* за полупериод сканирования ДНА, определяемое его площадью, будет зависеть от количества и амплитуды видеоимпульсов принятой серии и времени поступления первого видеоимпульса серии. Эту зависимость необходимо исключить для уменьшения погрешности в определении угловой ошибки сопровождения, так как напряжение на выходе фазового детектора зависит от разности площадей совпадения напряжения сигнала ошибки и опорных напряжений, полученных при противоположных положениях ДНА. С этой целью применена дополнительная селекция сигнала ошибки с синхронного детектора *1* с помощью второго селектора и синхронного детектора.

Селектор *2* заперт отрицательным смещением и не открывается селектирующим напряжением « -45° », подаваемым на его вход (рис. 2.47, *з, и*). При подаче с детектора *1* напряжения сигнала ошибки передняя часть его, в которой находится нулевой перепад, совпадает с отрицательным полупериодом УН « -45° » и на выход селектора не поступает, так как их

суммарное напряжение меньше уровня запираания. Задняя (постоянная) часть напряжения сигнала ошибки, совпадающая с положительным полупериодом УН « -45° », поступает на выход селектора, так как их сумма выше уровня запираания. В результате на выходе селектора 2 появляются импульсы с длительностью, равной $1/4$ периода сканирования ДНА, амплитуды которых пропорциональны амплитудам видеоимпульсов, полученных при противоположных положениях ДНА (рис. 2.47, и, к). Эти импульсы заряжают емкость синхронного детектора 2 до своей амплитуды. Так как постоянная времени детектора велика, то после окончания импульса выходное напряжение детектора остается практически постоянным до его разряда через разрядную лампу при подаче на нее коротких разрядных импульсов. В результате напряжение сигнала ошибки на выходе синхронного детектора 2 имеет вид переменного напряжения типа «меандр» с прямоугольными импульсами разной амплитуды и периодом, равным периоду сканирования ДНА. Разность амплитуд импульсов определяет глубину модуляции, пропорциональную углу отклонения цели от РСН. Фаза напряжения сигнала ошибки определяет сторону отклонения цели от РСН (рис. 2.47, л, м).

Если цель находится на РСН, то амплитудной модуляции эхо-импульсов нет и импульсы напряжения сигнала ошибки одинаковы. Напряжение сигнала ошибки, регулируемое по амплитуде резистором 123, через катодный повторитель подается на усилительно-преобразующую схему. В этой схеме переменное напряжение сигнала ошибки усиливается и преобразуется в постоянное напряжение ошибки, пропорциональное углу и стороне отклонения цели от РСН, которое усиливается в УПТ и подается для усиления мощности в блок ДС-6С и далее на двигатель привода курса антенны.

Фазовый детектор (рис. 2.48) выполнен на четырех триодах (лампы 17, 18) и представляет собой двухтактный балансный фазочувствительный детектор с катодным выходом. Триоды каждой лампы имеют общую катодную нагрузку ($R112, R115$). Для увеличения максимального выходного напряжения фазового детектора на управляющие сетки триодов каждой лампы подается положительное напряжение $+40$ В. За счет этого появляется начальное напряжение $+40$ В на катодах ламп, благодаря чему увеличиваются возможные пределы изменения напряжения на выходе фазового детектора.

На аноды каждой лампы подаются противофазные опорные напряжения прямоугольной формы с перепадом 85 В, а на сетки — противофазные переменные напряжения сигнала ошибки (рис. 2.49, б — г). Для получения противофазных напряжений сигнала ошибки в блоке ДС-5С используются усилитель переменного тока и фазоинвертор (усилитель переменного тока с коэффициентом усиления, равным единице).

Каждый триод фазового детектора открывается только при подаче на его анод положительного полупериода ОН. При отсутствии напряжения сигнала ошибки ($U_{co}=0$) напряжения на катодных резисторах 112, 115 равны между собой (сбалансированы) и выходное напряжение фазового детектора равно начальному напряжению +40 В (рис. 2.49, д).

При наличии U_{co} на сетках триодов напряжение на катодных нагрузках изменяется. Если при этом с положительной полуволной ОН совпадает положительная полуволна U_{co} , то напряжение возрастает относительно начального пропорционально U_{co} , а если совпадает отрицательная полуволна U_{co} , то напряжение уменьшается на такую же величину (рис. 2.49, е). В результате появляется разбаланс напряжений на катодных нагрузках ламп фазового детектора, величина которого пропорциональна U_{co} , а полярность определяется его фазой. Знак полярности отсчитывается от начального напряжения +40 В, соответствующего напряжению на выходе фазового детектора при $U_{co}=0$.

ОН подаются на триоды фазового детектора таким образом, что триоды лампы 17 открываются при отклонении ДНА влево, а триоды лампы 18 — при отклонении ДНА вправо. Фаза U_{co} зависит от стороны отклонения цели и может принимать только значения 0 или 180° по отношению к ОН. Поэтому полярность разбаланса напряжений на выходе фазового детектора и определяет сторону отклонения цели от РСН. Поскольку ОН и U_{co} подаются на триоды одной лампы, имеющей общую катодную нагрузку, в противофазе, то за один период ОН открывается вначале один триод, а затем другой. При таком подключении образуется двухтактный выходной сигнал каждой лампы фазового детектора, в зависимости от фазы U_{co} пропорциональный только отрицательному или только положительному полупериодам U_{co} . В результате уменьшаются пульсации выходного напряжения и повышается точность выделения напряжения ошибки рассогласования.

Максимальное напряжение рассогласования постоянного тока, выдаваемое фазовым детектором, равно 25 В. Уменьшение пульсации выходного напряжения осуществляется RC-фильтрами. Напряжение рассогласования постоянного тока с выхода фазового детектора через корректирующую цепь (конденсаторы 46...48, резисторы 118...120 на рис. 2.47) поступает на балансный усилитель постоянного тока. Корректирующая цепь обеспечивает устойчивость работы и требуемую частотную характеристику замкнутой системы автосопровождения цели. До ком. «Захват» реле 2 схемы памяти обесточено, и цепь R120, C48 разорвана (см. рис. 2.45). Конденсатор C48 закорочен для ликвидации остаточного сигнала, так как при его наличии система автосопровождения неустойчива. По ком. «Захват» реле 2 срабатывает, расшунтирует C48 и замыкает цепь R120, C48. Усиленное в УПТ (лампа 19) напряжение рассогласования подается на усилитель мощности блока ДС-6С и далее на двигатель привода антенны. Регулировка разбаланса УПТ осуществляется резистором 125 «Баланс курса». Крутизна УПТ равна 2 мА/В. Максимальный разбаланс управляющих токов УПТ равен 6 мА. Контроль управляющих напряжений УПТ осуществляется измерительным прибором блока ДК-101С.

Канал выделения сигнала ошибки высоты. Функциональная схема выделения сигнала ошибки высоты аналогична схеме выделения сигнала ошибки канала курса и отличается лишь следующим:

- в качестве селектирующего напряжения селектора 1 используется УН « -45° », а селектора 2 — УН « $+45^\circ$ »;
- опорные напряжения фазового детектора канала высоты сдвинуты относительно опорных напряжений канала курса по фазе на 90° .

Схема памяти осуществляет задержку отключения интегрирующих конденсаторов корректирующих цепей каналов курса (C48) и высоты (C64) на время 0,35 с после пропадания эхо-сигналов цели (см. рис. 2.45). Это исключает частые отпускания и срабатывания реле схемы памяти от высокочастотных флюктуаций эхо-сигналов.

Напряжение сигнала захвата с блока ДС-8СА в виде постоянного напряжения с перепадом от +20 до +50 В детектируется и подается на УПТ, в анодной цепи которого включено реле 1. Реле 1 включает реле 2, которое подключает цепи R120, C48 и R165, C64 корректирующих цепей каналов курса и высоты на блок ДС-6С, замыкая контур автосопро-

вождения, а также выдает напряжение $+27$ В ком. «Контроль автозахвата» в блок ДС-10СА для перевода РГС в режим сопровождения цели. После пропадания эхо-сигналов сигнал «захвата» снимается, реле 1 размыкается сразу, а реле 2 размыкается через $0,35$ с — время, определяемое постоянной времени разряда фильтра $R171, C65$. Реле 2 размыкает корректирующие цепи и, следовательно, отключает управляющие токи каналов курса и высоты от двигателей антенны.

Время памяти $0,35$ с выбрано из условия, что при потере цели разбаланс по каналам курса и высоты нарастает с постоянной времени корректирующих цепей (2 с). Это приведет к уходу РСН антенны от направления на цель со скоростью, при которой за $0,35$ с максимальный угол поворота антенны будет менее $2,5^\circ$, т. е. менее полуширины ДНА. Если за это время появятся эхо-сигналы, то произойдет повторный захват цели без разрыва контура автосопровождения.

2.5.6. Блок управляющих токов ДС-6С

Блок ДС-6С обеспечивает:

— преобразование управляющих сигналов постоянного тока курса и высоты, пропорциональных сигналам ошибки, в управляющие напряжения и усиление их по мощности для управления приводами курса и высоты антенны;

— формирование управляющих токов для обеспечения сканирования ДНА в режиме приема.

В соответствии с решаемыми задачами в состав блока (рис. 2.51) входят усилители мощности каналов курса и высоты (УМ-1, УМ-2) и усилители токов « $\pm 45^\circ$ » и « $\pm 90^\circ$ » (УТ-1 и УТ-2). Усилители мощности, так же как и усилители токов, выполнены по одинаковым схемам.

Усилитель мощности курса (УМ-1) преобразует управляющие сигналы курса «УПТК-1» и «УПТК-П» с выхода канала курса блока ДС-5С в управляющие напряжения и усиливает их по мощности, регулируя направление и скорость перемещения антенны пропорционально угловой ошибке сопровождения по курсу и стороне отклонения цели от РСН.

В состав УМ-1 входят:

— схема формирования прямоугольных импульсов, (усилитель-ограничитель), преобразующая синусоидальное напряжение 115 В, 400 Гц в импульсы прямоугольной формы типа

«меандр» частоты 400 Гц, амплитудой ± 40 В с периодом 2,5 мс (рис. 2.52, а — в);

— широтно-импульсный модулятор, преобразующий управляющие токи «УПТК-I» и «УПТК-II» в импульсы, длительность которых пропорциональна величине разбаланса управляющих токов (рис. 2.52, г — ж);

— триггер, увеличивающий крутизну фронтов импульсов модулятора и коммутирующий выходные каскады (рис. 2.52, з, и);

— эмиттерные повторители, согласующие выходное сопротивление триггера с входным сопротивлением выходного каскада;

— выходной каскад, обеспечивающий усиление мощности управляющего сигнала и бесконтактное реверсирование и регулирование скорости вращения двигателя курса антенны (рис. 2.52, к — м).

Широтно-импульсный модулятор осуществляет модуляцию импульсов прямоугольной формы со схемы формирования в импульсы, длительность которых пропорциональна разбалансу Δf управляющих токов. В качестве модулятора используется быстродействующий двухтактный магнитный усилитель, выполненный на двух дросселях насыщения ДР1 и ДР2 по дифференциальной схеме (рис. 2.51). Каждый дроссель имеет по три обмотки: рабочую (1 — 2) и две управляющие (3 — 4 и 5 — 6). Рабочие обмотки включены так, чтобы индуцируемые ими в управляющих обмотках (УО) токи прямоугольной формы были направлены встречно и взаимно компенсировались, что устраняет искажение входного управляющего сигнала. Управляющие обмотки включены так, чтобы управляющие токи создавали в сердечнике дросселя магнитный поток противоположного знака, т. е. ток в обмотке 3 — 4 протекает от начала к концу, а в обмотке 5 — 6 от конца к началу. Намагничивание сердечников дросселей ДР1 и ДР2 зависит от токов, протекающих через рабочую ($I_{p.o}$) и управляющие (I_1, I_2) обмотки: $\sum I = I_{p.o} + I_1 + I_2$. При равенстве токов I_1 и I_2 в управляющих обмотках создаваемый ими суммарный магнитный поток из-за встречного включения обмоток равен нулю, и перемагничивание сердечников осуществляется только токами в рабочей обмотке.

Напряжение питания и число витков рабочих и управляющих обмоток дросселей выбраны такими, что при отсутствии разбаланса $\Delta I = I_1 - I_2 = 0$ в УО время насыщения сердечников равняется точно $1/4$ периода T .

До момента насыщения сердечников сопротивление рабочих обмоток дросселей велико, ток по обмоткам не протекает и к ним приложено напряжение ± 10 В (рис. 2.52, *г*). В моменты насыщения сердечников ($t_1 \dots t_2$) сопротивление РО становится равным омическому (мало), и по ним скачком начинает протекать ток, а напряжение падает до нуля. При этом напряжение на рабочих обмотках имеет форму импульсов положительной и отрицательной полярностей с длительностью, равной $1/4$ периода T . Временные процессы на рабочей обмотке ДР1 и ДР2 противофазны. Во время протекания тока в рабочих обмотках на резисторах 8 и 11 выделяются только импульсы отрицательной полярности, так как диоды 9 и 10 не пропускают положительные импульсы (рис. 2.51). Импульсы напряжения на нагрузках $R8$ и $R11$ сдвинуты на $1/2$ периода T (рис. 2.52, *г — ж*).

Своими передними фронтами импульсы с $R8$ переводят триггер из одного устойчивого состояния в другое, а с резистора $R11$ возвращают его в прежнее состояние. В результате напряжение на выходах триггера имеет форму прямоугольных импульсов амплитудой 40 В, длительность которых определяется взаимной задержкой отрицательных импульсов с выхода модулятора. При этом напряжения с выходов 1 и 2 триггера противофазны и имеют форму симметричного меандра. Отрицательные импульсы на выходах 1 и 2 триггера при $\Delta I = 0$ имеют одинаковую длительность, но смещены на $1/2 T$.

Отрицательные импульсы триггера через эмиттерные повторители поступают на выходной усилитель мощности, выполненный по мостовой схеме на четырех полупроводниковых триодах. Так как эмиттерные повторители и усилители не меняют временных соотношений, то напряжение на выходной диагонали мостовой схемы имеет тот же вид, что и выходное напряжение триггера (рис. 2.52, *з — л*). В диагональ моста включена обмотка якоря двигателя курса постоянного тока.

Отрицательные импульсы с выхода 1 триггера на базы триодов 9 и 12 открывают их на время своего действия. При этом напряжение $+27$ В через эмиттер-коллектор Т12 и ДР3 подается на якорь двигателя, а -27 В на него поступает через эмиттер-коллектор Т9 (рис. 2.51). При такой полярности двигатель будет перемещать рефлектор вправо.

После окончания отрицательного импульса с выхода 7 триггера Т9 и Т12 закрываются, отключая питание двигателя. В этот момент на базы триодов Т10 и Т11 подается от-

рицательный импульс с выхода 2 триггера и открывает их. При этом полярность напряжения на двигателе меняется без разрыва цепи нагрузки: -27 В подается через эмиттер-коллектор Т10 и дроссель, а $+27$ В — через эмиттер-коллектор Т11. При такой полярности двигатель будет перемещать антенну влево.

Таким образом, на двигатель поочередно подается напряжение положительной и отрицательной полярностей. Так как при отсутствии разбаланса управляющих напряжений время воздействия этих напряжений за каждый период T одинаково ($2,5$ мкс), то средний ток через двигатель равен нулю и двигатель вращаться не будет. Постоянная времени двигателя, равная $0,05 \dots 0,3$ с, гораздо больше периода воздействия импульсов тока ($2,5$ мс), поэтому при $I_{\text{ср}}=0$ пульсации тока в якоре будут малы, что предотвращает колебания антенны и обеспечивает ее устойчивость.

При наличии разбаланса управляющих токов ($\Delta I = I_1 - I_2 \neq 0$) суммарный магнитный поток в сердечниках дросселей будет изменяться в зависимости от величины и полярности разбаланса (знака ΔI). Действительно, магнитные потоки, создаваемые управляющими обмотками в дросселях ДР1 и ДР2, всегда противоположны по знаку, так как обмотки включены встречно. В то же время рабочие обмотки также создают в дросселях ДР1 и ДР2 противоположные магнитные потоки, направление которых меняется через $1/2 T$ за счет противофазных напряжений рабочих обмоток. Взаимодействие магнитных потоков, создаваемых рабочими и управляющими обмотками, в один полупериод (одновременно) увеличивает суммарный магнитный поток дросселей ДР1 и ДР2, а в другой полупериод — уменьшает его. В какой полупериод происходит суммирование, а в какой вычитание, зависит от полярности разбаланса (т. е. от стороны отклонения цели от РСН). При увеличении магнитного потока время насыщения сердечников ускоряется и становится равным менее $1/4 T$. При уменьшении магнитного потока время насыщения замедляется и становится равным более $1/4 T$. В результате напряжение в рабочих обмотках будет промодулировано по длительности и, в отличие от случая, когда $\Delta I = 0$, длительность положительных импульсов за один период T не равна длительности отрицательных импульсов (см. рис. 2.52, г).

Через ограничительные диоды отрицательные импульсы выделяются на нагрузках $R8$ и $R11$. Поскольку временные

процессы в рабочих обмотках дросселей ДР1 и ДР2 противофазны, то при $\Delta I \neq 0$ длительности импульсов на нагрузках неодинаковы. Это приводит к тому, что напряжения на выходах 1 и 2 триггера имеют форму несимметричного меандра и противофазны (рис. 2.51).

Длительности отрицательных импульсов с выходов 1 и 2 триггера неодинаковы, и в их разности заключена информация о величине разбаланса управляющих напряжений ΔJ . В зависимости от полярности разбаланса (т. е. от стороны отклонения цели от РСН) большая длительность импульсов будет на выходе 1 или 2 триггера. В соответствии с этим среднее значение напряжения усилителя мощности выходного каскада (УНДК-1 и УНДК-11 на рис. 2.52, к, л), приложенное к двигателю антенны, будет пропорционально величине разбаланса управляющих токов ΔI , а полярность его будет зависеть от знака разбаланса, т. е. от стороны отклонения цели от РСН. Таким образом, скорость вращения антенны пропорциональна величине разбаланса управляющих токов (углу отклонения цели от РСН), а направление вращения антенны определяется стороной отклонения цели от РСН. Из амплитудной характеристики усилителя мощности (рис. 2.51, а) видно, что при некотором увеличении разбаланса ΔJ выходное напряжение скачком возрастает до максимального значения ± 26 В, при котором скорость вращения двигателя будет максимальной.

Устойчивая работа двигателя антенны без колебаний за счет пульсации среднего тока в якоре двигателя достигается благодаря большой постоянной времени нагруженного на антенну двигателя (0,05...0,3 с), а также за счет дросселя в цепи питания двигателя. В процессе работы сердечник дросселя перемагничивается от максимальной индукции одного знака до индукции насыщения другого знака. Во время перемагничивания дросселя ток через двигатель незначителен. После насыщения дросселя напряжение на нем резко уменьшается, и все напряжение на двигателе падает.

Работа триодов Т9 — Т12 усилителя мощности в режиме переключения, а также обеспечение безразрывной коммутации тока якоря двигателя при изменении полярности тока в якоре приводят к перенапряжениям в триодах в момент их запираания. Для предохранения триодов от выхода из строя в момент переключения они шунтируются диодами V11...V14. Как только ЭДС самоиндукции в двигателе превысит вели-

чину источника питания ± 27 В, соответствующие диоды отпираются и напряжение на триодах ограничивается.

Питание полупроводниковых триодов каналов курса и высоты блока ДС-6С осуществляется напряжением ± 27 В от бортовой сети и напряжениями ± 15 В от автономных выпрямителей блока. Выпрямители $+15$ В зарезервированы и включены параллельно.

Для исключения выхода из строя триодов Т9...Т12 выходного каскада при отсутствии запирающего напряжения $+15$ В на их базах питание $+27$ В подается только после включения реле 1 напряжением $+15$ В (рис. 2.51).

Усилители токов УТ-1 и УТ-2 служат для усиления и преобразования управляющих напряжений « $\pm 45^\circ$ » и « $\pm 90^\circ$ » в управляющие токи катушек ферритовых переключателей блока ДС-1СА для переключения ДНА по закону: вниз-влево-вверх-вправо».

Усилители УТ-1 и УТ-2 выполнены по схемам, приведенным на рис. 2.51, а.

В состав УТ-1 входит схема усиления УН « $\pm 45^\circ$ », выход которой подключен к началу одной половины катушки ферритового переключателя « $\pm 45^\circ$ », и схема усиления УН « -45° », выход которой подключен к концу второй половины катушки. Средняя точка катушки заземлена.

Каждая схема представляет собой пятикаскадный усилитель на полупроводниковых триодах. Питание усилителя осуществляется с автономного выпрямителя напряжениями, равными $+2,5$ В; $+3,5$ В; $+10$ В.

До подачи на вход усилителя управляющих напряжений и при положительном меандре УН выходной каскад усилителя закрыт и тока в соответствующей половине катушки ферритового переключателя нет (рис. 2.51, б).

При подаче отрицательного меандра УН четыре каскада усилителя закрываются, а выходной каскад открывается и через половину катушки ферритового переключателя протекает импульс тока амплитудой до 2А (см. рис. 2.51, б).

Аналогично работает и вторая цепь усиления противофазного УН с той разницей, что фаза тока через вторую половину катушки ферритового переключателя сдвинута на 180° .

В результате поочередной (через полупериод) отработки каждой цепью УТ в катушках ферритового переключателя протекает ток вначале в одном направлении, а затем — в противоположном, обеспечивая переключение ДНА. Регулировка тока в катушках переключателя, а следовательно величина

на магнитного потока и угол разворота плоскости поляризации электромагнитной энергии, обеспечивается резисторами 7, 8, 16 блока ДС-1СА (рис. 2.35).

Время переключения тока в катушках переключателя с учетом их индуктивности составляет по переднему фронту не более 200 мкс, а по заднему фронту — 50 мкс. Таким образом, время переключения ДНА из одного положения в другое составляет примерно 250 мкс.

2.5.7. Синхронизатор (блок ДС-7СА)

Блок ДС-7СА (рис. 2.44) обеспечивает синхронизацию импульсных устройств РГС и выработку строга предварительной селекции для ограничения зоны поиска и захвата цели по дальности.

В состав блока входят следующие схемы: формирования импульсов синхронизации, запуска ШАРУ и запуска РЧД; импульсов запуска ПРД; бланк-импульсов, а также схема селекции цели по дальности.

Схема формирования импульсов синхронизации, импульсов ШАРУ и импульсов запуска схемы РЧД. Задающим генератором синхронизатора является симметричный самовозбуждающийся мультивибратор, вырабатывающий колебания прямоугольной формы с частотой следования Φ (рис. 2.12). Период колебаний мультивибратора промодулирован напряжением 6 В, 400 Гц на величину от ± 10 до ± 20 мкс относительно среднего значения. Это приводит к вобуляции частоты следования импульсов синхронизации и повышает помехоустойчивость РГС.

Положительные импульсы задающего мультивибратора через запускающий каскад, представляющий собой усилитель, передним фронтом запускают блокинг-генератор синхроимпульсов. В свою очередь положительные импульсы блокинг-генератора длительностью 2,8 мкс с выхода катодного повторителя (КП) подаются на запуск схемы селекции цели по дальности и на импульсные разъемы $\Phi 13$ и $\Phi 2$ для запуска блоков ЕК-102 и ДС-8СА. После задержки на 3 мкс импульсы подаются через разъем $\Phi 3$ на запуск схемы РЧД. Стробы ШАРУ отрицательной полярности снимаются с усилителя на разъем $\Phi 4$. Временные диаграммы импульсов приведены на рис. 2.12.

Схемы формирования импульсов запуска передатчика (ИЗП) и бланкирующих импульсов. Импульсы синхрониза-

ции запускают фантастронный генератор импульсов длительностью 12 мкс, которые используются для задержки ИЗП на 12 мкс относительно импульсов синхронизации. Эти импульсы дифференцируются цепочкой $C15$, $R26$. Положительные импульсы шунтируются диодом 2 на корпус, а отрицательные продифференцированные импульсы, соответствующие заднему фронту импульсов генератора, усиливаются, дифференцируются $R28$, $C16$ и положительным фронтом через запускающий каскад (усилитель) возбуждают блокинг-генератор ИЗП (рис. 2.12, в).

Для обеспечения режима «Контроль» реле 2 подключает к генератору задержки конденсаторы 10, 12. При этом длительность его импульсов увеличивается с 12 до 65 мкс. ИЗП в этом случае задерживаются относительно синхронизирующих на 65 мкс.

Положительные ИЗП с выхода КП подаются на схему формирования бланк-импульсов, а через разъем Ф1 — в блок ДС-2С.

Усиленные ИЗП запускают блокинг-генератор бланк-импульсов, а задержанные на 1,6 мкс ИЗП срывают его генерацию через каскад срыва (усилитель). При такой работе схемы, бланкирующие импульсы, всегда строго «привязаны» к ИЗП (рис. 2.12, г). Положительные бланк-импульсы через разъем Ф8 подаются в блок ДС-3С, запирая ПУПЧ для предотвращения «пролезания» зондирующего импульса ПРД в приемный тракт. Для отключения бланк-импульсов в режиме «Контроль» реле 3 шунтирует их на корпус.

Схема селекции цели по дальности вырабатывает строб предварительной селекции (СПС), в пределах которого осуществляется первоначальный поиск цели по дальности. Задержка центра СПС относительно синхроимпульса определяется величиной напряжения установки зоны поиска с потенциометра следящей системы d_c блока ДС-10СА. Длительность СПС равна 17 мкс, а по ком. «Антенна влево 5° » увеличивается до 40 мкс. По ком. «Антенна влево 10° » СПС отключается.

Ждущий фантастронный генератор схемы селекции на каждый синхроимпульс вырабатывает линейно-падающее напряжение длительностью 195 мкс (рис. 2.44, а, временная диаграмма 2). Крутизна этого напряжения регулируется потенциометрами «Уст. макс. задержки» и «Уст. миним. задержки». пилообразное напряжение подается на катод диода сравнителя, а на его анод подается напряжение установки зоны по-

иска с блока ДС-10СА. В момент равенства этих напряжений диод сравнителя открывается и на его выходе появляется та часть линейно-падающего напряжения, которая меньше напряжения установки зоны поиска (рис. 2.44, а, диаграмма 4). Эта часть линейно-падающего напряжения дифференцируется для повышения точности выделения момента начала импульса (рис. 2.44, а, диаграмма 5), усиливается (рис. 2.44, а, диаграмма 6), дифференцируется и передним фронтом положительной полярности запускает фантастронный генератор СПС. Генератор вырабатывает отрицательные импульсы длительностью 17 мкс, которые подаются на временной селектор (рис. 2.44, а, диаграмма 8). На временной селектор, представляющий собой схему совпадения, подаются также поисковые стробы АСД, перемещающиеся с максимальной задержки в сторону минимальной. До момента совпадения задержек строба АСД и СПС с выхода временного селектора снимаются импульсы СПС и стробы АСД положительной полярности, амплитуды которых одинаковы и ниже уровня запирающего выходных усилителей.

Во время совпадения импульсов СПС и АСД на выходе селектора появляется суммарный импульс положительной полярности (рис. 2.44, а, диаграмма 10), амплитуда которого превышает уровень запирающего усилителей. Усилители открываются и пропускают отрицательные импульсы «Строба ВЧ» и «Строба УПЧ» длительностью 8 мкс на блоки ДС-3С ДС-4С соответственно для открытия ПРН (разъемы 7 и 5).

По ком. «Антенна влево 5°» срабатывают реле 4 и 6. Реле 6 в схему фантастронного генератора СПС подключает дополнительное сопротивление R_{110} , увеличивая длительность СПС с 17 до 40 мкс. Реле 4 подключает параллельно резистору 72 резистор 113, уменьшая сопротивление в цепи генератора задержки, что уменьшает крутизну линейно-падающего напряжения, обеспечивая симметричное расширение СПС относительно его центра.

По ком. «Антенна влево 10° (15°)» срабатывает реле 1 и самоблокируется напряжением +27 В ком. 4. При этом временной селектор запирается напряжением -150 В, строб СПС отключается, а поисковые стробы АСД подаются на выход блока во всем диапазоне поиска.

Отключение строба СПС происходит также по команде «Захват» с блока ДС-8СА на реле 5.

2.5.8. Автоселектор дальности (блок ДС-8СА)

Блок ДС-8СА обеспечивает поиск, захват и автосопровождение цели по дальности, выдачу ком. «Захват» и СК, а также запрещение сопровождения синхронной импульсной помехи, уводящей строб сопровождения в сторону больших задержек.

В состав блока входят: следящая система, автомат захвата и схема запрещения сопровождения уводящих помех.

Структурная схема и принцип работы автоселектора дальности подробно рассмотрены в п. 2.4.5.

Функциональная схема блока ДС-8СА представлена на рис. 2.54.

Блок работает в режимах поиска, захвата и автосопровождения цели.

Режим поиска цели. При отсутствии импульсов эхо-сигнала на входе блока напряжение на выходе временного дискриминатора равно нулю, так как его выход зашунтирован через контакты реле 3 малым выходным сопротивлением катодного повторителя (КП) автомата захвата. По этой же цепи через КП временного дискриминатора на вход управляющего каскада подается напряжение +50 В, обеспечивая его работу в режиме транзитронного генератора пилообразного напряжения. Величина этого напряжения определяет период изменения пилообразного напряжения и устанавливается потенциометром *R93* «Установка периода поиска» автомата захвата.

Пилообразное напряжение с выхода генератора (рис. 2.32, б) с периодом 0,25 с, ограниченное по максимуму потенциометром *R50*, а по минимуму — ограничительным диодом, подается на генератор переменной задержки временного модулятора.

На каждый синхроимпульс фантастронный генератор переменной задержки вырабатывает положительный импульс, длительность которого изменяется от 162 до 7 мкс при изменении пилообразного напряжения от максимальной величины до минимальной. Крутизна изменения пилообразного напряжения регулируется потенциометром *R93* «Установка периода поиска» автомата захвата и выбрана такой, что после каждого синхроимпульса длительность импульса генератора задержки уменьшается на 0,3 мкс (45 м), обеспечивая скорость поиска цели 650 мкс/с. Этот импульс дифференцируется, отрицательный задний фронт его усиливается и через

запускающий каскад (усилитель) возбуждает блокинг-генератор полустроба.

Блокинг-генератор вырабатывает положительный импульс полустроба длительностью 0,8 мкс, задержка которого скачкообразно уменьшается на 0,3 мкс относительно синхроимпульсов, перемещаясь в сторону меньших задержек (рис. 2.32, д).

Импульсы полустроба через запускающий каскад возбуждают блокинг-генератор строба, который вырабатывает положительные импульсы длительностью 8 мкс. После усиления отрицательные импульсы строба поступают на выход блока. Одновременно полустроб с отводов линии задержки на 0,6 и 1,4 мкс поступает на I и II селекторы временного дискриминатора. Расположение полустробов при этом таково, что задний фронт первого полустроба совпадает с передним фронтом второго полустроба на уровне 0,5. Полустробы жестко связаны со стробом (рис. 2.31).

Режим захвата и автосопровождения цели. Обнаружение цели и перевод автоселектора из режима поиска в режим автосопровождения осуществляет автомат захвата.

В процессе перемещения поискового строба его задержка становится равной задержке эхо-сигналов. С выхода ПРН на запускающий каскад автомата захвата и селекторы временного дискриминатора начинают поступать видеоимпульсы цели (с разъема Ф10). Так как разностный детектор дискриминатора зашунтирован малым сопротивлением катодного повторителя, то напряжение на его выходе равно нулю даже при совпадении видеоимпульсов цели с полустробами.

Запускающий каскад (усилитель) заперт отрицательным смещением с делителя на резисторах 117, 118, 120, определяющим пороговый уровень импульсов цели, поступающих на вход автомата захвата (порог обнаружения).

Кроме того, запускающий каскад запирается отрицательными импульсами мультивибратора схемы формирования зоны запрета на 36 мкс после синхроимпульсов (24 мкс относительно ИЗП). Поскольку импульсы цели в это время поступать на автомат захвата не могут, то происходит ограничение нижней границы диапазона захвата (3,6 км).

Примечание. По ком. t_v реле 22 уменьшает длительность импульсов мультивибратора с 36 до 22 мкс, уменьшая нижнюю границу диапазона захвата до 10 мкс относительно ИЗП (1,5 км).

Таким образом, с выхода запускающего каскада появляются только те видеоимпульсы цели, амплитуда которых пре-

вышает порог обнаружения (30...40) В, а время задержки относительно ИЗП более 24 мкс (10 мкс после ком. t_v).

Отрицательными импульсами запускающего каскада возбуждается блокинг-генератор нормированных импульсов. На каждый видеоимпульс цели, амплитуда и длительность которых может быть различной, генератор вырабатывает импульсы постоянной амплитуды и длительности, что необходимо для надежной работы счетчика импульсов.

Счетчик импульсов преобразует последовательность нормированных импульсов цели в перепад напряжения от -50 (при отсутствии цели) до $+50$ В (при наличии не менее пяти импульсов подряд с частотой следования зондирующих импульсов F). Этот перепад напряжения и называется «сигналом захвата», после которого вырабатываются ком. «Захват» и СК.

Нормированным импульсом заряжается конденсатор 44 накопителя. После окончания импульса он разряжается и отрицательным потенциалом запирает лампу накопителя. Анодное напряжение лампы возрастает медленно из-за наличия емкости конденсатора 43. Постоянная времени разряда конденсаторов 44, 43 выбрана такой, что за период повторения импульсов они не успевают разрядиться, и их потенциал растет от импульса к импульсу. В результате напряжение на выходе накопителя возрастает. При пяти импульсах подряд оно достигает $+50$ В и в дальнейшем фиксируется на этом уровне.

Возрастание напряжения накопителя приводит к изменению (перепаду) напряжения на выходе КП накопителя с -50 до $+50$ В, что и является сигналом захвата (вернее сигналом обнаружения). При наличии $+50$ В сигнала захвата происходит следующее.

1. В блоке ДС-5С включаются реле схемы памяти и выдают ком. «Автозахват» (КАЗ). При этом от двигателя курса отключается $+27$ В ком. «Поиск», и двигатели курса и высоты антенны подключаются к каналам выделения сигнала ошибки курса и высоты блоков ДС-5С и ДС-6С. РГС переходит из режима поиска в режим сопровождения цели по угловым координатам.

2. В счетчике импульсов автомата захвата открывается разделительный диод. Одновременно заряжается конденсатор 42 схемы памяти, сохраняющий напряжение $+50$ В в те моменты, когда на входе автомата захвата амплитуда видеоимпульсов цели становится меньше порога обнаружения из-за

большой модуляции эхо-импульсов при значительном отклонении цели от РСН.

3. Открывается УПТ автомата захвата:

— отрицательное напряжение с выхода УПТ ($R93$) через выходной КП автомата захвата подается на управляющий каскад (отключается $+50$ В), подготавливая его к срыву генерации и переводу в режим усилителя-интегратора, при этом скорость перемещения строба и полустробов уменьшается;

— отрицательным напряжением УПТ, значение которого фиксируется на определенном уровне, запирается лампа релейного каскада ком. «Захват». Реле 14 отпускает и выдает $+27$ В ком. «Захват» на реле 2, 3, 4 следящей системы, на реле 12, 13, 21 автомата захвата и на выход блока. (Обмотки указанных реле на схеме не показаны, а показаны только их контакты.)

По ком. «Захват» в блоке ДС-8С создаются условия для взятия цели на автосопровождение по дальности. При этом происходят следующие коммутации:

1) в автомате захвата:

— реле 13 уменьшает порог открывания запускающего каскада отключением резистора 117, повышая таким образом надежность сопровождения при флуктуациях сигналов цели;

— реле 21 отключает импульс мультивибратора нижней границы захвата цели от запускающего каскада и подключает вместо него отрицательный бланкирующий импульс с фазоинвертора. Бланк-импульс запирает запускающий каскад, исключая захват «пролезающего» зондирующего импульса ПРД;

— реле 12 подключает к конденсатору 42 дополнительный конденсатор 41, увеличивая тем самым время памяти сигнала и ком. «Захват». Для исключения броска напряжения сигнала захвата конденсатор 41 предварительно заряжен до $+50$ В. Постоянная времени разряда конденсаторов 41, 42 равна 1,7 с и регулируется резистором 100. При пропадании эхо-импульсов в течение этого времени УПТ остается открытым, и продолжает выдаваться ком. «Захват», хотя сигнал захвата будет отсутствовать. Режим сопровождения цели по дальности при этом не нарушается;

2) в следящей системе:

— реле 4 подключает на вход управляющего каскада резистор 43, увеличивая постоянную времени усилителя-интегратора. (Усилитель-интегратор является вторым интегратором следящей системы.)

Благодаря этим коммутациям скорость перемещения стро- ба и полустробов скачком уменьшается до 2 мкс/с и обеспечивается необходимая скоростная «память» следящей системы;

— реле 3 отключает выход КП автомата захвата от раз- ностного детектора, расшунтируя временной дискриминатор. Напряжение ошибки рассогласования с выхода временного дискриминатора подается на управляющий каскад.

Для нормального сопровождения необходимо, чтобы эхо- импульс совпадал с обоими полустробами. Однако за счет большой скорости поиска остановка стро- ба поиска может произойти тогда, когда полустробы «проскочат» эхо-импульс и не будут совпадать с ним. Для обеспечения условий захва- та эхо-сигнала после отключения напряжения с выхода КП автомата захвата контактами реле 3 на вход управляю- щего каскада подается отрицательное напряжение «обрат- ного хода» через контакты реле 7. При этом напряжение на выходе управляющего каскада возрастает, увеличивая за- держку стро- ба и полустробов (перемещая их назад) до за- хватывания эхо-сигнала полустробами. Одновременно конденса- тор 23 первого интегратора, подключенный к выходу времен- ного дискриминатора, заряжается до напряжения обратного хода для обеспечения условий перевода следящей системы в режим сопровождения. Время перевода следящей системы из режима поиска в режим сопровождения после ком. «Захват» — менее 0,8 с.

Через 0,8 с после ком. «Захват» отрицательное напряже- ние УПТ автомата захвата отключает релейный каскад ком. СК. Время задержки 0,8 с обеспечивается инерционным звеном $R95, C40$. Реле 11 отпускает и выдает +27 В ком. СК на реле 15, 20 автомата захвата, реле 1, 7, 9 следящей си- стемы запрещения и на выход блока для перевода КР в ре- жим самонаведения.

По ком. СК происходят следующие коммутации:

1) в автомате захвата:

— реле 15 блокирует вход релейного каскада ком. «За- хват» отрицательным напряжением. Поэтому при пропада- нии эхо-импульсов через 1,7 с откроется вначале лампа ре- лейного каскада ком. СК и реле 11 снимет команду СК, раз- блокируя одновременно и релейный каскад ком. «Захват». Таким образом, обе команды снимаются одновременно;

— реле 20 закорачивает резистор 95, исключая его влия- ние на время памяти ком. «Захват» и СК;

2) в следящей системе:

— реле 1 подключает к блокинг-генератору строба резистор 27, что уменьшает длительность строба с 8 до 2,5 мкс, улучшая чувствительность следящей системы и повышая помехоустойчивость РГС. Длительность строба 2,5 мкс устанавливается резистором 27;

— реле 7 отключает напряжение обратного хода от входа управляющего каскада;

— реле 9 подключает емкость «памяти» по скорости $C20$ к выходу разностного детектора. Конденсатор 20 предварительно заряжен до положительного напряжения, примерно равного напряжению на выходе разностного детектора, что исключает бросок напряжения на входе УПТ в момент подключения $C20$. Постоянная времени разряда конденсаторов 20, 23 велика, благодаря чему при падении напряжения на выходе временного дискриминатора из-за пропадания эхосигналов емкость «памяти» удерживает накопленный заряд значительное время. Поэтому, несмотря на отсутствие эхосигналов, напряжение на выходе управляющего каскада будет меняться по прежнему закону, и строб будет перемещаться с «запомненной» скоростью. При появлении эхосигналов их временная задержка будет равна задержке полустробо-в, и срыва захвата не произойдет.

Схема запрещения сопровождения помехи устанавливает факт наличия импульсных уводящих помех по уменьшению «напряжения скорости» с выхода временного дискриминатора. (Принцип действия уводящих помех и принцип работы схемы запрещения подробно изложен в п. 2.4.5.)

Для исключения зависимости напряжения скорости от дальности до цели оно корректируется «напряжением дальности» с выхода управляющего каскада. «Откорректированное» на делителе $R132$, $R133$ «напряжение скорости» через катодный повторитель поступает на пороговый усилитель. В случае сопровождения эхосигнала с КП выдается напряжение +2 В. При наличии уводящих помех это напряжение уменьшается до -4 В, что соответствует уменьшению скорости сопровождения от 2 до 0 мкс/с. Порог запирающего усилителя равен -2,5 В.

До команды СК вход порогового усилителя заблокирован положительным напряжением через контакты реле 17, и усилитель открыт. По команде СК реле 17 отключает напряжение блокировки.

При сопровождении эхо-сигнала на вход усилителя поступает напряжение скорости $+2$ В, усилитель открывается и запирает УПТ. Положительное напряжение УПТ открывает лампу релейного каскада ком. «Отскок», срабатывает реле 18 и отключает $+100$ В от запускающего каскада. При снятии этого напряжения запускающий каскад закрыт и удерживает мультивибратор в таком положении, при котором реле 19 включено и разрывает цепь выдачи ком. «Отскок».

При сопровождении помехи напряжение скорости падает и, когда достигает $-2,5$ В, запирает усилитель. Напряжение с выхода усилителя возрастает и отпирает УПТ. Отрицательный перепад напряжения УПТ запирает релейный каскад ком. «Отскок». Реле 18 обесточивается и подключает $+100$ В с делителя на запускающий каскад, который переводит мультивибратор в другое устойчивое состояние. Реле 19 отпускает и выдает $+27$ В ком. «Отскок» на реле 5, 6, 8, 10 следящей системы. Кроме того, с выхода мультивибратора перепад напряжения блокирует ком. «Отскок», открывая лампу релейного каскада. Длительность импульса мультивибратора равна 1,8 с. В течение этого времени и выдается ком. «Отскок».

По ком. «Отскок» реле 5 и 6 следящей системы подключают параллельно основному конденсатору 21 управляющего каскада дополнительный конденсатор 22, предварительно заряженный отрицательным напряжением. Заряд конденсатора 21 скачком изменяется, что приводит к скачкообразному уменьшению напряжения на выходе управляющего каскада и, следовательно, к скачку строба и полустробов на 8... 10 мкс в сторону меньших задержек. Происходит «отскок» строба от сопровождаемой помехи.

Одновременно реле 10 отключает от входа управляющего каскада конденсатор C_{20} , уменьшая время «памяти», а реле 8 подключает напряжение «обратного хода». Под действием этого напряжения возрастает напряжение на выходе управляющего каскада, и строб перемещается в сторону больших задержек до захвата эхо-импульса от цели.

Через 1,8 с ком. «Отскок» отключается, и следящая система возвращается в первоначальное положение, продолжая автосопровождение цели.

По ком. t_v реле 16 подключает положительное напряжение блокировки на вход порогового усилителя и отключает таким образом схему запрещения.

2.5.9. Блок питания ДС-9С

Блок ДС-9С обеспечивает питание выпрямленными напряжениями анодных, экранированных и сеточных цепей блоков РГС ДСМ-А. В состав блока (рис. 2.53) входят выпрямители стабилизированных напряжений «+300 В», «+200 В», «+130 В», «-150 В», «-300 В», «-600 В».

Питание выпрямителей «+300 В», «+200 В» и «+130 В» осуществляется анодным трансформатором ТР1, а выпрямителей «-150 В», «-300 В» и «-600 В» — анодным трансформатором ТР3. Питание накалов всех ламп блока ДС-9С осуществляется накальным трансформатором ТР2.

Первичная обмотка ТР3 выпрямителей отрицательных напряжений включена непосредственно в сеть 115 В, 400 Гц.

Для повышения надежности работы вакуумных и полупроводниковых приборов питание на ТР1 выпрямителей положительных напряжений подается через контакты реле 1 при наличии отрицательных напряжений. Включение реле 1 осуществляет реле 2, которое срабатывает при наличии напряжения -600 В. Момент срабатывания реле определяется временем разогрева накала ламп блока и появлением выходного напряжения -600 В.

На лицевую панель блока выведены регулировочные потенциометры напряжений выпрямителей и контрольные гнезда.

2.5.10. Распределительное устройство (блок ДС-10СА)

Блок ДС-10СА обеспечивает:

— электрическую связь между блоками РГС и ее связь с бортовыми спецоборудованием и аппаратурой контроля;

— дистанционную установку строга предварительной селекции блока ДС-7СА и перемещение его с программной скоростью 2 мкс/с в сторону меньшей дальности.

В состав блока (рис. 2.50) входит схема коммутации (реле 1...18) и электромеханическое программное устройство ЭМПУ-1.

Электромеханическое программное устройство (ЭМПУ-1) обеспечивает:

— автоматическое отслеживание заданной в ПУС величины d_r при предстартовой подготовке КР с помощью исполнительной части следящей системы d_c (двигатель М2, потенциометр-приемник R2);

— выдачу в блок ДС-7СА напряжения установки зоны поиска по дальности в пределах от $+25$ до $+96$ В, что соответствует диапазону установки СПС от 19,6 до 3,5 км (потенциометр $1R2$, делители $R1 \dots R5$);

— программное перемещение СПС в сторону уменьшения дальности со скоростью 2 мкс/с с помощью двигателя $M1$ по команде 4.

Остановка двигателей $M1$, $M2$ на концах диапазонов осуществляется микровыключателями $V1 \dots V3$.

Потенциометрическая следящая система (СС) дальности УСН работает следующим образом.

Чувствительным элементом СС является поляризованное реле в аппаратуре контроля, которое включено в диагональ моста, образованного плечами потенциометра, задающего в ПУС величину d_r , и потенциометром-приемником в ЭМПУ-1. Питание потенциометров для повышения чувствительности СС осуществляется напряжением ± 60 В.

При наличии разбаланса между плечами потенциометров в диагонали моста протекает ток, и якорь поляризованного реле в зависимости от стороны разбаланса включает силовое реле 1 или 2 аппаратуры контроля. Сработавшее реле подает на двигатель $+27$ В установки строга дальше (или ближе), а -27 В подается на двигатель через контакты обесточенного силового реле.

Двигатель, вращаясь, перемещает движок потенциометра-приемника, сводя рассогласование к нулю. Когда следящая система отработает установленную величину d_r , напряжение рассогласования в диагонали моста будет равно нулю, поляризованное и силовое реле отпустят, и двигатель остановится. С движка потенциометра $1R2$ на блок ДС-7СА выдается требуемое напряжение зоны поиска для установки СПС на заданную дальность.

Если выходной вал двигателя развернется на предельный угол (3 или 327°), то микровыключатель (2 или 3) разорвет цепь $+27$ В питания двигателя и через $V1$ или $V2$ накоротко замкнет якорь электродвигателя для его ускоренного электродинамического торможения. Микровыключатели шунтированы диодами 3 и 4. Поэтому несмотря на то, что микровыключатель разорвал цепь питания двигателя, напряжение противоположной полярности на него будет подаваться, так как -27 В оказывается приложенным к катоду шунтирующего диода. Благодаря этому обеспечивается реверс двигателя и

отключенный микровыключатель возвращается в первоначальное положение.

Для движения СПС с программной скоростью по ком. 4 реле 1 подключает +27 В через регулятор скорости на двигатель М1. Двигатель через редуктор смещает движок потенциометра 1R2. Скорость изменения напряжения установки зоны поиска равна 1,45 В/с, что обеспечивает перемещение СПС со скоростью 2 мкс/с.

Уменьшение задержки СПС с программной скоростью полета КР обеспечивает обзор водной поверхности только в заданном районе моря, что повышает вероятность захвата назначенной цели.

Схема коммутации. При предстартовой подготовке КР по ком. «Включение высокого» с АПК срабатывает реле 12, которое выдает +27 В в блок ДС-2С для включения питания высоковольтного выпрямителя.

После включения бортовой ампульной батареи (непосредственно перед стартом) по сигналу «Батарея включена» срабатывает реле 13, которое подает +27 В блокировки реле 12 включения «высокого».

После окончания времени автономного полета по ком. 4 срабатывает реле 14, подключая +27 В ком. 4 на блок ДС-1СА для перевода антенны в режим поиска по курсу, на блок ДС-7СА — для блокировки, на реле 1 ЭМПУ-1 — для включения движения СПС, на АПК — для контроля.

По сигналу «Захват» в блоке ДС-5С срабатывают реле схемы памяти и выдают в блок ДС-10СА +27 В ком. «Автозахват» на реле 5, 10, 11. При этом происходят следующие коммутации:

— реле 5 отключает реле 1 и 4, которые замыкают цепи выдачи «УНДК-П» и «УНДВ-1» из блока ДС-6С на двигатели приводов курса и высоты, и антенна начинает отслеживать положение цели;

— реле 11 замыкает цепь выдачи управляющих напряжений высоты УНВ-11 в автопилот;

— реле 10 разрывает цепь выдачи ком. ЦП и подготавливает цепь выдачи ком. СК в автопилот.

Ком. СК (+27 В) из блока ДС-8СА включает реле 16, которое подключает +27 В через контакты реле 10 на автопилот в виде ком. СК. Одновременно реле 16 подает +27 В на обмотки реле 2 и 3. После разворота КР на цель по сигналу «Антенна по оси курса» (—27 В) со средних контактов блока ДС-1СА срабатывает реле 2, которое выдает на авто-

пилот —27 В ком. РГУК и СВ. Начинается разворот КР на цель по углу места.

По сигналу —27 В «Антенна по оси высоты» с блока ДС-1СА срабатывает реле 3, которое выдает на автопилот —27 В ком. РГУВ.

Подготовку РГС ДСМ-А к автоконтролю осуществляют реле 6, 7, 8 блока ДС-10СА при подаче ком. «Контроль влево-вниз». При этом происходят следующие коммутации:

— реле 6 выдает на реле 16 блока ДС-8СА +27 В ком. «Вкл. сопров. помехи» для отключения схемы запрещения сопровождения помехи;

— подключает на блок ДС-4С по цепи УН « $\pm 90^\circ$ » через контакты реле 9 либо «Упр. напр. -90° » (через R9, C2 при контроле вправо-вверх), либо «Упр. напр. $+90^\circ$ » (через R8, C1 при контроле влево-вниз);

— реле 7 выдает на реле 2 и 3 блока ДС-7СА +27 В для переключения задержки ИЗП с 12 на 65 мкс и отключения бланк-импульса;

— выдает в автопилот —27 В ком. СВ для подключения УНВ (имитация ком. СВ);

— реле 8 подключает к управляющей сетке катодного повторителя блока ДС-4С отрицательное напряжение смещения (-50 В) с делителя R6, R7;

— реле 9 срабатывает по ком. «Контроль вправо-вверх» и подключает на вход видеоусилителя ПРН ДС-4С модулирующее напряжение УН « -90° ».

После отработки ком. «Контроль вправо-вверх» снимается напряжение с реле 9. При этом реле 9 подключает на вход видеоусилителя ПРН ДС-4С модулирующее напряжение УН « $+90^\circ$ » для имитации отклонения цели влево-вниз.

После окончания автоконтроля ком. «Контроль влево-вниз» снимается, реле 6, 7, 8 отпускают, и все элементы РГС ДСМ-А приходят в исходное. Работа РГС ДСМ-А в режиме автоконтроля описана в п. 2.4.6.

Если передатчик РГС ДСМ-А не включался более 30 суток, необходимо произвести тренировку магнетрона на технической позиции с использованием АНК ДК-150. Команда «Тренировка магнетрона» с блока ДК-101С в виде напряжения +27 В включает в блоке ДС-10СА реле 18, которое подключает напряжение с автотрансформатора АНК ДК-150 к высоковольтному выпрямителю ПРД ДС-2С.

По ком. «Предварительный прогрев» в виде напряжения +27 В в блоке ДС-10СА срабатывает реле 17, которое под-

ключает на накальные трансформаторы передатчика РГС (блок ДС-2С) напряжение ~ 115 В от наземного источника питания. Это обеспечивает длительную (до 2 ч) работу комплекса в дежурном режиме без включения питания на борт КР, что сокращает время предстартовой подготовки комплекса.

3. УСТРОЙСТВО ТИПОВОЙ ТГС

3.1. Основные законы теплового излучения целей и фонов

ТГС основаны на использовании различий в характеристиках теплового излучения цели и окружающего фона. Тепловое поле надводных кораблей создается за счет потока невидимых инфракрасных лучей (ИКЛ), испускаемых в окружающую среду нагретыми элементами (собственное тепловое излучение), и отраженным излучением солнечной радиации.

ИКЛ и лучи видимого света имеют одинаковую природу и свойства и являются потоком фотонов — материальных частиц, обладающих квантовыми и волновыми свойствами. В спектре электромагнитных колебаний ИКЛ занимают место между видимым светом и радиоволнами, т. е. находятся в диапазоне длин волн $0,77 \dots 1000$ мкм. ИКЛ излучаются внешними электронами атомов и молекул в результате вращательного и колебательного движения и называются тепловыми, так как их излучение определяется температурой излучающего тела.

Процесс превращения тепловой энергии тела в лучистую называется тепловым излучением.

Тела, поглощающие все падающее на них излучение любых длин волн и обладающие таким образом максимальной излучающей способностью, называются абсолютно черными. В природе таких тел не существует, однако понятие «абсолютно черное тело» широко используется для описания законов теплового излучения.

Тепловым (лучистым) потоком Φ называется количество энергии, излучаемой (поглощаемой или переносимой) в единицу времени. Единица измерения — ватт (Вт).

Величина теплового потока Φ с единицы поверхности тела S называется **плотностью излучения**: $R = \Phi/S$ Вт/см². Плотность излучения зависит от температуры тела T и окружающей среды T_{ϕ} и определяется по закону Стефана — Больцмана: $R = \sigma(T^4 - T_{\phi}^4)$, где $\sigma = 5,71 \cdot 10^{-12}$ (Вт·см²·К⁻⁴) — постоянная излучения.

Плотность излучения единицы поверхности тела в направлении телесного угла в 1 стерадиан называется энергетической яркостью (лучистостью): $B = R/\pi$ [Вт/(см²·ср)].

Энергетическая яркость всей поверхности называется силой излучения: $J_e = BS \cos \alpha$ (Вт/ср), где α — угол между нормалью к поверхности и направлением излучения.

Тепловой поток, падающий на единицу облучаемой поверхности, называется энергетической освещенностью: $E = I_e \cos \alpha / D^2$, где D — дальность до цели.

Общее уравнение распределения энергии по спектру излучения было найдено Планком. Зависимость плотности излучения R от длины волны λ называется спектральной интенсивностью плотности излучения: $r(\lambda, T)$ [Вт/(см²·мкм)] (рис. 3.1).

Длина волны $\lambda_{\text{макс}}$, соответствующая максимуму спектральной интенсивности плотности излучения, определяется первым законом Вина: $\lambda_{\text{макс}} = 2892/T$ К (мкм). С увеличением температуры тела максимум кривой излучения смещается в сторону коротких волн (рис. 3.2).

Величина спектральной плотности излучения на максимальной для данной температуры длине волны определяется вторым законом Вина: $R_{\lambda_{\text{макс}}} = 4,14 \cdot 10^{-12} \cdot T^5$ (Вт). Половинные значения спектральной плотности излучения (кривая на рис. 3.1) соответствуют: $\lambda' = 1780/T$ К (мкм) и $\lambda'' = 5270/T$ К (мкм).

Площадь, ограниченная кривой Планка, характеризует полную плотность излучения тела.

В областях $0 \dots \lambda'$; $\lambda' \dots \lambda''$; $\lambda'' \dots \infty$ находится соответственно 4, 67, 29% полного излучения. В областях $0 \dots \lambda_{\text{макс}}$ и $\lambda_{\text{макс}} \dots \infty$ лежит соответственно 25 и 75% полной мощности излучения абсолютно черного тела.

Для реальных тел, каковыми являются и корабли, распределение интенсивности излучения по спектру $r(\lambda, T)$ характеризуется спектральным коэффициентом излучения, представляющим соотношение спектральных интенсивностей плотности излучения реального и абсолютно черного тел: $\epsilon = r(\lambda, T) / r(\lambda, T_{\text{а.ч.т}})$; он называется также коэффициентом серости. Серыми называются тела, коэффициент излучения которых для всех длин волн является постоянным. Для серого тела суммарная плотность излучения $R = \epsilon \delta T^4$. Для надводных кораблей $\epsilon = 0,8 \dots 0,96$.

При прохождении ИКЛ через атмосферу происходит их ослабление за счет рассеяния и селективного поглощения мо-

лекулами водяного пара, углекислого газа и озона. При этом лучи с различной длиной волны поглощаются по-разному. Диапазоны волн с большим пропусканием излучения называются «окнами прозрачности» (рис. 3.3). Туман, облака, дымовые завесы, по существу, непрозрачны для ИКЛ, но сквозь дождь они проходят свободно.

Основными источниками излучения кораблей являются корпус, дымовые трубы и газовый факел.

У современного крейсера при скорости хода 18 уз температура трубы $+80^{\circ}\text{C}$, козырька трубы $+180^{\circ}\text{C}$, газового факела $+380^{\circ}\text{C}$. При увеличении скорости хода до 25 уз температура исходящих газов повышается до 450°C . Поэтому при изменении хода с 18 до 24 уз сила излучения у крейсера возрастает примерно в четыре раза. Кривые распределения силы излучения корабля в пространстве при разных углах визирования показаны на рис. 3.4. Увеличение силы излучения при больших углах визирования (в верхнюю полусферу) объясняется увеличением проекций отверстий труб и уменьшением экранирующего влияния надстроек. Сила излучения и спектральные характеристики излучения существенно зависят от типа энергетической установки корабля, т. е. от наличия на корабле поверхностей, имеющих высокую температуру. Корабли с мощными паросиловыми установками имеют максимум излучения в диапазоне волн $3 \dots 5$ мкм, в то время как максимум излучения их корпуса находится в пределах 10 мкм. Максимум излучения высокотемпературных помех (ЛТЦ) лежит в диапазоне $2 \dots 2,7$ мкм.

Отраженное излучение солнечной радиации имеет существенное значение в ясную солнечную погоду.

Основными источниками излучения, образующими фон, являются атмосфера, поверхность моря, облака, нагретые обтекатели ракет, небесные тела.

Различают следующие виды излучения атмосферы: собственное, обусловленное непрозрачными для ИКЛ водяными парами, углекислым газом и озоном, а также рассеянное излучение Солнца и Луны. В области коротких волн рассеянное излучение меньше. Максимум интенсивности излучения атмосферы, определяемый ее температурой ($230 \dots 300$ К), лежит в пределах 10 мкм и имеет величину порядка 10^{-3} Вт/см.

Обтекатели ракет даже при дозвуковой скорости полета нагреваются до $50 \dots 60^{\circ}\text{C}$. Поэтому излучение обтекателя, как и излучение атмосферы, занимает весь угол зрения ТГС и создает значительный уровень шумов (фона).

Облака, подсвеченные Солнцем, являются источником мощного излучения. В то же время небо, затянутое сплошными низкими облаками, излучает как абсолютно черное тело с температурой окружающей среды, и его влияние на работу ТГС незначительно.

Спокойная морская поверхность является хорошим отражателем, а при наличии бурунов излучает как абсолютно черное тело. Отраженное от моря, а также от береговой черты излучение Солнца и Луны (солнечная и лунная дорожки) воспринимаются ТГС как источник мощного теплового излучения.

Солнце является самым мощным источником инфракрасного излучения. Длительное воздействие его прямых лучей может вывести из строя приемник ТГС. Отраженное от Луны излучение Солнца также вызывает на выходе ТГС сигнал, во много раз превышающий сигнал от реальной морской цели. Для предотвращения захвата ТГС Солнца и Луны необходимо исключить их попадание в поле зрения ТГС.

Обнаружение цели ТГС возможно только при наличии радиационного контраста — количественного или качественного различия в лучистой энергии цели и фона. При этом с увеличением контрастности увеличивается и дальность обнаружения.

Для выделения реальных морских целей от окружающего фона и помех используются следующие их отличия:

— размеры целей значительно меньше размеров фона и протяженных помех (облака, солнечная дорожка, береговая черта);

— температура, а следовательно и спектральные характеристики, целей и фона различны.

В силу этих основных отличий в ТГС широко используется селекция целей по спектру и длительности.

Полезный сигнал на выходе ТГС, характеризующий тепловую заметность цели с определенной дальности, пропорционален разности излучения фона $\Phi_{\text{ф}}$ и суммарного потока от излучения корабля $\Phi_{\text{к}}$ и части фона $\Phi'_{\text{ф}}$, попадающего в поле зрения ТГС, но не перекрытого целью $\Delta\Phi_{\text{к}} = (\Phi_{\text{к}} + \Phi'_{\text{ф}}) - \Phi_{\text{ф}}$.

Величина лучистого потока, воспринимаемого фотоприемником ТГС, в основном зависит от дальности до цели, атмосферных условий и параметров ТГС. В конечном итоге величина тепловой заметности цели будет характеризоваться отношением величины напряжения сигнала на выходе ТГС

к величине напряжения, вызываемого помехами фона и собственными шумами аппаратуры (отношением «сигнал — шум»).

3.2. Принципы построения ТГС

ТГС служит для поиска и захвата целей, имеющих тепловой контраст на окружающем фоне, их автоматического сопровождения по направлению и выработки команд и управляющих напряжений для наведения КР на цель.

Для осуществления автоматического сопровождения цели по направлению в состав ТГС входят два основных узла: координатор, выходное напряжение которого пропорционально угловым координатам цели, и следящий привод, совмещающий оптическую ось координатора с направлением на цель.

Координатор цели автоматически определяет угол рассогласования $\varphi_{\text{ц}}$ между осью координатора и направлением на цель (рис. 3.5). Угол рассогласования и его составляющие в двух взаимно перпендикулярных плоскостях управления ($\varphi_{\text{ум}}$ и $\varphi_{\text{ку}}$) определяются по положению изображения цели в фокальной плоскости оптической системы. В фокальной плоскости расположен приемник лучистой энергии (ПЛЭ) радиусом Y . Если угол рассогласования равен нулю, то изображение цели совпадает с центром фокальной плоскости O , через который проходит оптическая ось координатора. При наличии угла рассогласования изображение цели смещается относительно оптической оси на расстояние ρ , пропорциональное углу рассогласования. Положение плоскости рассогласования определяется углом фазирования Φ . Очевидно, что размеры ПЛЭ определяют угол поля зрения координатора — телесный угол 2ν , в пределах которого изображение цели попадает на ПЛЭ. При этом на выходе ПЛЭ появляется электрический сигнал.

Обозначая через $f_{\text{об}}$ фокусное расстояние оптической системы и имея в виду, что угол поля зрения составляет $2-3^\circ$, можно написать: $\nu = \text{arctg } R/f_{\text{об}}$, $\rho = f_{\text{об}} \text{tg } \varphi_{\text{ц}} \approx f_{\text{об}} \varphi_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{у}} = f_{\text{об}} \text{tg } \varphi_{\text{ум}} \approx f_{\text{об}} \varphi_{\text{ум}}$; $\rho_{\text{з}} = f_{\text{об}} \text{tg } \varphi_{\text{ку}} \approx f_{\text{об}} \varphi_{\text{ку}}$.

Если цель находится на оптической оси ($\varphi_{\text{ц}} = 0$), то выходное напряжение координатора равно нулю. Когда цель смещается относительно оптической оси, то появляется напряжение рассогласования, пропорциональное $\varphi_{\text{ум}}$ и $\varphi_{\text{ку}}$.

Упрощенная структурная схема ТГС показана на рис. 3.6.

Основными элементами координатора являются: анализатор поля зрения, усилитель, блок селекции и выделения ошиб-

ки рассогласования, приводы курса и высоты. Анализатор представляет собой сочетание оптической системы с модулирующим устройством и ПЛЭ. Обычно анализатор устанавливается в кардановом подвесе и с помощью следящих приводов поворачивается в азимутальной и вертикальной плоскостях для поиска и сопровождения цели в требуемых углах обзора и сопровождения.

Тепловой поток от цели, фона и протяженных помех, ослабленный атмосферой, принимается оптической системой, которая не только собирает поток лучистой энергии и концентрирует его на ПЛЭ, но и осуществляет спектральную фильтрацию (рис. 3.7). Фильтр необходим для того, чтобы выделить спектральную полосу излучения цели и ослабить влияние излучения фона и помех вне выделенного спектра. Хотя при этом тепловой поток от цели также частично срезается фильтром, но отношение «сигнал — шум» увеличивается.

Для исключения захвата и наведения ТГС на протяженные помехи, спектр излучения которых лежит в спектральном диапазоне излучения цели, осуществляется пространственная фильтрация теплового потока с помощью оптического модулятора. Пространственная фильтрация основана на том, что угловые размеры целей на дальностях их обнаружения значительно меньше угловых размеров протяженных помех.

В ТГС «Снегирь» используется безрастровый модулятор с вращающимся зеркалом, наклоненным к оптической оси координатора на угол β' (рис. 3.8, а). Тепловое излучение фокусируется этим зеркалом в плоскости ПЛЭ в виде абберационного пятна (изображение цели), диаметр которого зависит от качества оптической системы и, главным образом, от углового размера цели. При возрастании углового размера диаметр пятна увеличивается. Две узкие пластинки ПЛЭ расположены под углом 90° друг к другу, электрически изолированы и соприкасаются в центре фокальной плоскости (на оптической оси). ПЛЭ служат для преобразования лучистой энергии в электрические сигналы (рис. 3.8, б).

За счет наклона вращающегося зеркала тепловые изображения цели и помехи также вращаются по окружностям с радиусом $r_{ск} = l \operatorname{tg} \beta'$, где l — расстояние от зеркала до ПЛЭ. Положение центров окружностей зависит от углового положения цели и помехи относительно оптической оси координатора.

При пересечении изображением цели или помехи любого ПЛЭ на его выходе появляется импульс фототока. Длитель-

ность импульса зависит от ширины ПЛЭ и времени его облучения, которое определяется размерами изображения и скоростью вращения зеркала. Таким образом, за один оборот сканирующего зеркала на выходе каждого ПЛЭ появляются импульсы цели и импульсы протяженной помехи, длительность которого значительно больше (рис. 3.8, в). Эти импульсы усиливаются и подаются на селектор по длительности. В схеме селекции импульсы сравниваются с калиброванным импульсом определенной длительности, и так как длительность импульсов цели меньше, то они поступают в блок выделения ошибки. Поскольку импульсы от протяженных помех больше калиброванных, то они срезаются.

В блоке выделения ошибки импульсы цели нормализуются, т. е. преобразуются в переменное напряжение, начальная фаза которого зависит от времени появления импульса цели, а период его равен периоду сканирования зеркала.

На фазовых детекторах напряжение сравнивается с опорными, и вырабатываются напряжения рассогласования в азимутальной и вертикальной плоскостях.

Опорные напряжения вырабатываются модулятором. Начальная фаза ОН соответствует строго определенному положению сканирующего зеркала модулятора, а период ОН равен периоду сканирования зеркала (времени одного оборота). Поэтому величина напряжения рассогласования пропорциональна угловому отклонению цели от оптической оси, а полярность его (фаза) — стороне отклонения. Если цель находится на оптической оси, то напряжение рассогласования равно нулю. Если же цель смещена от оптической оси, то напряжения сигнала ошибки в соответствующих плоскостях подаются на следящие приводы, которые совмещают оптическую ось анализатора с направлением на цель, сводя ошибку рассогласования к нулю.

3.3. Основные параметры и структурная схема ТГС

ТГС «Снегирь» служит для автоматического поиска, захвата и автосопровождения морских целей и выработки команд и управляющих напряжений для наведения КР «Термит-Р» на цель.

3.3.1. Основные характеристики ТГС «Снегирь»

1. Эффективное применение ТГС возможно только при наличии благоприятных метеорологических условий и соответ-

ствующего светового фона, обеспечивающего достаточную тепловую контрастность цели. Наилучшие условия — в ясную безлунную ночь и днем при безоблачном небе или при равномерной облачности. В этих условиях ТГС обеспечивает надежный захват и сопровождение крейсеров с дальностей не менее 15 км.

2. Стрельба в условиях тумана и морозящего дождя или снега в районе цели, а также по кораблям с дизельными установками неэффективна, а в секторе $\pm 30^\circ$ от направления на Солнце невозможна.

3. ТГС не переходит в режим сопровождения солнечной дорожки, ярко освещенных солнцем облаков или светлого берега, ЛТЦ с температурой более 800°C и факела маршевого двигателя впереди летящей ракеты залпа.

4. Угол зрения оптической системы составляет $80'$.

5. Сектор поиска по курсовому углу устанавливается перед стартом в пределах ± 5 , ± 10 или $\pm 15^\circ$. Скорость поиска — $20 \dots 30$ град/с; угол отслеживания цели — 35° .

6. По высоте сектор поиска составляет $-3 \dots +1^\circ$; угол отслеживания цели — 20° .

7. Масса ТГС — 80 кг.

В состав ТГС «Снегирь» входят блоки СН-1... СН-8. Упрощенная схема связей блоков между собой и ТГС с ракетой и КПА показана на рис. 3.9.

Блок СН-1 — анализатор поля зрения с приводами курса и высоты. Обеспечивает поиск и отслеживание цели в заданном секторе, прием инфракрасного излучения, его спектральную фильтрацию в диапазоне цели и высокотемпературных помех, модуляцию теплового потока и преобразование его в электрические сигналы, а также вырабатывает УНК и УНВ для наведения КР на цель.

Блок СН-2 — четырехканальный усилитель для формирования и усиления сигналов с фотоприемников.

Блок СН-3 обеспечивает селекцию реальных целей от помех по длительности и спектру, вырабатывает сигнал захвата цели (сигнал «ГС») и стробирует ее (селекция по частоте повторения), а также вырабатывает напряжения угловой ошибки сопровождения по курсу и высоте.

Блок СН-4 — блок автоматики. Вырабатывает ком. ГС; СК; ЦП; УР-1, УР-2, 11, «Имит. t_0 », а также напряжение поиска цели по курсу.

Блок СН-5 — блок усилителей мощности приводов курса и высоты.

Блок СН-6 — блок питания.

Блок СН-7 — коммутационно-распределительное устройство, обеспечивающее как междублочную связь, так и связь ТГС с аппаратурой ракеты и носителя.

Блок СН-8 — сборка блоков СН-2...СН-7 на амортизаторах. Описание цепей связей приводится при рассмотрении функциональных схем блоков ТГС.

3.3.2. Структурная схема ТГС «Снегирь»

Анализатор изображения (центральный узел блока СН-1) имеет оптическую систему и два охлаждаемых жидким воздухом фоторезистора PbS основного канала цели, а также неохлаждаемый фоторезистор PbS вспомогательного канала спектральной селекции (рис. 3.11). Основной канал ТГС служит для приема излучения от реальных морских целей в диапазоне $\lambda = 3,3 \dots 4,0$ мкм, а канал спектральной селекции (КСС) — для приема излучения $\lambda = 2,0 \dots 2,7$ мкм и предотвращения захвата высокотемпературных ЛТЦ.

Каждый фоторезистор ОК связан со своим каналом усиления, селекции и выделения ошибки рассогласования. Анализатор изображения расположен в кардановом подвесе и с помощью следящих приводов курса и высоты разворачивается по курсовому углу и углу места. На участке автономного полета КР оптический тракт закрыт специальной заслонкой, а оптическая ось анализатора совпадает со строительной осью КР. Оптический тракт открывается по ком. 10. ТГС работает в режимах поиска, захвата и сопровождения цели.

Режим поиска начинается по ком. 4. При этом от усилителя мощности следящего привода курса отключается напряжение отрицательной обратной связи, а на его вход подается напряжение поиска $U_{п}$, со схемы поиска. На усилитель мощности привода высоты подается со схемы поиска напряжение $U_{ст}$ (ступенчатое напряжение), изменяющееся ступенями на концах сектора поиска по курсу (по ком. КК1, КК2 с привода курса). Под действием напряжений поиска оптическая ось центрального узла смещается вниз на 3° и начинается построчный просмотр водной поверхности по закону поиска ТГС (рис. 1.6, б).

Поиск по курсу осуществляется в пределах установленного перед стартом сектора, а поиск по дальности — построчным перемещением центрального узла по высоте вначале снизу вверх на 4° , а затем сверху вниз. Перемещение центрального узла на следующую строку (на концах сектора поиска по

курсу) осуществляется на $60'$ при угле зрения оптической системы $80'$. Таким образом, строки перекрываются, что исключает пропуск цели.

Принятый от фона и излучающих объектов тепловой поток фокусируется оптической системой в плоскостях расположения ПЛЭ. Коротковолновая часть спектра излучения с $\lambda = 2 \dots 2,7$ мкм интерференционным фильтром подается на фотоприемник КСС, а длинноволновая с $\lambda = 3,3 \dots 4,0$ мкм — на фотоприемники канала цели.

Импульсы тока с каждого фотоприемника канала цели усиливаются и селектируются по длительности для исключения захвата протяженных помех. Импульсы с $\tau < 1,5$ мс (т. е. от реальных морских целей) преобразуются в короткие рабочие импульсы и поступают на селектор по частоте повторения, схему захвата и схему выделения ошибки рассогласования.

Если в поле зрения ТГС попадает высокотемпературная помеха, то на выходе фотоприемника КСС появляется импульс, который усиливается и подается на селектор по спектру. Селектор КСС предотвращает прохождение импульсов с основных фотоприемников на схему захвата.

Селектор по частоте повторения (схема стробирования) обеспечивает выделение ошибки только по захваченной цели при наличии и других целей в поле зрения ТГС.

Захват цели осуществляется по ком. ГС («Головка следит»), которая вырабатывается при поступлении импульсов с обоих фотоприемников канала цели за один оборот вращающегося зеркала анализатора. По ком. ГС поиск прекращается, и на приводы курса и высоты подключаются напряжения, пропорциональные угловой ошибке рассогласования положения цели относительно оптической оси анализатора ТГС. Для определения величины и стороны отклонения цели от оптической оси на схему выделения ошибки рассогласования подается опорное напряжение с мотор-генератора вращающегося зеркала анализатора.

Таким образом, начинается режим автоматического сопровождения цели, при котором следящие приводы удерживают оптическую ось анализатора ТГС на цели, сводя ошибку рассогласования к нулю.

Через $0,7 \dots 1,5$ с после ком. ГС, за которые оптическая ось анализатора совместится с направлением на цель, в блоке автоматики вырабатывается ком. СК, по которой на вход автопилота подключаются УНК с потенциометрических дат-

чиков и начинается этап наведения КР на цель. Так же как и в РГС, в ТГС величина УНК зависит от угла рассогласования строительной оси КР относительно оптической, а полярность — от стороны отклонения.

Кроме ком. ГС и СК, в ТГС на этапе наведения КР автоматически вырабатываются ком. УР-1, УР-2, РГУК, СВ, РГУВ, «Имитация t_v » и ком. П. Значение этих команд приведено при описании траектории полета КР, а условия выработки будут описаны ниже.

3.4. Режимы работы ТГС

Описание работы ТГС в режимах поиска, захвата и сопровождения цели производится по функциональной схеме, приведенной на рис. 3.18.

3.4.1. Работа ТГС в режиме поиска

Работа приводов курса и высоты. При подаче питания на ТГС приводы K и B , работающие в пропорциональном режиме, под действием напряжений отрицательной обратной связи с датчиков УНК и УНВ устанавливаются в исходное положение, при котором оптическая ось ТГС совпадает со строительной осью КР.

В период предстартовой подготовки осуществляется автоматическая заливка прибора ФАД1,5-66СН жидким воздухом в количестве, достаточном на все время полета КР к цели, и осуществляется автоконтроль бортовой аппаратуры КР совместно с ТГС.

На участке автономного полета КР оптический тракт ТГС закрыт заслонкой. За одну секунду до истечения времени автономного полета по команде 10 с ПВМ открывается оптический тракт. По команде 4 начинается перемещение центрального узла (анализатора), осуществляющего покадровый просмотр водной поверхности в установленном перед стартом секторе поиска по курсу ± 5 , ± 10 или $\pm 15^\circ$.

При этом происходят следующие коммутации:

— в усилителе мощности высоты вырабатывается напряжение «Склон», которое усиливается и по цепи УНДВ отклоняет ЦУ вниз на 3° ;

— от усилителя мощности курса отключается напряжение обратной связи с датчика УНК и на его вход подается напряжение поиска П1, вызывающее появление напряжения

разбаланса, которое по цепи УНДК перемещает привод курса вправо до конца установленного сектора.

На конце сектора поиска по курсу с концевого контакта привода курса выдается команда КК1, по которой происходят следующие коммутации:

— вырабатывается напряжение первой ступеньки поиска по высоте, вызывающее разбаланс привода B , работающего в пропорциональном режиме, и привод перемещает центральный узел на $55 \dots 60'$ вверх;

— в усилителе мощности курса меняется полярность разбаланса, вызываемого напряжением поиска П1, и привод курса перемещает центральный узел влево до конца сектора по строке, отличающейся от предыдущей на $55 \dots 60'$ ($\sim 1^\circ$).

На конце сектора с концевого контакта привода курса выдается команда КК2, по которой вырабатывается напряжение второй ступеньки поиска по высоте, и привод высоты перемещает центральный узел на 1° вверх, а привод курса перемещает его снова вправо до конца сектора, где процесс повторяется.

После перемещения центрального узла по последней пятой строке ступенчатое напряжение по командам КК1, КК2 начнет уменьшаться, что приведет к движению центрального узла вниз по такому же закону. На первой строке кадра снова начнется движение центрального узла вверх. Поиск осуществляется до момента захвата цели.

Селекция импульсов целей по длительности, спектру и частоте повторения. Каждый фотоприемник канала цели связан со своим каналом усиления и селекции. Оба канала выполнены по аналогичным схемам. Рассмотрим работу одного из каналов.

Усиленные примерно в 20 000 раз импульсы колоколообразной формы с фотоприемника канала цели поступают на схему формирования рабочих импульсов и на селектор по длительности.

Селекция импульсов по длительности обеспечивает выделение реальных целей от протяженных помех.

Длительность импульсов от реальных целей на дальностях включения ТГС меньше 1,5 мс, а от протяженных помех больше 1,5 мс.

Селектор по длительности запирается импульсом цели на время его действия (рис. 3.18, а).

Схема формирования рабочих импульсов на каждый импульс с фотоприемника вырабатывает короткий импульс, за-

держанный относительно переднего фронта импульса цели на 1,5 мс, который и называется рабочим. Рабочий импульс поступает на селекторы по длительности и спектру. Если в поле зрения ТГС реальная цель, то длительность импульсов с фотоприемника меньше 1,5 мс и селектор к моменту прихода рабочих импульсов открывается. Поэтому рабочий импульс проходит на выход селектора по длительности. Если же в поле зрения ТГС находится протяженная помеха, то селектор оказывается закрытым и рабочий импульс на его выходе не появляется. Таким образом, предотвращается захват протяженных помех.

Селекция целей по спектру излучения предотвращает захват ТГС высокотемпературных помех и основана на различиях в спектральных характеристиках излучения реальных морских целей и высокотемпературных помех. Максимум спектра излучения реальных целей лежит в диапазоне 3,3...4,0 мкм, поэтому на дальностях включения ТГС мощность излучения с $\lambda=2,0...2,7$ мкм от реальных целей незначительна и сигналы с фотоприемников КСС практически отсутствуют.

Хотя мощность излучения от высокотемпературных помех имеет максимум в диапазоне $\lambda=2,0...2,7$ мкм, но она также незначительна и в диапазоне $\lambda=3,3...4,0$ мкм. В связи с этим тепловой поток от высокотемпературных помех вызывает появление импульсов с фотоприемников как КСС, так и канала цели, что может привести к захвату помехи. Для предотвращения захвата помехи усиленные импульсы с фотоприемника КСС запускают генераторы блокировки. Генераторы вырабатывают отрицательные импульсы длительностью 7,5...8,5 мс и 4,5...5,5 мс, которые одновременно запирают селекторы по длительности обоих каналов цели (рис. 3.18, б). В результате этого рабочие импульсы на выход селекторов по длительности не поступают, и захват помехи по каналу цели невозможен.

Рабочие импульсы задержаны на 1,5 мс от начала импульса канала цели, а блокирующие импульсы КСС совпадают с началом импульсов КСС, длительность которых больше длительности импульсов канала цели за счет большей ширины фотоприемников КСС. Это позволяет скомпенсировать неточность установки фотоприемников в ТГС и предотвратить опережение рабочими импульсами блокирующих сигналов КСС в любой точке поля зрения ТГС.

Селекция импульсов по частоте повторения аналогична стробированию импульсов целей в РГС и уменьшает вероятность захвата других целей, расположенных вблизи захваченной цели.

Действительно, если в поле зрения ТГС находится несколько целей, то за период повторения импульсов от захваченной цели, равный времени одного оборота сканирующего зеркала (10 мс), появятся импульсы от других целей, что может привести к срыву сопровождения захваченной цели. Для исключения этого каждый рабочий импульс с выхода селектора по длительности запускает генератор селектора по частоте повторения. Генератор вырабатывает отрицательный прямоугольный импульс длительностью 7,5 мс, который запирает схему формирования рабочих импульсов (рис. 3.18, в). К моменту прихода следующего импульса от первой захваченной цели канал открывается. Так как время закрытого состояния канала с учетом задержки рабочего импульса на 1,5 мс составляет 9 мс при периоде повторения 10 мс, то вероятность захвата других целей значительно уменьшается.

3.4.2. Работа ТГС при захвате цели

Для захвата цели должны выполняться следующие условия:

- изображение цели пересекает оба фотоприемника канала цели за один оборот сканирующего зеркала;
- амплитуда импульсов цели с каждого фотоприемника не менее чем в три раза больше уровня шумов;
- в каждом канале импульсы цели прошли селекцию по длительности и спектру и выработаны рабочие импульсы.

Так как фотоприемники канала цели расположены V-образно, то изображение цели при сканировании пересекает их не одновременно, а следовательно, временные процессы в обоих каналах цели смещены.

На каждый рабочий импульс с выходов селекторов по длительности схема формирования нормализованных импульсов цели вырабатывает положительные и отрицательные импульсы, длительность которых составляет половину периода повторения рабочих импульсов и равна 5 мс (рис. 3.19). Временное положение нормализованных импульсов (т. е. их фаза) определяется положением цели относительно оптической оси, а частота следования равна частоте следования импульсов цели с фотоприемников.

В каждом канале отрицательные импульсы $\tau=5$ мс поступают на свой фазовый детектор одновременно с опорным напряжением для выработки угловых координат цели, а положительные импульсы $\tau=5$ мс подаются на общую для обоих каналов схему выработки ком. ГС.

На выходе схемы совпадения ком. ГС при наличии 5-мс импульсов в обоих каналах и хотя бы их частичном совпадении появляются положительные импульсы «Сигнала ГС». Их длительность зависит от площади перекрытия 5-мс импульсов, т. е. от положения цели относительно оптической оси ТГС, а частота следования равна частоте следования рабочих импульсов (100 Гц). При наличии импульсов «ГС» практически мгновенно выдается ком. ГС.

По ком. ГС от усилителей мощности приводов курса и высоты отключаются напряжение поиска П1 и ступенчатое напряжение. Следовательно, центральный узел прекращает поиск в момент, когда в поле зрения анализатора появилась цель. Одновременно с этим фазовые детекторы вырабатывают напряжения ошибки, пропорциональные угловому отклонению цели от оптической оси в системе координат фотоприемников, которые затем преобразуются в систему координат ракеты и поступают на приводы курса и высоты. Приводы отклоняют центральный узел, сводя ошибку рассогласования к нулю. Таким образом, ТГС переходит в режим сопровождения цели.

После захвата цели по ком. ГС амплитуда импульсов цели на входе схемы формирования рабочих импульсов увеличивается примерно в 1,35 раза. Порог сопровождения в ТГС «Снегирь» ниже порога обнаружения цели. Это уменьшает вероятность ложной выдачи ком. ГС и увеличивает устойчивость сопровождения цели при флюктуациях сигналов цели.

В случае пропадания сигналов «ГС» ком. ГС продолжает выдаваться в течение 0,2...0,6 с, что обеспечивает соответствующую память захвата. Время памяти с момента захвата нарастает по экспоненциальному закону.

Как было сказано выше, захват цели осуществляется при условии пересечения изображения цели обоих фотоприемников канала цели за один оборот сканирующего зеркала. Это возможно только при условии, если смещение центра окружности вращения изображения цели, вызванное угловым отклонением цели от оптической оси ТГС, меньше радиуса окружности сканирования. Таким образом, угол зрения канала цели определяется не только длиной фотоприемников, но и радиусом окружности сканирования и составляет 80'.

Условием работы КСС является пересечение изображением помехи хотя бы одного фотоприемника КСС. В результате этого угол зрения КСС в горизонтальной плоскости может достигать $3,5^\circ$.

Проекция геометрического места целей и помех в картинной плоскости на плоскость изображений, определяющие область воздействия ЛТЦ и область захвата и сопровождения целей, показаны на рис. 3.20.

3.4.3. Режим сопровождения цели

Формирование ошибки сопровождения цели. Для выделения напряжения сигнала ошибки, пропорционального углу отклонения цели от оптической оси, на фазовые детекторы каждого канала подаются нормализованные 5-мс импульсы и синусоидальные опорные напряжения с мотор-генератора, вращающего сканирующее зеркало. Начальная фаза ОН соответствует строго определенному положению сканирующего зеркала, а период его равен времени одного оборота зеркала (10 мс). Фаза ОН канала II сдвинута на 90° (рис. 3.21).

Начальная фаза 5-мс импульсов определяется временем появления рабочих импульсов, т. е. зависит от углового положения цели относительно оптической оси ТГС.

Величина выходного напряжения фазовых детекторов определяется разностью площадей полуволн ОН, заключенных между фронтами нормализованных 5-мс импульсов цели. Так, если цель находится на оптической оси, то выходное напряжение равно нулю. Если же цель смещена от оптической оси, то выходное напряжение фазового детектора пропорционально углу отклонения цели от оптической оси в направлении, перпендикулярном расположению фотоприемника данного канала.

Так как направление приемников (оси $Y'Z'$) не совпадает с осями управления ракетой YZ (рис. 3.16), то выходные напряжения фазовых детекторов не могут непосредственно являться управляющими напряжениями приводов курса и высоты. Для получения управляющих напряжений, пропорциональных углам отклонения цели по курсу и высоте отдельно, т. е. по осям Y, Z , производится преобразование координат путем сложения выходных напряжений фазовых детекторов по формулам: $Z=0,7(Z' - Y')$; $Y=0,7(Z' + Y')$.

Как видно из рис. 3.21, проекции результирующего вектора OA выходных напряжений фазовых детекторов по осям Y', Z'

на оси управления Y , Z и есть управляющие напряжения по высоте и курсу соответственно.

Со схемы преобразования координат управляющие напряжения подаются на усилители мощности следящих приводов курса и высоты.

Выработка команд СК, РГУК. Через 0,7...1,4 с после ком. ГС вырабатывается команда СК, по которой начинается самонаведение КР на цель по курсу. Задержка ком. СК необходима для точного совмещения оптической оси центрального узла с направлением на цель после ком. ГС до подключения УНК на автопилот.

По ком. СК отключается ком. ЦП, разблокируется схема выработки ком. УР-1 и УР-2, подается +27 В на средние контакты приводов курса и высоты, а в автопилоте на вход канала курса подключаются УНК с потенциометрического датчика привода курса. Как и в РГС «ДСМ-А», величина и полярность УНК определяют величину угла и сторону отклонения оптической оси центрального узла ТГС от строительной оси КР.

КР начинает разворачиваться на цель. При совмещении строительной оси КР с направлением оптической оси ТГС с центральных контактов привода курса ТГС выдается ком. РГУК. По этой команде в автопилоте разарретируется гироскоп упреждения курса, а в ТГС подготавливаются цепи выработки ком. СВ и установки сектора поиска $\pm 5^\circ$ при потере цели.

Выработка команды УР-1. Ком. УР-1 вырабатывается при увеличении теплового потока от цели в 2—3 раза превышающий пороговый уровень при наличии ком. СК. По ком. УР-1 отключаются селекторы по длительности и спектру и вырабатывается ком. СВ при наличии ком. РГУК. Возрастание теплового потока определяется по амплитуде импульса цели с одного из фотоприемников канала цели.

Отключение селекторов по длительности и спектру обусловлено следующим. При сближении КР с целью возрастают ее угловые размеры, уменьшается ослабление теплового потока атмосферой и возрастает энергетическая освещенность изображения цели обратно пропорционально квадрату дальности до цели. Это приводит к возрастанию амплитуды и длительности импульсов с фотоприемников канала цели.

Кроме того, даже от реальных целей на малых дальностях мощность излучения с $\lambda = 2,0 \dots 2,7$ мкм становится достаточ-

ной для появления импульсов с фотоприемников КСС. Срабатывание КСС может произойти также при создании на захваченной цели высокотемпературной помехи.

Увеличение длительности импульсов цели и появление импульсов в КСС может привести к срабатыванию схем селекции по длительности и спектру и, в конечном итоге, к срыву сопровождения цели.

Для устойчивого сопровождения цели по ком. УР-1 рабочие импульсы подаются в схему, минуя селекторы.

Выработка команд СВ, РГУВ. Условиями выработки ком. СВ являются:

— наличие ком. УР-1 и РГУК при сопровождении цели с достаточно мощным тепловым потоком;

— наличие ком. РГУК и t_v при сопровождении цели с малым тепловым потоком, когда ком. УР-1 до выдачи ком. t_v еще не выработана. Ком. t_v выдается за 3...5 км до цели с программного механизма КР.

По ком. СВ при наличии ком. СК с потенциометрического датчика привода высоты на автопилот подаются УНВ, пропорциональные углу отклонения оптической оси центрального узла от строительной оси КР. Ракета разворачивается на цель по углу места и при совмещении строительной и оптической осей КР со средних контактов привода высоты выдается ком. РГУВ, по которой в автопилоте разарретировается гироскоп упреждения высоты.

Выработка команды УР-2. Ком. УР-2 вырабатывается только после команды СК при возрастании теплового потока от цели в 50...100 раз выше уровня «захвата». Как и при выработке ком. УР-1, увеличение теплового потока определяется по амплитуде импульса цели с одного из фотоприемников канала цели.

По ком. УР-2 запирается усилитель КСС с целью повышения надежности отключения схемы селекции по спектру, а также разблокируется схема выработки ком. 11 («Принижение»).

Формирование команды 11. При сопровождении цели линия визирования центрального узла направлена на верхний срез труб корабля — тепловой центр излучения. Для попадания в борт корабля при наличии ком. УР-2 выдается ком. 11, которая подается в автопилот для закладки рулей высоты на 2° вниз.

Для выработки ком. 11 импульс цели со второго фотоприемника канала цели усиливается широкополосным усилите-

лем, обеспечивающим передачу длительности импульса с малым искажением. Когда за счет сближения КР с целью длительность импульса превысит определенную величину, то после накопления десяти таких импульсов вырабатывается ком. 11. Схема накопления предотвращает случайную выдачу ком. 11. Ком. 11 выдается за 200...300 м до цели в зависимости от геометрических размеров и курсового угла цели.

Если цель не имеет трубы, то тепловой поток от нее мал, а значит ком. УР-2 и 11 могут не вырабатываться.

Формирование команды «Имитация t_v ». Ком. «Имитация t_v » создает условия для захвата источника высокотемпературного излучения, которым может быть либо ЛТЦ, либо реальная цель при наличии на ней пожара или искусственной помехи.

Ком. «Имит. t_v » вырабатывается только после ком. t_v с программного механизма КР (за 3...5 км до цели) при отсутствии захвата реальной цели и наличии следующих сигналов:

— окончание проверки КСС с привода высоты, который выдается при автоконтроле КР, запоминается и свидетельствует об исправности КСС;

— ком. 4 — «Поиск»;

— ком. ЦП — нет захвата цели;

— отрицательных блокировочных импульсов КСС, которые означают, что в поле зрения ТГС находится высокотемпературный источник излучения.

Наличие этих сигналов запоминается и удерживается постоянно, поскольку блокировочные импульсы от одной помехи при обзоре центральным узлом двух кадров (вверх-вниз) следуют через 4...8 с, а время памяти схемы запоминания составляет 10 с.

В этих условиях по ком. t_v вырабатывается ком. «Имитация t_v ». При этом отключаются селекторы по длительности и спектру, создавая условия захвата высокотемпературного источника каналом цели, и загроубляется чувствительность усилителей канала цели, облегчая работу ламп при большом сигнале.

Если захвата не произошло и блокировочные импульсы КСС в течение 10 с не поступают, то ком. «Имитация t_v » отключается, но может быть выработана вновь при выполнении вышеперечисленных условий.

3.5. Функциональные схемы

3.5.1. Анализатор поля зрения ТГС

Анализатор поля зрения («центральный узел» блока СН-1) обеспечивает прием инфракрасного излучения с $\lambda = 1,2 \dots 6$ мкм, его спектральную фильтрацию в диапазонах излучения целей (3,3...4,0 мкм) и помех (2,0...2,7 мкм), модуляцию теплового потока и преобразование его в электрические импульсы. Время появления импульсов относительно начала отсчета дает информацию об угловом положении цели, поэтому модулятор ТГС «Снегирь» называется модулятором «время-импульсного типа».

В состав анализатора входят: оптическая система с модулятором и фотоприемники каналов цели и спектральной селекции.

Оптическая система обеспечивает прием, концентрацию, спектральную фильтрацию и модуляцию теплового излучения и таким образом играет роль спектрального и пространственного фильтров.

В ТГС «Снегирь» применена двухзеркальная оптическая система Кассегрена (рис. 3.10).

Обтекатель 1 изготовлен из оптического материала ИК.П-1, прозрачного только для инфракрасного излучения с $\lambda = 1,2 \dots 6$ мкм. Он является обтекателем ракеты и защищает оптическую систему от пыли, влаги, повреждений и теплового воздействия воздушного потока при полете КР.

Асферическое приемное зеркало 2 (антенна) диаметром 220 мм и наклонное вращающееся зеркало 3 диаметром 114 мм фокусируют тепловое излучение в плоскостях фотоприемников канала цели 5 и канала спектральной селекции 6, расположенных в фокальных плоскостях. Зеркало 2 жестко закреплено в корпусе центрального угла, а зеркало 3 наклонено к оптической оси зеркала 2 на угол $21'$ и вращается мотор-генератором со скоростью 6000 об/мин (100 Гц) для модуляции теплового потока.

Интерференционный фильтр ФИ-25 (поз. 4 на рис. 3.10) установлен между фотоприемниками. Он пропускает длинноволновую часть спектра излучения с $\lambda = 3,2$ мкм на фотоприемники 5 канала цели, а излучение с меньшей длиной волны отражает на фотоприемники 6 КСС. Фильтр представляет собой две плоскопараллельные пластины из материала

ИКП-1 со специальным многослойным покрытием, обеспечивающим требуемую спектральную характеристику фильтра.

Германиевое окно-фильтр 9 пропускает на фотоприемник КСС только коротковолновую часть спектра излучения с $\lambda = 2,0 \dots 2,7$ мкм (рис. 3.15).

Сапфировое окно 10 установлено перед фотоприемниками канала цели и прозрачно для излучения с $\lambda < 7$ мкм.

Электромагнитный затвор с заслонкой 12 закрывает оптический тракт во время автономного полета КР.

Фонарь 7 контроля чувствительности (Кч) ТГС с зеркалом 8 имитирует тепловое излучение цели при контроле ТГС. Мощность излучения лампы накаливания фонаря (рис. 3.13) такова, что позволяет имитировать как реальную морскую цель, так и высокотемпературную помеху. Кремниевое окно фонаря пропускает излучение лампы с $\lambda > 1,2$ мкм. Оптическая ось анализатора совпадает с оптической осью приемного зеркала 2.

Тепловой поток от цели и фона собирается оптической системой в фокусе в виде абберационного пятна (изображения). Фокусное расстояние оптической системы $f_{об} = 230$ мм. Освещенность изображения, т. е. способность оптики собирать лучистый поток, характеризуется относительным отверстием — отношением диаметра входного зрачка d к фокусному расстоянию ($d/f_{об}$). Диаметр входного зрачка в ТГС «Снегирь» определяется диаметром приемного зеркала (200 мм) и величиной затенения, создаваемого вращающимся зеркалом, которое уменьшает полезную площадь оптической системы. Площадь рабочей поверхности оптики равна 208 см^2 , относительное отверстие — $1 : 1,15$.

Изображение бесконечно удаленных объектов образуется оптической системой в фокальной плоскости (плоскость изображения), которая перпендикулярна оптической оси и проходит через фокус. В анализаторе ТГС «Снегирь» две плоскости изображения, образуемые прямыми и отраженными от интерференционного фильтра лучами. В плоскостях изображения симметрично относительно фильтра расположены фотоприемники обоих каналов ТГС.

Фотоприемники ТГС. Для преобразования энергии инфракрасного излучения в электрические сигналы в ТГС «Снегирь» используются пленочные полупроводниковые фоторезисторы на основе сульфида свинца PbS. Их изготовляют испарением или осаждением сульфида свинца на стеклянную или кварцевую подложку.

Несмотря на то, что приемники обоих каналов одного типа, их спектральные характеристики, т. е. зависимость чувствительности от длины волны излучения, различны (рис. 3.14), так как они имеют различную температуру.

Фотоприемники КСС имеют максимум чувствительности при длине волн $\lambda = 2,0 \dots 2,7$ мкм. Максимум чувствительности приемников канала цели, благодаря глубокому охлаждению до -193°C (77 К), смещается в область $3,3 \dots 4,0$ мкм, охлаждение позволяет также повысить чувствительность этих приемников за счет уменьшения собственных тепловых шумов.

Приемники канала цели имеют геометрические размеры несколько меньше, чем приемники КСС при той же конфигурации. Как видно из рис. 3.16, проекции приемников на плоскость, перпендикулярную оптической оси, совпадают.

Поскольку фотоприемники расположены симметрично относительно интерференционного фильтра, то совпадают и проекции изображений, создаваемых прямым и отраженным от фильтра потоками, а также окружности, по которым они перемещаются. Увеличение размеров фотоприемников КСС вызвано необходимостью предотвращения захвата ЛТЦ в любой точке зрения ТГС.

Фоторезисторы PbS канала цели подключают к источнику питания $+40$ В последовательно с нагрузочным резистором 150 кОм (рис. 3.17). При облучении фоторезистора вследствие явления фотопроводимости изменяется его электрическое сопротивление. Вызванное этим падение напряжения на нагрузочном резисторе и представляет собой рабочий сигнал, который через емкостную связь подается в усилитель. Каждый фотоприемник канала цели связан со своим каналом усиления и обработки. В КСС используются также два фотоприемника, однако их выходы закорочены и используется только один усилитель. Основные характеристики фотоприемников ТГС приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Наименование характеристик	Ед. измерен.	Приемники канала цели	Приемники КСС
Размеры	мм	$0,7 \times 4,5$	$1,2 \times 4,5$
Вольтовая чувствительность S_u	В/Вт	4000	1100
Пороговый поток $\Phi_{п}$	мкВт	0,01	0,007

Наименование характеристик	Ед. измерен.	Приемники канала цели	Приемники КСС
Темновое сопротивление R_T	МОм	2	0,3
Спектральный диапазон работы, ограниченный собственной чувствительностью (см. рис. 3.15) и фильтрами (см. рис. 3.12, 3.13)	мкм	3,3 ... 4,0	2,0 ... 2,7
Постоянная времени τ	мс	1,0	0,5
Рабочая температура	°С	—(189 ... 194)	+40 ... 45

Темновое сопротивление R_T — это сопротивление чувствительного слоя при отсутствии облучения. От R_T зависит уровень шумов приемника — хаотических сигналов с переменной амплитудой и частотой, случайно возникающих в цепи приемника. Наибольшее влияние в ТГС имеют тепловые, токовые и радиационные (фоновые) шумы.

Тепловые шумы вызываются хаотическим тепловым движением свободных электронов и зависят от рабочей температуры T , полосы частот Δf и темнового сопротивления R_T : $U_{ш} = \sqrt{4kTR_T\Delta f}$, где k — постоянная Больцмана. Токовые шумы вызываются изменением сопротивления цепи приемника при протекании тока. Радиационные (фоновые шумы) связаны с флуктуациями падающего потока.

В общем случае при одинаковой температуре уровень шумов оценивается среднеквадратическим суммарным значением напряжения шума $U_{ш}^2$, которое оказывается пропорциональным площади приемника и полосе пропускания частот электронной схемы усиления сигнала.

Вольтовая чувствительность — это приращение выходного напряжения приемника к вызвавшему его приращению лучистого потока: $S_U = \Delta U / \Delta \Phi$.

Вольтовая чувствительность позволяет оценить как качество самого приемника, так и схему его включения.

Пороговый поток — это минимальный тепловой поток, вызывающий на выходе приемника сигнал, равный напряжению шумов или превышающий его в n раз: $\Phi_n = n\sqrt{U_{ш}^2}/S_U$. Для ТГС «Снегирь» $n=3$.

Постоянная времени τ характеризует инерционность приемника. Это время от начала облучения до момента, когда

выходной сигнал приемника достигает значения 0,63 от максимального. Инерционность приемника определяет максимально возможную частоту модуляции лучистого потока.

Спектральная характеристика приемника определяет эффективность приема излучения от цели с заданным распределением мощности излучения по спектру (рис. 3.14).

У приемников канала цели ТГС «Снегирь» нижняя граница рабочего диапазона (3,3 мкм) ограничена интерференционным фильтром, а верхняя (4 мкм) — чувствительностью охлаждаемого слоя PbS самого фоторезистора. Рабочий диапазон приемника КСС ($\lambda=2,0 \dots 2,7$ мкм) обеспечивается германиевым окном-фильтром.

Фоторезисторы канала цели установлены в приборе ФАД1,5-66СН, а канала спектральной селекции — в приборе ФНУП-66.

Прибор ФАД1,5-66СН (рис. 3.22, 3.23) представляет собой вакуумный криостат 3, в котором размещены пластины фоторезисторов 1 за сапфировым окном 7, теплообменник 5 и датчик температуры 2. Охлаждение приемников производится жидким воздухом, который образуется в теплообменнике — блоке навитых тонкостенных трубок.

Сжатый до 120...200 ат. газ подается через пневморазъемы 6, металлокерамический фильтр и выходит через дроссельное отверстие в теплообменнике 5. При адиабатическом расширении газ охлаждается за счет расхода внутренней энергии газа на преодоление сил сцепления между молекулами. Холодный газ обтекает трубки теплообменника, охлаждая подводимый сжатый газ, в результате чего дросселирование сопровождается все более глубоким охлаждением и получением жидкого воздуха с температурой $-189 \dots 194$ °С.

Для предотвращения запотевания сапфировое окно 7 прибора, прозрачное для ИК-лучей, обогревается нихромовой спиралью.

Датчик 2 представляет собой катушку никелевого провода, сопротивление которого уменьшается пропорционально температуре в теплообменнике. Датчик включен в плечо мостовой схемы автоматического управления системой заливки фотоприемников жидким воздухом и контроля его наличия в криостате. Все элементы схемы, кроме датчика, расположены в аппаратуре контроля ТГС.

Прибор ФНУП-66 представляет собой термостатированный латунный корпус с германиевым окном-фильтром. За окном располагаются фоторезисторы КСС. Термостатирование

корпуса прибора обеспечивает стабилизацию температуры фоторезисторов для поддержания неизменного уровня их шумов при колебаниях температуры окружающей среды. Поддержание постоянной температуры прибора $+40^{\circ}\text{C}$ осуществляется электронной схемой стабилизации путем регулирования тока, протекающего через спираль обогрева. В качестве датчика температуры используется термистор.

3.5.2. Оптическое и приемное устройство (блок СН-1)

Блок СН-1 (рис. 3.24) представляет собой анализатор поля зрения ТГС с приводами курса и высоты.

В состав блока входят: центральный узел ЦУ, привод высоты ПВ, привод курса, схема установки секторов поиска по курсу и схема выработки ступенчатого напряжения поиска по высоте.

ЦУ является анализатором поля зрения ТГС. В его состав входят: оптическая система, приборы ФАД1,5-66СИ, ФНУП-66 и мотор-генератор.

При включении на ТГС $+115\text{ В}$, 400 Гц мотор-генератор начинает вращать сканирующее зеркало. В одном корпусе с мотором смонтирован генератор опорных напряжений (ГОН). ГОН вырабатывает ОН-I и ОН-II, сдвинутые по фазе относительно друг друга на 90° . Амплитуда ОН составляет $21 \dots \dots 23\text{ В}$, период — 10 мс .

Подготовка ЦУ к приему излучения осуществляется по команде 10. Напряжение $+27\text{ В}$ ком. 10 включает электромагнит 5, который открывает заслонку оптического тракта, включает реле 4 и подготавливает цепь прохождения ком. 4. Реле 4 отключает силовую обмотку электромагнита, и он удерживается в рабочем состоянии одной слаботочной обмоткой. По ком. 4 срабатывает реле 3, блокируя цепь ком. 10.

При автоконтроле ТГС с блока СН-7 подается питание на лампу контроля чувствительности «КЧ-1», а также $+27\text{ В}$ «Ком. 4 автоконтр.» на реле 3, которое включает электромагнит 5 и реле 4.

Фотоприемники прибора ФАД1,5-66СН связаны с усилителями основных каналов I и II блока СН-2.

Для исключения запотевания сапфировое окно прибора обогревается нихромовой спиралью, на которую подается $=27\text{ В}$.

Датчик наличия жидкого воздуха в теплообменнике прибора включен в плечо мостовой схемы управления системой подачи сжатого воздуха КПА.

Выходы фотоприемников прибора ФНУП-66 закорочены и связаны с усилителем КСС блока СН-2.

Для стабилизации температуры прибора датчик температуры (термистор) подключает к управляющей сетке лампы регулирующего каскада блока СН-4. Анодный ток лампы, пропорциональный сопротивлению термистора (т. е. температуре прибора), регулирует величину тока магнитного усилителя (в блоке СН-6) через спираль обогрева прибора.

Механизм ПВ состоит из привода высоты, Дв. В и ТГ. В, датчика УНВ 18 и концевых контактов.

В качестве исполнительного двигателя следящего привода используется электродвигатель постоянного тока типа ДП-2-26. Для обеспечения необходимой скоростной характеристики следящего привода применена гибкая отрицательная обратная связь, осуществляемая с помощью тахогенератора типа ТГП-3А.

Концевые контакты КВ1, КВ3 ограничивают сектор поворота ЦУ в пределах $\pm 6^\circ$ при автоконтроле ТГС, отключая в блоке СН-7 управляющее напряжение Дв. В с блока СН-5 от двигателя.

Средние концевые контакты Ср. КВ замыкаются при отклонении ЦУ по высоте в пределах $\pm 40'$ от строительной оси КР и при наличии ком. СК выдают в блок СН-7 +27 В для формирования ком. РГУВ.

Концевые контакты Исх. ПУ замыкаются при отклонении ЦУ по высоте в пределах $\pm 40'$ от строительной оси КР и выдают в КПЛ +27 В сигнала «Исходное ПУ» при наличии сигнала «Исходное курса».

Сдвоенный потенциометрический датчик УНВ ПВ выполнен по мостовой схеме. Балансировка моста осуществляется потенциометром блока СН-4 таким образом, чтобы при совпадении оптической оси ЦУ со строительной осью КР напряжение УНВ равнялось нулю. Установка требуемой крутизны УНВ ($1,8 \pm 0,6$ В на градус отклонения ЦУ от строительной оси КР) осуществляется в блоке СН-4.

До ком. ГС УНВ подаются в блок СН-5 как отрицательная обратная связь для обеспечения ступенчатого поиска по высоте. По ком. СК УНВ подключаются к автопилоту, но подаются на вход канала высоты только по ком. СВ.

Установка сектора поиска по курсу ± 5 , ± 10 , $\pm 15^\circ$ осуществляется перед стартом. В схему установки секторов поиска входят коммутатор, средние контакты курса (Ср. КК) и реле 39, 47 блока СН-1, а также реле 63 блока СН-7. Обмотки реле 39, 47 напряжением -27 В запитываются через контакты реле 63 установки сектора $\pm 15^\circ$.

Коммутатор имеет три пары контактов ограничения сектора поиска в пределах ± 5 , ± 10 , $\pm 15^\circ$, одну пару контактов (4, 9) для выдачи сигнала «Исх. К» и два протяженных контакта 8, 10 для выдачи ком. КК1, КК2 при любом секторе поиска. Подвижные контакты коммутатора связаны с приводом курса. В состав привода входят двигатель Дв. К и тахогенератор ТГ. К.

При установке сектора $\pm 5^\circ$ срабатывает реле 39 и самоблокируется через контакты реле 47, подавая $+27$ В на контакты 3, 5 коммутатора, ограничивающие сектор поиска $\pm 5^\circ$.

На краях сектора $+27$ В с контактов 3 или 5 через протяженные контакты 8, 10 выдается в виде ком. КК1, КК2 соответственно. Эти команды подаются на схему выработки ступенчатого напряжения поиска по высоте в блок СН-5 для реверса Дв. К и в блок СН-7 для отключения Дв. К на концах сектора при автоконтроле ТГС.

Сектор $\pm 5^\circ$ также устанавливается автоматически (независимо от установленного перед стартом) после ком. СК при замыкании Ср. КК для обеспечения повторного поиска. Ком. Ср. КК в блоке СН-7 используется для выработки ком. РГУК на автопилот.

Установку сектора $\pm 10^\circ$ осуществляет реле 47, которое самоблокируется через контакты реле 39 и выдает $+27$ В на ограничивающие контакты 6, 2 коммутатора.

Установка сектора $\pm 15^\circ$ осуществляется включением реле 63 блока СН-7, которое отключает -27 В с обмоток реле 39, 47, а $+27$ В ком. КК1, КК2 выдается с контактов 7, 1 коммутатора.

При включении любого сектора осуществляется разблокировка ранее установленного сектора.

Диоды схемы установки сектора являются развязывающими.

Датчик УНК выполнен по мостовой схеме. Регулировка крутизны УНК осуществляется в блоке СН-4. До ком. 4 УНК подается по цепи отрицательной обратной связи на усилитель мощности курса блока СН-5 для установки и удержа-

ния ЦУ в исходном положении. Подвижные контакты датчика УНК связаны с приводом курса.

Схема выработки ступенчатого напряжения обеспечивает перемещение ЦУ по высоте ступенями по 55...60' на концах установленного сектора поиска по курсу. Один кадр поиска по высоте (4°) имеет четыре ступени перемещения по высоте и пять строк перемещения по курсу (см. рис. 1.6, б).

Ступенчатое напряжение снимается с делителя, одним плечом которого является резистор 15, а другое плечо образуется путем параллельного подключения резисторов 10, 11, 12, 14 по ком. КК1, КК2 с помощью реле 16...21, 23, 28.

В исходном положении все реле схемы обесточены, и напряжение ступени поиска равно нулю, так как +27 В на делитель не подается. Если при этом ЦУ находится в исходном положении по курсу и высоте, то +27 В с контактов реле 38 через контакты 4, 9 коммутатора и контакты реле 38 как сигнал «Исх. К» через контакты механизма ПВ выдается на КПА в виде сигнала «Исх. ПУ».

Подготовка схемы к работе осуществляется подачей +27 В ком. 4 на реле 32, которое подключает +27 В в схему и включает реле 38. Реле 38 разрывает цепь выдачи сигнала «Исх. К» и подготавливает цепь прохождения команды «Оконч. пров. селекции».

Поиск начинается по ком. 4 перемещением ЦУ вниз на 3° и движением его из нижнего положения влево по 1-й строке.

По ком. КК1 с коммутатора срабатывает реле 16 и самоблокируется через контакты реле 31. При этом подготавливается цепь прохождения ком. КК2 на реле 17 и одновременно +27 В подается на резистор 10 делителя. Через переменный резистор 9 напряжение 1 ступени поиска по высоте подается на усилитель мощности блока СН-5. Привод высоты, работающий в пропорциональном режиме, за счет отрицательной обратной связи с датчика УНВ перемещает ЦУ вверх на 55...60'.

В усилителе мощности курса блока СН-5 по ком. КК1 меняется полярность управляющего напряжения Дв. К, и ЦУ отклоняется вправо по 2-й строке.

На конце 2-й строки по ком. КК2 с коммутатора через замыкающие контакты реле 16 включается реле 17, которое самоблокируется через контакты реле 32, 31, 28, подготавливает цепь включения реле 18 по ком. КК1 и подает +27 В на резистор 11. Резистор 11 подключается параллельно резисто-

ру 10, поэтому $U_{ст}$ увеличивается, и привод высоты перемещает ЦУ вверх снова на 55...60' (II ступень).

Аналогично вырабатываются III и IV ступени поиска при включении реле 18 и 19 командами КК2, КК1 соответственно на 3-й и 4-й строках поиска по курсу. Реле 18, 19 самоблокируются и увеличивают $U_{ст}$ за счет дополнительного подключения резисторов 12, 14 параллельно резисторам 10, 11 делителя.

Когда после IV ступени поиска по высоте ЦУ переместится влево по последней 5-й строке, то при очередной команде КК1 через замыкающие контакты реле 19 сработают реле 20, 21, которые самоблокируются через контакты реле 32, 31, 28. Реле 21 разблокирует реле 19, что приведет к отключению резистора 14 и уменьшению $U_{ст}$. При этом ЦУ за счет напряжения отрицательной обратной связи с датчика УНВ переместится вниз на 4-ю строку и начнется осмотр водной поверхности сверху-вниз.

В период автоконтроля ТГС после поиска в пределах одного кадра (снизу-вверх), когда ЦУ переместится с 5-й на 4-ю строку и пройдет нулевое положение по курсу, формируется сигнал «Оконч. пров. селекции» по цепи: -27 В с контактов самоблокировки реле 20 — замыкающие контакты реле 38 — средние контакты 4, 9 коммутатора — замыкающие контакты реле 38. Этот сигнал подается в блок СН-4 на схему формирования ком. «Имит. t_v », а в КПА — для формирования ком. «Оконч. пров. селекции», по которой запирается усилитель КСС. Эта команда привязана к нулевому положению ЦУ, так как при этом УНК и УНВ равны нулю, что необходимо для проверки отработки ком. «Контроль вправо-вверх» и «Контроль влево-вниз».

На конце 4-й строки по ком. КК2 срабатывает и самоблокируется реле 23, которое разблокирует реле 18 и отключит резистор 12 от делителя, что уменьшит $U_{ст}$, и ЦУ переместится на 3-ю строку. На конце 3-й строки по ком. КК1 сработает реле 28, которое самоблокируется, разблокирует реле 23, 21, 17 и отключит резистор 11 от делителя, что приведет снова к уменьшению $U_{ст}$, и ЦУ переместится вниз на 2-ю строку.

На конце 2-й строки по ком. КК2 сработает реле 31, которое разблокирует реле 16 и снимет $+27$ В с резистора 10 делителя. При этом $U_{ст}$ равно нулю, и ЦУ переместится на первую строку и начнет движение влево.

Таким образом, цикл поиска по высоте заканчивается. Так как реле 31 не блокируется, то после снятия ком. КК2 все реле схемы (кроме 32, 38) обесточены и схема готова к новому циклу работы.

3.5.3. Усилитель фототоков (блок СН-2)

Блок СН-2 (рис. 3.25) является импульсным усилителем фототоков и состоит из усилителей сигналов с фотоприемников «Основного канала I», «Основного канала II», «Вспомогат. канала», а также усилителя «Сигнала ком. II», который подключен к фотоприемнику основного канала II.

Усилители основных каналов I и II подключены к фотоприемникам прибора ФАД1,5-66СН и выполнены по аналогичным схемам. Они представляют собой четырехкаскадные усилители на сопротивлениях. Первые два каскада охвачены цепью АРУ.

С делителя на резисторах 2, 3 снимается +40 В и через резистор 4 подается для питания фоторезистора, что увеличивает чувствительность фотоприемника.

При облучении фотоприемника на резисторе 4 образуется отрицательный импульс, который дифференцируется, и положительный импульс, соответствующий заднему фронту импульса с фоторезистора, усиливается. Дифференцирование необходимо для повышения крутизны переднего фронта импульса, так как передний фронт импульса с фотоприемника растянут из-за большой постоянной времени охлаждаемого фоторезистора PbS .

Усиленные положительные импульсы (рис. 3.25, б) сигналов «Осн. кан. I» и «Осн. кан. II» с выходных катодных повторителей подаются на основные каналы блока СН-3, а также на пульт СНВ-2 для контроля.

Общий коэффициент усиления каждого усилителя — не менее 20 000. Регулировка усиления производится при настройке ТГС.

Частотная характеристика усилителей основного канала показана на рис. 3.25, а.

Схема АРУ выполнена с задержкой и начинает работать при амплитуде входного сигнала в 2-3 раза выше пороговой.

По ком. «Имит. t_v » осуществляется загрубление усилителей основных каналов для улучшения условий их работы при мощном тепловом потоке от высокотемпературных помех и больших входных сигналах. При этом в блоке СН-7 срабаты-

вадет реле 62, образуя делитель на резисторах 44, 58, подключенный к -27 В «Обогрев $=27$ В» с блока СН-6 и к корпусу (-150 В). Отрицательное смещение с делителей через резисторы 55, 57 по цепям АРУ-1, АРУ-11 скачком уменьшает усиление каналов в 4...6 раз.

На усилитель «Сигн. ком. II» подаются импульсы с фотоприемника основного канала II. Так как ком. II вырабатывается при вполне определенной длительности импульсов, то применен широкополосный трехкаскадный усилитель с эффективно действующей системой АРУ, обеспечивающий усиление сигналов без искажения их длительности. Коэффициент усиления — не менее 300. Частотная характеристика ком. II показана на рис. 3.25, а.

Сигналы ком. II подаются на схему выработки ком. III блока СН-4 и на пульт СНВ-2 для контроля.

На четырехкаскадный, без схемы АРУ, усилитель КСС («Вспомогат. канал») подаются импульсы с обоих фотоприемников прибора ФНУП-66. Входная цепь усилителя КСС аналогична входным цепям усилителей основных каналов. Регулировка усиления производится при настройке ТГС. Коэффициент усиления — не менее 20 000. Частотные характеристики усилителя КСС и усилителей основных каналов идентичны. Сигналы «Вспом. канала» подаются на каскады блокировки КСС блока СН-3 и на пульт СНВ-2 для контроля.

Выключение усилителя КСС осуществляется по ком. «Выкл. селекции» при автоконтроле ТГС и по ком. УР-2. При этом в блоке СН-7 срабатывают реле 68 или 67, которые цепь выключения вспомогательного канала отсоединяют от корпуса (-150 В) и подключают ее через резистор 64 к -27 В «Обогрев $=27$ В», запирая усилитель КСС.

3.5.4. Блок селекции, захвата и выделения ошибки СН-3

Блок СН-3 (рис. 3.26) обеспечивает селекцию сигналов целей по длительности, спектру и частоте повторения, а также выработку сигнала захвата и напряжений угловой ошибки сопровождения цели по курсу и высоте.

Блок состоит из двух аналогично работающих каналов, каждый из которых связан со своим фотоприемником канала цели прибора ФАД. Общими для обоих каналов являются каскады блокировки КСС, связанные с фотоприемниками КСС прибора ФНУП-66, схема выработки сигнала ГС (сигнал захвата цели) и схема преобразования координат.

Работа селекторов по длительности, спектру и частоте повторения (рис. 3.26, а, б).

Импульсы с выхода основного канала I блока СН-2 поступают по двум цепям:

— через усилитель-ограничитель, катодный повторитель на селектор по длительности: усиливаются, ограничиваются по амплитуде, а отрицательные импульсы с длительностью, равной длительности импульсов с блока СН-2 на уровне $0,1 U_{\text{макс}}$, производят «смещение» (запирание) диода 40 схемы селекции по длительности на время своего действия;

— через каскад формирования рабочих импульсов на селектор по частоте повторения запускают фантастронный генератор прямоугольных импульсов схемы формирования рабочих импульсов (рис. 3.26, а).

До ком. ГС реле 11 включено, и его контакты закорачивают резистор 5 входной цепи генератора, поэтому запуск генератора осуществляется уменьшенными по амплитуде импульсами блока СН-2, снимаемыми с делителя на резисторах 4, 7, что повышает порог обнаружения и захвата.

По ком. ГС реле 11 отпускает, и запуск генератора осуществляется импульсами с блока СН-2 без деления, т. е. увеличенными по амплитуде в 1,35 раза, что снижает порог сопровождения.

Высокий порог обнаружения и захвата уменьшает вероятность ложной тревоги (ложного срабатывания схемы захвата). Снижение порога сопровождения увеличивает вероятность устойчивого сопровождения цели при флюктуациях импульсов с выхода блока СН-2, которые вызываются флюктуациями теплового потока от цели, неоднородной чувствительностью фотопроводящего слоя фоторезисторов, нестабильностью питающих напряжений и другими факторами.

Положительные импульсы длительностью 1,8 мс с выхода генератора дифференцируются RC-цепочкой 19, 22. Продифференцированные отрицательные импульсы, соответствующие заднему фронту импульсов генератора, шунтируются на корпус блока (-150 В) через диод 18, а положительные импульсы, соответствующие переднему фронту импульсов генератора, запускают генератор калиброванных импульсов (ГКИ).

Примечание. Все RC-цепочки, показанные на рис. 3.26, являются дифференцирующими, а диоды, включенные параллельно резисторам, шунтируют отрицательные импульсы после дифференцирования.

Калиброванные отрицательные импульсы длительностью 1,5 мс дифференцируются, и положительные импульсы, соответствующие заднему фронту калиброванных импульсов, через резистор 44 поступают на диод 40 селектора по длительности. Это и есть рабочие импульсы, задержанные относительно переднего фронта импульсов цели с блока СН-2 на 1,5 мс. Задержка рабочих импульсов обеспечивает их надежную блокировку каналом спектральной селекции.

Если длительность импульсов с блока СН-2 меньше 1,5 мс (реальная цель), то рабочие импульсы по времени не совпадают с импульсами усилителя-ограничителя, диод селектора открыт, а рабочие импульсы выделяются на нагрузке (резистор 42) и поступают на селектор по частоте повторения. Если же длительность импульсов более 1,5 мс (протяженная помеха), то во время подачи рабочих импульсов диод 40 селектора закрыт отрицательными импульсами цели с усилителя-ограничителя и на выход селектора рабочие импульсы не поступают.

Таким образом, осуществляется селекция реальных целей от протяженных помех.

Если в поле зрения ТГС попадает высокотемпературная помеха, то рабочие импульсы в основных каналах будут поступать на выход селекторов по длительности так же, как и от реальной цели, но они будут подавляться селектором по спектру (рис. 3.26, б).

До прихода импульсов со вспомогательного канала блока СН-2 генераторы каскадов блокировки КСС не работают. При этом диоды 58, 59, 132, 133 заперты положительным смещением с катодных нагрузок генераторов и рабочие импульсы через них не проходят. При наличии высокотемпературной помехи импульсы вспомогательного канала одновременно запускают генераторы каскадов блокировки КСС. Один из генераторов вырабатывает отрицательные импульсы длительностью 8 мс, а другой — 5 мс. В течение всей длительности этих импульсов положительное запирающее напряжение с диодов 58, 59, 132, 133 снимается, и рабочие импульсы с выходов селекторов по длительности шунтируются через катодные нагрузки генераторов на корпус (-150 В), а на селектор по частоте повторения и в другие цепи блока СН-3 не поступают.

Так как рабочие импульсы отстают от импульсов основных каналов на 1,5 мс, а импульсы с фотоприемников основного и вспомогательного каналов появляются практически

одновременно, то блокирующие импульсы генераторов КСС опережают рабочие импульсы и надежно блокируют основные каналы.

Два генератора с различной длительностью импульсов в каскаде блокировки КСС применены для предотвращения «пролезания» рабочих импульсов, появившихся во время восстановления генератора с большей длительностью импульсов. Во время восстановления генератора запускающие импульсы не вызывают его срабатывания.

Отрицательные импульсы генераторов КСС поступают также в схему выработки ком. «Имит. t_v » блока СН-4.

По ком. «Отключение блокировки», которая может выдаваться с КПА или с блока СН-4 при наличии ком. УР-1 или «Имит. t_v », в блоке СН-3 срабатывают реле 57, 131, и рабочие импульсы через их контакты подаются сразу же на селектор по частоте повторения, минуя селекторы по длительности и спектру.

Селекторы по частоте повторения представляют собой фантастронные генераторы с длительностью импульсов 7,5 мс (рис. 3,26, в) и служат для стробирования захваченной цели.

До запуска генераторов СЧП рабочими импульсами положительное напряжение с их катодных нагрузок запирает диоды 158, 227 во входных цепях схем формирования рабочих импульсов, и импульсы целей с основных каналов блока СН-2 через них не проходят. На каждый рабочий импульс генераторы вырабатывают два импульса одновременно: отрицательный в цепи катода и положительный в цепи экранной сетки. Длительность обоих импульсов — 7,5 мс.

При понижении напряжения в катодной нагрузке запирающие напряжения с диодов 158, 227 снимаются. Вследствие этого импульсы целей через диоды и катодные нагрузки генераторов шунтируются на корпус (-150 В) и на запуск промежуточного генератора схемы формирования рабочих импульсов не поступают, а следовательно, рабочие импульсы вырабатываться не могут.

Так как рабочие импульсы задержаны относительно импульсов целей на 1,5 мс, то за один период повторения импульсов от данной цели (10 мс) схема формирования рабочих импульсов оказывается закрытой на время, равное $1,5 \text{ мс} + 7,5 \text{ мс} = 9 \text{ мс}$. Импульсы от других целей, поступившие в это время, схему формирования рабочих импульсов запустить не могут, а значит, вероятность перескока захвата с одной цели на другую значительно уменьшается.

Выработка сигнала ГС. Положительные импульсы с экранной нагрузки генератора СЧП (рис. 3.26, з) дифференцируются и передним фронтом запускают генератор нормализатора. Генератор вырабатывает положительные импульсы, длительность которых равна половине периода повторения импульсов цели (5 мс), а фаза определяется положением цели относительно оптической оси (т. е. моментом появления рабочих импульсов). Эти импульсы поступают на парафазный усилитель схемы разделения, с катодных нагрузок которого снимаются положительные и отрицательные импульсы. Отрицательные импульсы через катодный повторитель выдаются на фазовые детекторы, а положительные используются для выработки сигнала ГС.

Условием захвата цели является пересечение изображением цели обоих фотоприемников канала цели за один оборот сканирующего зеркала. Из-за V-образного расположения фотоприемников временные процессы в основных каналах блока СН-3 смещены по времени в зависимости от положения цели. Поскольку на каждый импульс цели с фотоприемника вырабатывается нормализованный 5-мс импульс (половина периода повторения импульсов цели), то условием выработки сигнала ГС является хотя бы частичное совпадение 5-мс импульсов обоих основных каналов.

Схема выработки сигнала ГС представляет собой схему совпадения положительных 5-мс импульсов. Диод 259 схемы совпадения при отсутствии импульса с канала 2 открыт для импульса с канала 1, и он через диод и катодную нагрузку канала 2 шунтируется на корпус (-150 В). На нагрузке схемы совпадения (резистор 276) импульс в этом случае не выделяется — нет сигнала ГС. Положительным импульсом канала 2 диод закрывается на время действия 5-мс импульса.

В этом случае часть импульса канала 1, совпадающая с импульсом канала 2, выделяется на резисторе 276 в виде «Сигнала ГС», а остальная часть шунтируется, так как диод 259 открывается. Длительность положительного импульса «Сигнала ГС» может меняться от 0 до 5 мс в зависимости от углового положения цели относительно оптической оси. Если цель находится на оптической оси, то длительность импульса «Сигнала ГС» равна 2,5 мс.

Выработка управляющих напряжений приводов курса и высоты. Управляющие напряжения, пропорциональные углу между линией визирования цели и оптической осью ТГС (в координатах фотоприемников), вырабатываются в фазо-

вых детекторах каналов 1 и 2 из отрицательных 5-мс импульсов и опорных напряжений. С помощью схемы преобразования координат эти напряжения преобразуются в два напряжения, пропорциональные угловому отклонению цели по курсу и высоте соответственно в координатах управления КР.

До команды ГС выходы фазовых детекторов с помощью реле 212, 213, 285, 286 закорочены по цепи -150 В, предотвращая выработку управляющих напряжений по информации одного из каналов, что возможно до захвата цели.

Принцип выделения угловой ошибки сопровождения цели рассмотрен в подразд. 3.5. Эпюры напряжений приведены на рис. 3.21.

3.5.5. Блок автоматики СН-4

Блок СН-4 (рис. 3.27) вырабатывает: ком. ГС и напряжение поиска П1 по курсу; ком. СК и ЦП; УР-1 и УР-2; «Имит. t_v »; ком. 11.

В соответствии с решаемыми задачами в состав блока входят и функциональные узлы. Кроме того, в состав блока конструктивно включена часть схемы стабилизации температуры корпуса прибора ФНУП-66, схема балансировки УНВ и регулирования крутизны УНВ и УНК.

Выработка напряжения поиска, команд, ГС, СК, ЦП, УР-1, УР-2 и «Имит. t_v ». Положительные импульсы сигнала ГС с блока СН-3 дифференцируются и передним фронтом запускают генератор, который преобразует импульсы ком. ГС переменной длительности в импульсы длительностью 2 мс.

По ком. 4 выход генератора расшунтируется, подготавливая цепи выдачи команды ГС. Исполнительным элементом схемы является мультивибратор, в анодную цепь правой половины которого включено реле, а с катодной нагрузки снимается положительное напряжение поиска П1 по курсу. До появления 2-мс импульсов (сигналов ГС) реле включено, так как правая половина лампы мультивибратора открыта. При этом контакты реле выдают в цепь ком. ГС напряжение $+27$ В, свидетельствующее об отсутствии ком. ГС.

Импульсы генератора вызывают срабатывание мультивибратора. Его правая половина лампы запирается, и реле отпускает, выдавая ком. ГС в виде снятия напряжения $+27$ В. По этой команде левая половина лампы мультивибратора отключается, а правая переводится в режим усилителя, и катод лампы подключается непосредственно на кор-

пус, что приводит к снятию напряжения поиска. ТГС переходит из режима поиска в режим захвата и сопровождения цели.

Последующие 2-мс импульсы генератора заряжают конденсатор RC-цепочки памяти ком. ГС. Благодаря наличию «памяти» в течение 0,2...0,6 с после пропадания сигналов ГС, лампа остается запертой, реле обесточено, и ком. ГС продолжает выдаваться. Если по истечении времени памяти сигналы ГС не появились вновь, то схема приходит в исходное состояние и снова начинается поиск цели.

После ком. ГС с задержкой в 0,7...1,4 с срабатывает релейный каскад ком. СК. При этом отключается +27 В ком. ЦП и выдается +27 В ком. СК в блоки СН-7, СН-1 и в автопилот. В блоке СН-4 по ком. СК разблокируются усилитель и исполнительные схемы команд УР-1, УР-2.

Импульс цели «Основного канала I» блока СН-2 в схеме выработки ком. УР-1, УР-2 усиливается двумя каскадами, детектируется и поступает на лампы исполнительных схем, которые заперты отрицательным напряжением смещения различной величины. Величина протектированного напряжения пропорциональна амплитуде импульса цели, т. е. величине теплового потока от цели. При возрастании теплового потока от цели в 2-3 раза выше порогового уровня открывается лампа исполнительной схемы ком. УР-1, а в 50...100 раз — лампа исполнительной схемы ком. УР-2. Регулировка чувствительности ком. УР-1 осуществляется потенциометром УР-1. Ком. УР-1 и УР-2 выдаются только при наличии ком. СК. Через разделительный диод +27 В ком. УР-1 поступает в блок СН-3 для отключения селекторов по длительности и спектру, а -27 В ком. УР-2 разблокируют схему выработки ком. 11 и поступят в блок СН-7 для выработки напряжения запирающего усилителя КСС блока СН-2.

В состав функциональной схемы выработки ком. «Имит. t_v » входят: релейный каскад импульсов КСС; релейная схема совпадения команд ЦП, окончание проверки селекции, ком. 4, ком. t_v ; схема памяти. Ком. «Имит. t_v » в виде напряжения -27 В выдается в блок СН-7 для выработки напряжения загробления коэффициента усиления основных каналов блока СН-2, а через разделительный диод — в цепь ком. УР-1 для отключения селекторов по длительности и спектру блока СН-3, создавая таким образом условия для захвата источника высокотемпературного излучения.

Принцип выработки ком. «Имит. t_v » рассмотрен при описании работы функциональной схемы ТГС в режиме сопровождения.

Формирование команды 11 «Принижение». Ком. 11 вырабатывается при наличии ком. УР-2 и достижении импульсом цели определенной длительности.

Импульс цели со второго фотоприемника прибора ФАД усиливается в блоке СН-2 и практически без искажения по длительности поступает на двухкаскадный усилитель-ограничитель схемы выработки ком. 11.

Усиленные и ограниченные противофазные импульсы (рис. 3.27, а, б), имеющие длительность импульсов цели, дифференцируются и запускают фантастронные генераторы, отрицательные импульсы которых поступают на схему совпадения (диоды 128, 133, резистор 140) одновременно с положительным растянутым импульсом. Генератор 1 запускается передним, а генератор 2 — задним фронтом продифференцированных импульсов цели и, таким образом, расстояние между их передними фронтами равно длительности импульсов цели.

Длительность калиброванных импульсов генератора 1 устанавливается потенциометром «Ком. 11» равной длительности импульса цели на дальности выдачи ком. 11.

При отсутствии импульсов генераторов диоды 128, 133 заперты положительным смещением с катодных нагрузок диодов. Во время отрицательных импульсов генераторов открываются диоды, при этом растянутый импульс шунтируется через диоды и катодные нагрузки генераторов на корпус и на нагрузку (резистор 140) не выделяется.

На больших дальностях до цели импульсы генераторов перекрываются, так как длительность импульсов цели меньше длительности калиброванного импульса генератора 1. Поэтому растянутый импульс шунтируется полностью и ком. 11 не вырабатывается (рис. 3.27, а).

При подлете КР к цели ее угловые размеры возрастают и возрастает длительность импульсов цели, увеличивая задержку импульсов генератора 2. Когда импульсы генераторов перестанут перекрываться, то на резисторе 140 схемы совпадения выделится та часть растянутого импульса, которая лежит между задним фронтом импульса генератора 1 и передним фронтом импульса генератора 2, так как в это время оба диода закрыты (рис. 3.27, б). Положительные импульсы ком. 11 через диод 134 в блоке СН-3 селективируются

по частоте повторения для уменьшения вероятности случайной их выдачи. Если при этом они не шунтируются на корпус катодной нагрузкой генератора СЧП канала 1 блока СН-3, то в блоке СН-4 они запускают нормализатор — генератор импульсов с постоянной длительностью 1,3 мс. Эти импульсы поступают на детектор-накопитель, напряжение на выходе которого после десяти импульсов подряд превышает напряжение запирающей лампы исполнительной схемы ком. 11. При этом лампа открывается и включает реле, которое выдает —27 В ком. 11 при наличии ком. УР-2. Ком. 11 через программный механизм КР поступает в автопилот для дополнительной закладки рулей высоты вниз с целью попадания КР в борт корабля, а не в его трубу.

Работа схем регулировки крутизны УНК и УНВ, балансировки УНВ и стабилизации температуры корпуса прибора ФНУП-66 рассмотрена при описании блока СН-1.

3.5.6. Блок усилителей мощности СН-5

Блок СН-5 (рис. 3.28) служит для суммирования входных управляющих напряжений следящих приводов курса и высоты, усиления их по мощности и регулирования скорости и стороны вращения двигателей курса и высоты блока СН-1.

В соответствии с решаемыми задачами блок имеет каналы курса и высоты. Функциональные схемы каналов одинаковы и отличаются только количеством входных сигналов и схемами коммутации. Коммутирующие элементы на схеме показаны в виде контактов реле с обозначением команд управления (сами реле не показаны).

От усилителей мощности блока ДС-6С РГС ДСМ-А функциональная схема блока ДС-5С отличается наличием балансного УНТ со схемами суммирования и коммутации. Широтно-импульсный модулятор каждого канала преобразует управляющие напряжения постоянного тока в импульсы, длительность которых пропорциональна суммарному управляющему напряжению. Модулятор представляет собой магнитный усилитель на двух дросселях насыщения.

На управляющие обмотки дросселей подаются входные управляющие напряжения постоянного тока, в том числе с балансного УПТ.

Для обеспечения линейной зависимости скорости вращения двигателей приводов от величины суммарного управляющего напряжения на вход УПТ с тахогенератора подается

напряжение гибкой отрицательной обратной связи (ТГ.К и ТГ.В). Изменение коэффициента демпфирования и симметрирования напряжения тахогенератора высоты между лампами балансного УПТ осуществляется потенциометром 10 «Демпфир. высоты». По ком. ГС коэффициент демпфирования уменьшается. Аналогично регулируется коэффициент демпфирования в канале курса (на рисунке не показано).

На рабочие обмотки модуляторов подаются симметричные меандры напряжения частоты 400 Гц, формируемые из напряжения ~ 115 В. Выпрямленные напряжения меандра используются для питания триггеров и выходных каскадов. Для предотвращения выхода из строя полупроводниковых триодов выходных каскадов напряжение $= 27$ В подается на них контактами реле 133, 134 и 38, 39 только при наличии напряжения -115 В.

Триггеры обеспечивают более крутые фронты импульсов модуляторов, а также коммутацию выходных каскадов.

Выходные каскады выполнены по мостовой схеме на полупроводниковых триодах в режиме переключения. В диагонали мостов включены двигатели курса и высоты соответственно. Выходные каскады усиливают мощность управляющих сигналов триггеров и регулируют скорость и сторону вращения двигателей. Реверсирование осуществляется без разрыва цепи питания двигателей благодаря мостовой схеме включения выходных каскадов.

Эпюры напряжений в различных точках схемы такие же, как и в блоке ДС-6С РГС ДСМ-А (рис. 2.52).

При отсутствии управляющих напряжений с блока СН-3 на двигатель подается симметричный меандр частоты 400 Гц, возбуждаемый током рабочих обмоток модулятора. При этом положительная и отрицательная полуволны напряжений одинаковы, средний ток через двигатель равен нулю, и он не работает.

При взаимодействии магнитных потоков рабочих и управляющих обмоток модулятора симметрия выходных напряжений нарушается. Временное соотношение между положительными и отрицательными импульсами выходного каскада определяется величиной и полярностью суммарного входного управляющего напряжения. При этом через двигатель будет протекать средний ток, пропорциональный по величине соотношению между импульсами, благодаря чему будет регулироваться скорость и сторона вращения двигателя.

Работа канала курса. До ком. 4 привод курса работает в пропорциональном режиме. При этом на управляющую обмотку модулятора по цепи отрицательной обратной связи подается напряжение с датчика УНК блока СН-1 для удержания центрального узла в исходном положении по курсу. На вход УПТ управляющие напряжения не подаются, и разбаланс токов на его выходе равен нулю. Балансировка УПТ осуществляется потенциометром в катодной цепи обеих ламп УПТ.

В режиме поиска по ком. 4 УНК отключается, и привод переводится в интегрирующий режим работы для обеспечения постоянства скорости поиска во всем секторе и наведения центрального узла на цель в режиме сопровождения.

С блока СН-4 (через блок СН-7) на одну из ламп УПТ через схему переключения подается напряжение поиска П1. Благодаря разбалансу УПТ в управляющей обмотке модулятора возникает ток, и двигатель перемещает центральный узел по курсу. На концах сектора поиска по ком. КК1, КК2 с коммутатора блока СН-1 напряжение поиска переключается на другое плечо УПТ. Возникает разбаланс УПТ противоположной полярности, и двигатель отработывает в противоположную сторону.

По ком. ГС напряжение поиска отключается, и на вход УПТ подаются управляющие напряжения со схемы выделения ошибки блока СН-3.

При автоконтроле ТГС для проверки работы приводов на УПТ подается напряжение поиска П2 с блока СН-7, а не с блока СН-4. При выдаче на схему переключения ком. «Контроль вправо-вверх» это напряжение создает разбаланс, заставляющий двигатель перемещать ЦУ вправо. На конце сектора 15° по ком. КК2 с коммутатора блока СН-1 схема переключения выдает в блок СН-7 ком. «Автоматическое выключение Дв. К». В блоке СН-7 цепь питания двигателя разрывается, и он останавливается.

При снятии ком. «Контроль вправо-вверх» напряжение поиска П2 подается на другое плечо УПТ для создания разбаланса влево. Выключение двигателя на конце сектора влево осуществляется по команде КК1 с коммутатора на блок СН-7 при наличии ком. «Контроль влево-вниз».

При снятии ком. «Контроль» напряжение поиска П2 отключается. При снятии ком. 4 под действием УНК привод курса устанавливается в исходное.

Работа канала высоты. До команды ГС привод высоты работает в пропорциональном режиме.

При подаче питания на ТГС под действием напряжения отрицательной обратной связи с датчика УНВ блока СН-1 двигатель устанавливает центральный узел блока СН-1 в исходное положение по высоте.

По ком. 4 увеличивается коэффициент обратной связи шунтированием резистора 103 в цепи УНВ-3, а на модулятор подаются напряжение «Склон» с потенциометра 54 и ступенчатое напряжение с блока СН-1. Так как привод работает в пропорциональном режиме, то под действием напряжения «Склон» двигатель переместит центральный узел блока СН-1 на 3° вниз от исходного положения. Потенциометром «Склон» 54 сектор поиска по высоте может смещаться в пределах $\pm 1,5^\circ$ относительно строительной оси КР без изменения его величины 4° .

На концах сектора поиска по курсу напряжения ступеньки изменяется таким образом, что разбаланс управляющих токов устраняется при отклонении центрального узла на $55 \dots 60'$. Благодаря этому осуществляется покадровый просмотр водной поверхности перемещением центрального узла по высоте на $55 \dots 60'$ на концах сектора поиска по курсу.

По ком. ГС привод переводится в интегрирующий режим работы (отключается отрицательная обратная связь). При этом отключается ступенчатое напряжение, в блоке СН-3 разрывается цепь отрицательной обратной связи, и двигатель привода останавливается. При наличии управляющих напряжений со схемы выделения ошибки блока СН-3 двигатель отклоняет центральный узел на цель, сводя ошибку расогласования по высоте к нулю.

При автоконтроле ТГС с блока СН-7 на УПТ подается напряжение слежения. При наличии ком. «Контроль вправо-вверх» это напряжение подается на нижнюю (по схеме) лампу УПТ, а при ее снятии — на верхнюю. Разбаланс УПТ приводит к тому, что двигатель отклоняет центральный узел вначале вверх, затем вниз. Выключение двигателя на концах сектора осуществляется по ком. КВ1, КВ3 с механизма ПВ на блок СН-7, где разрывается цепь питания двигателя при наличии ком. «Контроль».

При снятии ком. «Контроль» и 4 под действием УНВ с датчика блока СН-1 двигатель перемещает центральный узел в исходное положение и удерживает его до ком. 4.

3.5.7. Блок питания СН-6

Блок СН-6 является блоком питания ТГС. Из напряжения $+115$ В, 400 Гц блок вырабатывает:

$\sim 6,3$ В (1) — для питания цепей накала ламп блоков СН-4, СН-5;

$\sim 6,3$ В (2) — для питания цепей накала ламп блоков СН-2, СН-3;

$= 6,3$ В — для питания цепей накала ламп первых каскадов усилителей блока СН-2. Напряжение накала может регулироваться;

$= 250$ В — для питания окончных ламп усилителей блока СН-2;

$= 150$ В стаб — для питания ламп блоков СН-3, СН-5;

$= 160$ В стаб. — для питания ламп блока СН-4;

$= 155$ В стаб. — для питания ламп усилителей блока СН-2 (кроме окончных);

«Обогрев $= 27$ В» — для запитывания спирали обогрева окна прибора ФАД. Кроме того, -27 В этого напряжения ($+27$ В заземляется) используется для запираания усилителя КСС и уменьшения усиления основных каналов блока СН-2.

В блоке СН-6 размещаются также дроссель насыщения, выпрямитель и фильтр, обеспечивающие стабилизацию температуры корпуса прибора ФНУП-66.

3.5.8. Распределительное устройство (блок СН-7)

Блок СН-7 (рис. 3.29) является коммутационно-распределительным устройством ТГС. С помощью клеммных плат и разъемов он осуществляет междублочную связь ТГС и ее связь с аппаратурой КР и КПА (см. рис. 3.9).

Релейная схема коммутации блока включает в себя элементы схемы автоматики ТГС (см. рис. 3.28). Рассмотрим работу схемы в режиме автоконтроля ТГС.

При включении питания ТГС напряжение $= 27$ В подается на электродвигатели вентиляторов обдува ТГС а напряжение ~ 115 В — на электродвигатель сканирующего зеркала блока СН-1 через контакты реле 77. (Реле 77 отключает питание двигателя по команде с пульта СНВ-2.) Кроме того, с КПА выдается команда подачи сжатого воздуха на прибор ФАД-1,5 для охлаждения фотосопротивлений канала цели.

При автоконтроле ТГС с пульта СНВ-2 на блок СН-7 подаются ком. «Сектор $\pm 15^\circ$ », «Вкл. Кч», 4, а на блок СН-1 —

«Ком. 4 при автоконтр.», поступающая в цепь ком. 10 для открывания заслонки оптического тракта.

По ком. «Сектор $\pm 15^\circ$ » реле 63 отключает -27 В цепи установки секторов поиска ± 10 и $\pm 5^\circ$ и в блоке СН-1 устанавливается сектор поиска $\pm 15^\circ$.

По ком. «Вкл. Кч» реле 97 подает $+27$ В для питания лампы Кч имитации цели блока СН-1. Установка величины питающего напряжения осуществляется резисторами 49, 94 и стабилитроном 95. Мощность излучения лампы Кч устанавливается такой, чтобы работал канал спектральной селекции ТГС, каналы цели и вырабатывалась ком. УР-1.

По ком. 4 реле 76 подает $+27$ В ком. 4 в блоки ТГС. При этом напряжение П1 поиска по курсу из блока СН-4 через контакты реле 93, 92 блока СН-7 и ступенчатое напряжение из блока СН-1 подаются в блок СН-5. Центральный узел начинает поиск по высоте и курсу. Если КСС ТГС работает, то захвата цели происходить не должно. После просмотра одного кадра снизу-вверх ЦУ начинает перемещаться вниз. Когда он совместится с положением строительной оси КР, со средних контактов курса на КПА выдается сигнал «Оконч. пров. селекции». По этому сигналу с КПА выдаются команды: «Выкл. селекции» на реле 67, «Контроль вправо-вверх» на реле 82, 81, 104; «Контроль влево-вниз» на реле 92, 84, 83, 53, 54. Реле 67 отключает от корпуса -150 В цепи выключения вспомогательного канала, и на усилитель КСС блока СН-2 через резистор 64 подается -27 В, запирая его. (Напряжение запираения выдается также по ком. УР-2 на реле 68.)

При выключенном КСС происходит захват излучения лампы Кч, и блок СН-4 вырабатывает ком. ГС, СК, УР-1, а центральный узел прекращает поиск.

Ком. СВ на автопилот в виде напряжения -27 В вырабатывается в блоке СН-7 при наличии ком. УР-1 на реле 75 и $+27$ В ком. СК со средних контактов курса на реле 74, 72. Реле 73 блокирует реле 73, 72 напряжением $+27$ В ком. СК. (Реле 75 включается также по ком. t_0 от программного механизма КР, подготавливая цепь выдачи ком. СВ при отсутствии ком. УР-1). Поскольку при автоконтроле ЦУ может прекратить поиск за пределами средних контактов курса, то ком. СВ при наличии ком. УР-1 дублируется контактами реле 104 ком. «Контроль вправо-вверх».

Ком. РГУК и РГУВ в виде напряжений -27 В вырабатываются реле 51, 52 по командам со средних контактов кур-

са и высоты блока СН-1. Однако при автоконтроле реле 53 ком. «Контроль влево-вниз» разрывает цепь выдачи этих команд на автопилот.

По ком. СК реле 70 подключает УНВ с датчика блока СН-1 на автопилот, а реле 93 разрывает цепь напряжения П1 поиска по курсу и подготавливает цепь выдачи напряжения П2 и напряжения «слежения» в каналы курса и высоты блока СН-5 для имитации управляющих напряжений с фазовых детекторов блока СН-3. При автоконтроле реле 54 ком. «Контроль влево-вниз» подключает +27 В в цепь ком. ГС блока СН-3, имитируя отсутствие ком. ГС с блока СН-4. При этом выходы фазовых детекторов блока СН-3 остаются замкнутыми на корпус, и управляющие напряжения в блок СН-5 не подключаются. Для отработки приводами курса и высоты ком. «Контроль вправо-вверх», «Контроль влево-вниз» реле 92 подключает напряжения П2 и «слежения» на плечи балансных УПТ каналов курса и высоты блока СН-5. При наличии ком. «Контроль вправо-вверх» осуществляется разбаланс для отработки центрального узла «Вправо и вверх». На концах секторов по командам с концевых контактов КК2 и КВ3 через замыкающие контакты реле 82, 81, 84, 83 срабатывают реле 91, 90. Реле отключают цепи УНДК2 и УНДВ2 от двигателей курса и высоты соответственно, и центральный узел останавливается вправо-вверху. По ком. «Выкл. Дв. К» и «Выкл. Дв. В» пульт СНВ-2 снимает ком. «Контроль вправо-вверх», в блоке СН-7 отпускают реле 82, 81, 104, а в блоке СН-5 напряжения П2 и «слежения» переключаются на противоположные плечи УПТ. Начинается отработка разбаланса влево-вниз. На концах секторов по командам с концевых контактов КК1, КВ1 блока СН-1 снова срабатывают реле 91, 90, выключая питание двигателей приводов, а пульт СНВ-2 снимает ком. «Контроль влево-вниз», «Включ. Кч-1» и ком. 4 с ТГС. Происходит срыв захвата, отключаются ком. ГС, СК, УР-1, и все элементы блока СН-7 приходят в исходное.

Центральный узел под действием УНК и УНВ с датчиков блока СН-1 возвращается в исходное положение. С ТГС на пульт СНВ-2 выдаются сигналы «Исх. ПУ» и «ЦП». Если при этом в приборе ФАД-1,5 имеется достаточный запас жидкого воздуха для охлаждения фотосопротивлений, то в КПА формируется сигнал «Аппаратура исправна».

Примечания: 1. По ком. 10 с пульта СНВ-2 или программного механизма в блоке СН-7 срабатывает реле 69, подавая +27 В для открытия за-

слонки оптического тракта. 2. По ком. «Имит. t_v » срабатывает реле 62, образуя делитель на резисторах 44, 58, подключенный к -27 В с блока СН-6 и к корпусу (-150 В). Отрицательное смещение с делителей через резисторы 55, 57 по цепям АРУ-1, АРУ-2 скачком уменьшают усиление основных каналов блока СН-2 в 4...6 раз. 3. Включение реле 91, 92 выключения двигателей курса и высоты может осуществляться с пульта СНВ-2.

4. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ И РАБОТА АВТОПИЛОТА КР

4.1. Структурная схема автопилота и решаемые им задачи.

Параметры автопилота

Для обеспечения попадания ракеты в цель необходимо формировать требуемую траекторию полета, для чего определенным образом отклонять рулевые органы КР. Отклонение рулевых органов ракеты производится под воздействием двух типов сигналов.

1. Сигналов, предназначенных для стабилизации осей и центра масс КР определенным образом в пространстве. Они формируются чувствительными элементами АП, измеряющими значения тех параметров движения ракеты, которые необходимы для обеспечения принятого метода наведения и требуемых динамических свойств системы управления. К таким параметрам относятся: угловые координаты, характеризующие положение осей КР в пространстве относительно цели и поверхности Земли; линейная координата, характеризующая положение центра масс по высоте, производные и интеграл от угловых и линейных координат.

2. Сигналов управления, которые вырабатываются УСН (радиотехническим или тепловым), программным (временным) механизмом и радиовысотомером.

Если объединить в один термин понятия стабилизации и управления, назвав его *регулирование*, то АП прежде всего предназначен для регулирования полета КР так, чтобы сформировать требуемую траекторию, которая определяется конкретными исходными данными для стрельбы и законом движения цели. Принятый закон регулирования автопилота определяет его состав и принцип работы.

В общем виде АП состоит из каналов, предназначенных для регулирования полета ракеты по углам тангажа ν и рыскания ψ , стабилизации угла крена γ , а также для регулирования высоты полета H .

Эти каналы могут быть объединены в два автомата:

— продольный автомат, включающий в себя регулирование координат γ и H и предназначенный для формирования траектории полета КР в вертикальной плоскости;

— боковой автомат, включающий в себя регулирование координаты ψ , стабилизации γ и предназначенный для формирования требуемой траектории в горизонтальной плоскости.

Структурная схема АП и связь его с внешними датчиками представлена на рис. 4.1.

Для простоты считают, что связи между каналами отсутствуют.

В таком составе АП решает следующие задачи:

— обеспечивает старт КР в заданном направлении и формирование требуемой траектории полета в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

— противодействует разворотам осей КР от требуемого направления в пространстве при воздействии различных возмущений, т. е. осуществляет стабилизацию КР относительно центра масс;

— стабилизирует положение центра масс КР на заданной высоте по сигналам с радиовысотомера;

— реализует управляющие сигналы для изменения траектории полета, поступающие с программного механизма, УСН и РВ, т. е. участвует в управлении полетом КР;

— улучшает и стабилизирует динамические характеристики КР как объекта регулирования.

4.2. Принцип построения автоматов.

Законы регулирования

Рассмотрим принцип построения и законы регулирования автоматов в режимах стабилизации и управления.

В режиме стабилизации осей КР по угловым координатам структурную схему автомата можно представить рис. 4.2.

Так как принцип стабилизации осей КР по углам γ , ψ и γ один и тот же, то для примера рассмотрим лишь один автомат курса, стабилизирующий направление полета. Заданное стабилизируемое направление полета определяется направлением старта КР. Свободный гироскоп измеряет текущее положение продольной оси КР в горизонтальной плоскости ψ и, сравнивая с заданным, формирует напряжение, пропорциональное углу рыскания ψ_r . Демпфирующий гироскоп

формирует напряжение, пропорциональное скорости изменения угла рыскания ω_n (первую производную от изменения угла). Интегрирующее устройство обеспечивает интегрирование сигнала ψ_r во времени и формирование напряжения $\sigma_{ин}$. Суммирующий релейный усилитель (РУ) суммирует эти сигналы с напряжением отрицательной обратной связи δ_n^* .

Пусть под действием возмущения продольная ось КР отклонилась в горизонтальной плоскости и возник угол рыскания. Закон изменения сигналов с $СГ_n$ и $ДГ_n$ и закон отклонения руля направления δ_n представлены на рис. 4.3 (действие $ИМ_n$ пока не рассматриваем).

На участке $t_0—t_1$ напряжения ω_n и ψ_r действуют совместно, так как производная возрастающей функции положительна. Это способствует быстрой закладке руля δ_n в противоположную сторону отклонения оси КР. Отклонение руля вызывает напряжение отрицательной ОС δ_n^* , которое с противоположным знаком относительно результирующего сигнала $\psi_r + \omega_n$ поступает на РУ (рис. 4.2). На выходе РУ образуется напряжение $U_{\Sigma} = \psi_r + \omega_n - \delta_n^* < 0$.

Под воздействием отклоненного руля КР начинает возвращаться к заданному положению оси. Тогда ψ_r начинает уменьшаться (точка *a*). Это изменяет знак сигнала ω_n , так как производная убывающей функции отрицательна. Поэтому на участке $t_1—t_2$ напряжения ψ_r и ω_n действуют встречно, что уменьшает угол закладки руля δ_n и способствует его возвращению в нейтральное положение раньше возвращения КР к заданному положению. В этом случае $U_{\Sigma} = \psi_r - \omega_n - \delta_n^*$. При отсутствии сигнала $ДГ_n$ руль придет в нейтральное положение за точкой t_3 (кривая δ_n). В этом случае из-за инерционности КР ее ось пройдет заданное положение и вновь возникнет ψ , но другого знака. Следовательно, в этом случае процесс стабилизации оси будет носить колебательный характер. Чтобы этого не произошло, руль должен прийти в нейтральное положение раньше точки t_3 , на время, равное инерционности ракеты. Тогда инерция КР погаснет к моменту прихода оси на заданное направление и перерегулирования не будет. Известно, что напряжения $\psi_r = i_{СГ_n} \psi$, а $\omega_n = i_{ДГ_n} \omega_y$, где $i_{СГ_n}$ и $i_{ДГ_n}$ — передаточные числа канала курса по углу и угловой скорости соответственно. Подбирая значения передаточных чисел, можно добиться отсутствия перерегулирования.

Назначение производной в законе регулирования ω_n — приведение руля в нейтральное положение раньше прихода оси КР к заданному положению (рис. 4.3). Сигнал ω_n всегда

препятствует изменению положения ракеты. Когда ψ растет, напряжение ω_n увеличивает величину и скорость закладки руля, препятствуя дальнейшему возрастанию ψ . Когда же ψ уменьшается, то ω_n уменьшает угол закладки δ_n , т. е. опять препятствует движению КР. Благодаря этому, колебательность КР снижается. Отсюда название гироскопа, формирующего напряжение производной, — демпфирующий гироскоп.

Наличие интегрирующего механизма (ИМ) обеспечивает введение интеграла в закон регулирования, обеспечивающего компенсацию постоянно действующего возмущения на КР. Такими возмущениями могут быть эксцентриситет силы тяги двигателя, асимметрия планера, боковой ветер. Их действие на КР приводит к возникновению момента $M_B(t)$, разворачивающего продольную ось X_1 . Если бы не было автомата стабилизации, то КР под действием $M_B(t)$ начала бы вращаться в пространстве. Однако, как только X_1 начнет отклоняться от заданного положения, т. е. как только возникает угол рыскания ψ_r , с СГ начинает сниматься стабилизирующий сигнал U_{ψ_r} , который одновременно поступает на суммирующий РУ и на ИМ. С выхода последнего снимается сигнал

$$\sigma_{ин} = \int_0^t \psi_r dt,$$

который растет во времени, так как происходит суммирование входной величины за каждую единицу времени. Следовательно, на РУ поступает сумма сигналов $U_{\psi_r} + \sigma_{ин} > 0$. Под действием этого сигнала руль отклонится на угол σ'_n , что создает момент $M_\sigma(t) > M_B(t)$. Поэтому КР будет быстро возвращаться к заданному положению X_1 . При этом ψ_r , а следовательно, U_{ψ_r} уменьшается. Но выходное напряжение ИМ будет расти до тех пор, пока U_{ψ_r} не будет равно нулю.

С приходом оси КР на заданное направление сигнал $U_{\psi_r} = 0$, а $\sigma_{ин}$ остается постоянным, пропорциональным величине $M_B(t)$. Под действием этого сигнала руль в нейтральное положение не приходит, а остается заложенным на некоторый угол σ''_n . Это порождает постоянный встречный внешнему моменту $M_{\delta''_n}(t)$, компенсирующий $M_B(t)$.

Как известно из теории автоматического регулирования, введение интеграла в закон регулирования ведет к ликвидации статической ошибки, т. е. к повышению точности стабилизации.

Исходя из состава рассмотренного автомата стабилизации, его закон регулирования математически можно выразить так:

$$T_n \delta_n = i_{сг} \psi_r - i_{дг} \omega_n + k_s \int_0^t \psi_r dt - k_{ос} \delta_n^*$$

Последнее слагаемое определяет наличие потенциометра обратной связи, охватывающего РМ. Благодаря его наличию, угол отклонения руля пропорционален алгебраической сумме сигналов, поступающих на вход РУ.

Процесс стабилизации осей КР по угловым координатам поддерживает параметры стабилизации ν , ψ и γ неизменными и равными заданным значениям. Это обеспечивает выполнение программной траектории полета в горизонтальной и вертикальной плоскостях. За счет движения цели и действия на КР возмущений возникает необходимость изменить направление движения КР. Значит, надо перейти от режима стабилизации параметров ν , ψ и γ к их изменению в соответствии с взаимным положением цели и ракеты. Значение угла крена γ не изменяется в течение всего полета (стремятся γ иметь равным нулю).

Изменение параметров движения КР в процессе полета называется *управлением*. Режим управления начинается с момента подключения датчиков УСН ко входу каналов курса и высоты и реализации управляющих сигналов φ_r и ν_r . Изменив значение параметра движения, т. е. откорректировав траекторию полета в соответствии со значениями φ_r и ν_r , каналы курса и тангажа могут вновь перейти к режиму стабилизации (если $\varphi_r = 0$ и $\nu_r = 0$), но уже новых значений ν_r и ψ . Следовательно, режим управления можно рассматривать как процесс перестройки каналов на новое требуемое значение параметра стабилизации.

Процесс управления осуществляется с помощью базовых механизмов (БМ).

БМ в канале крена имеется, но его назначение другое — запомнить угол крена пусковой установки при старте для его компенсации в полете.

Рассмотрим режим управления в канале курса, но сначала без участия ГУК. Для продольного автомата состав, принцип работы и отличия будут рассмотрены ниже. Структурная схема канала курса в режиме управления представлена на рис. 4.4.

Конструктивно потенциометр курса (рис. 4.2, 4.4) размещается на базе, которая под воздействием управляющего сигнала φ_r разворачивается электродвигателем базы относительно корпуса КР. При развороте базы происходит рассогласование положения средней точки потенциометра курса относительно неподвижной в пространстве щетки, связанной с внешней рамкой гироскопа. Угол разворота базы равен требуемому углу разворота КР на цель. Стороны разворота базы и ракеты всегда противоположны.

При рассогласовании потенциометра курса с него снимается напряжение ψ_6 , которое усиливается РУ рулевой машины и активизирует РМ_н. РМ_н отклоняет руль направления на угол δ_n . Пропорциональность величины δ_n величине ψ обеспечивается потенциометром обратной связи рулевой машины. Отклонение руля заставляет развернуться со скоростью поворота базы продольную ось ракеты X_1 в горизонтальной плоскости от предыдущего направления в сторону, противоположную развороту базы. Так как база связана с корпусом КР, то она разворачивается вместе с ней. Это приводит к совмещению средней точки потенциометра курса со щеткой. Сигнал ψ_6 , уменьшаясь, становится равным нулю. За счет наличия на входе РУ_{рм} сигнала с потенциометра обратной связи рулевой машины, руль направления возвращается в исходное положение. Ракета летит новым курсом. Если при этом φ_r будет равен нулю, то автомат курса будет стабилизировать новое заданное направление полета.

Потенциометр ОС базы в режиме управления отключается. Это делается для обеспечения интегрирующего режима его работы. В канале курса наличие этого потенциометра необходимо только для приведения БМ перед стартом в исходное положение. Если при включении АП база смещена, то за счет рассогласования средней точки потенциометра и щетки формируется сигнал, который, воздействуя на ЭДБ, заставляет базу развернуться так, чтобы сигнал рассогласования был равен нулю. При этом в исходное положение придет и потенциометр курса.

Рассмотрим работу режима управления канала курса с применением ГУК (рис. 4.4). ГУК обеспечивает реализацию метода последовательных упреждений при наведении КР.

Пусть в момент разарретирования ГУК ось антенны УСН (А) и продольная ось ракеты (X_1) точно направлены в НМЦ (рис. 4.5). Это начальное направление запоминается ГУК.

Пусть цель переместилась в точку C_1 . При движении цели за ее местоположением следит антенна. Но как только A развернулась вслед за целью, возник сигнал φ_r , величина которого пропорциональна рассогласованию между X_1 и новым положением A . Сигнал φ_r через БМ заставляет развернуться продольную ось вслед за антенной. При этом возникает рассогласование между средней точкой и щеткой потенциометра ГУК. Напряжение с него φ будет в фазе с сигналом ψ_6 , сформировавшимся под воздействием φ_r . На входе РУ_{РМ} происходит сложение сигналов $\psi_6 + \varphi$. Благодаря этому поворот X_1 происходит не на угол φ_r , а на угол ψ , т. е. продольная ось устанавливается в направлении УМЦ впереди по движению цели.

При таком взаимном положении осей X_1' и A_1' с выхода УСН возникает управляющий сигнал $-\varphi_r$, противоположный по знаку первоначальному сигналу φ_r , так как сперва оси антенны и ракеты двигались в одну сторону, а теперь X_1 находится впереди цели, а A' — в направлении на C_1 .

Работа продольного автомата стабилизации отличается от работы автоматов курса и крена тем, что необходимо стабилизировать КР в вертикальной плоскости как по угловой координате ν , так и по линейной H . Поддержание требуемых значений ν и H осуществляется с помощью отклонения одного рулевого органа — руля высоты. Если структура построения продольного автомата будет идентична структуре бокового, то она будет соответствовать представленной на рис. 4.6. Но в этом случае стабилизировать одним рулем две координаты невозможно.

Действительно, пусть КР отклонилась от заданной высоты. С РВ снимается сигнал ΔH , который отклоняет руль высоты. Отклонение руля вызовет разворот продольной оси ракеты, приводящий к рассогласованию потенциометра свободного гироскопа тангажа. Сигнал с него, поступая в рулевой тракт, вернет руль высоты в нейтральное положение, т. е. требуемого устранения ΔH может не произойти в силу того, что сигналы стабилизации ν и ΔH будут работать встречно. И наоборот, любой сигнал ν_r будет заставлять КР отклоняться от заданной высоты.

В связи с этим построение схемы продольного автомата отличается от бокового. Здесь БМ используется для обеспечения обоих режимов — стабилизации и управления. В режиме стабилизации он обеспечивает развязку процесса стабилизации по угловой и линейной координатам.

Структурная схема продольного автомата стабилизации показана на рис. 4.7.

Так как ракета летит на малой высоте, то к стабилизации высоты предъявляются наиболее жесткие требования. Поэтому ИМ_в включен именно в цепь отработки сигнала ΔH с целью устранения статической ошибки за счет постоянно действующих возмущений (вертикальные потоки воздуха, нарушение центровки ракеты за счет выгорания топлива, асимметрия КР и др.).

Для улучшения качества стабилизации с РВ, помимо сигнала ΔH , выдается сигнал скорости изменения высоты dh/dt .

Стабилизация оси КР по углу тангажа осуществляется так же, как и в канале курса.

Если ось X_1 отклонилась в вертикальной плоскости относительно ц. м., то при этом вместе с КР произойдет отклонение средней точки потенциометра тангажа относительно неподвижной щетки. Возникший сигнал v_r с помощью рулевого привода заставит так отклониться руль высоты, чтобы ракета развернулась в противоположную сторону. При этом произойдет согласование положений щетки и средней точки потенциометра, и сигнал v_r станет равным нулю.

Если ц. м. ракеты отклонится от заданной высоты, то с РВ снимается сигнал ΔH . Он поступает в РУ базы непосредственно и через ИМ_в. Под действием $\sigma_{н. в} + \Delta H$ база быстро разворачивается, внося рассогласование в потенциометр тангажа. При движении базы возникает сигнал рассогласования и на потенциометре ОС базы, щетка которого неподвижна относительно корпуса. Сигнал $-U_{ос}$ направлен встречно сигналу $\sigma_{н. в} + \Delta H$. База, развернувшись на угол α , остановится при равенстве $\sigma_{н. в} + \Delta H = U_{ос}$. Пропорционально углу разворота с потенциометра тангажа снимается сигнал v_r^α , который с помощью рулевого привода отклонит руль высоты на угол σ_v^α . При этом произойдет поворот оси X_1 , и ракета начнет приближаться к $H_{зад}$, уменьшая ошибку ΔH . Возникает неравенство $\sigma_{н. в} + \Delta H < U_{ос}$.

База под воздействием сигнала U_0 начинает разворот в сторону уменьшения α , стремясь совместить среднюю точку и щетку потенциометра тангажа. Сигнал v_r начинает уменьшаться, что приводит к уменьшению δ_v^α . Когда КР выйдет на заданную высоту $\Delta H = 0$, создается равенство $\sigma_{н. в} = U_{ос}$, благодаря чему база остается развернутой на некоторый угол α' . В результате этого строительная ось КР окажется развернутой на такой же угол относительно первоначального

положения, а руль высоты придет в нейтральное положение. Таким образом, за счет сигнала с ИМ_в угол тангажа ракеты изменяется, устраняя статическую ошибку.

С переходом в режим управления от входа продольного автомата отключается РВ, ИМ_в, рвется ОС базы и к РУ базы от УСН подключается управляющий сигнал v_y и сигнал с ГУВ. В таком составе продольный автомат управления становится совершенно аналогичным боковому автомату (рис. 4.4 и рис. 4.7 с ГУВ и УСН).

4.3. Функциональная схема автопилота

Конструктивно устройства АП выполнены в виде отдельных блоков, основные габаритно-весовые характеристики которых приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Наименование блока	Шифр	Кол-во на комплект	Масса блока, кг	Габариты блока, мм
Блок управления	ДП-2В	1	23	442×425×288
Гироскоп упреждения по высоте (ГУВ)	ДП-3	1	2,5	245×160×150
Рулевая машина	ДП-4А	3	8,5	190×222×191
Блок демпфирующих гироскопов (ДГ)	ДП-5	1	3,1	215×198×167
Блок интегрирующих механизмов (ИМ)	ДП-6Б	1	4	234×218×126
Преобразователь	ПТ-125Ц	01	5,5	263×150×197
Общая масса АП			63,6	

Блок управления ДП-2В осуществляет следующие функции:

— запоминание плоскости стрельбы и углов послестартовых доворотов ракеты по курсу, крену и тангажу;

— выдачу на РМ сигналов стабилизации, пропорциональных углам отклонения ракеты по курсу ψ , тангажу ν , крену γ и линейной координате (высоте);

- выдачу на ИМ каналов курса и крена сигналов, пропорциональных отклонению ракеты ψ и γ ;
- прием управляющих сигналов φ_r и ν_r от УСН и выдачу управляющих напряжений на рули направления и высоты;
- формирование и выдачу сигналов положительной ОС с ГУК;
- регулировку параметров АП и коммутацию электрических цепей в соответствии с разовыми командами, выдаваемыми бортовой аппаратурой управления.

Блок ДП-2В включает:

- свободный гироскоп курса (блок ДП2-1);
- свободный гироскоп тангажа (блок ДП2-2);
- свободный гироскоп крена (блок М2-3А);
- свободный гироскоп упреждения по курсу (блок ДП2-4);
- платы с регулировочными резисторами;
- монтажную панель с элементами релейных усилителей и переключающими реле;
- корпус с крышками и герметизированными выводами.

Гироскоп упреждения по высоте ДП-3 является воспринимающим устройством по угловым отклонениям КР по тангажу и предназначен для введения положительной ОС в контур управления по высоте в режиме управления и придания изгиба траектории полета ракеты вверх в режиме самонаведения по высоте.

Рулевая машина ДП-4А является исполнительным органом автопилота и предназначена для отклонения рулевого органа ракеты в соответствующем канале.

Все три рулевые машины схемно и конструктивно выполнены одинаково — в виде блока, включающего: релейный усилитель РМ; электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением; редуктор и потенциометр отрицательной обратной связи.

Блок демпфирующих гироскопов ДП-5 является воспринимающим устройством по угловой скорости и предназначен для выдачи на РМ сигналов, пропорциональных угловым скоростям КР вокруг осей Y_1 , Z_1 , X_1 (по курсу, тангажу и крену). Блок включает три соответствующих демпфирующих гироскопа.

Блок интегрирующих механизмов ДП-6Б, состоящий из трех интегрирующих механизмов, предназначен для выдачи интеграла по времени при возникновении входного сигнала, определяемого отклонением параметра стабилизации от за-

данного значения. Входными сигналами являются сигналы свободных гироскопов курса и крена и радиовысотомера.

Преобразователь ПТ-125Ц предназначен для преобразования напряжения постоянного тока ± 27 В в переменное трехфазное напряжение 36 В, 400 Гц для питания свободных и демпфирующих гироскопов.

4.4. Назначение и принцип действия устройств и отдельных элементов автопилота

4.4.1. Гироскопы с тремя степенями свободы

Гироскопы с тремя степенями свободы применяются для измерения отклонений осей КР в пространстве от заданных значений, по которым осуществляется стабилизация ракеты относительно ц. м. и управление ее полетом. Принцип действия свободных гироскопов, входящих в состав блока ДП-2Р, а также свободного гироскопа упреждения по высоте (блок ДП-3) идентичен.

Если момент внешних сил, действующих на гироскоп, равен нулю, то вектор кинетического момента ротора сохраняет неизменное положение. Для быстро вращающихся роторов это направление совпадает с осью его вращения.

Если на гироскоп воздействует внешний момент, ось вращения гироскопа, совпадающая с направлением вектора кинетического момента H , поворачивается в пространстве (прецессирует) с угловой скоростью ω , определяемой из соотношения $M = H \cdot \omega$.

Величина кинетического момента H определяется как $H = I\Omega$, где I — момент инерции ротора относительно оси вращения, Ω — угловая скорость вращения ротора.

Рассмотрим принцип построения свободного гироскопа (рис. 4.8). Гироскоп 1 вращается во внутренней рамке 2 карданного подвеса. Внутренняя рамка вращается в опорах, расположенных во внешней рамке 4 . Ось вращения 3 внешней рамки располагают параллельно той оси КР (в данном случае продольной оси X_1), относительно которой необходимо снимать сигналы. Опоры внешней рамки расположены в корпусе гироскопа, а последний жестко соединяется с ракетой. Ось вращения внешней рамки называется измерительной осью гироскопа. Представленный на рис. 4.8 гироскоп может быть гироскопом курса, тангажа или крена в зависимости от того, параллельно какой оси ракеты расположена измерительная

ось (рис. 4.10). У гироскопов тангажа и упреждения по высоте она расположена вдоль оси OZ_1 , а у гироскопов курса и упреждения по курсу — вдоль оси OY_1 .

Если относительно оси внешней рамки гироскопа действует момент M , то гироскоп будет прецессировать относительно оси внутренней рамки, и наоборот, при действии момента относительно оси внутренней рамки прецессия будет наблюдаться относительно внешней оси.

Гиromотор (см. рис. 4.8) представляет собой трехфазный асинхронный двигатель, статор которого помещен внутри ротора. Такая конструкция гиromотора позволяет разместить массу гироскопа на большем удалении от оси вращения и, следовательно, максимально увеличить момент инерции гироскопа относительно этой оси. Это необходимо для повышения устойчивости гироскопа при воздействии на него внешних моментов (например, момента трения в опорах или в потенциометрическом датчике).

При протекании трехфазного тока по обмоткам статора в последних создается вращающийся двухполюсный магнитный поток Φ , угловая скорость вращения которого $\omega_{\text{синхр}} = 60f/p$ об/мин, где $\omega_{\text{синхр}}$ — угловая скорость вращения магнитного потока Φ ; f — частота питающего напряжения, равная 400 Гц; p — число пар полюсов обмотки статора (для гиromоторов рассматриваемого АП $p=1$).

Вращающийся магнитный поток Φ наводит в роторе гиromотора ЭДС, которая вызывает в алюминиевых стержнях короткозамкнутого ротора протекание тока. Взаимодействие вращающегося магнитного потока с током, протекающим в роторе, создает вращающий момент на валу ротора.

Для приведения гироскопа в требуемое положение относительно корпуса и фиксации взаимного расположения внутренней и внешней рамок применен механизм арретирования. Арретирование гироскопа осуществляется пружиной, разарретирование — электромагнитом. До разарретирования, т. е. до освобождения рамок арретиром, ротор гироскопа разгоняется до необходимой скорости вращения и в дальнейшем ее сохраняет. После разарретирования гироскоп стремится поддерживать то направление, которое он занимал в момент разарретирования. Так как положение гироскопа в разарретированном состоянии определяется положением ракеты относительно Земли, то начало отсчета параметров, измеряемых гироскопом в полете, определяется положением КР в момент

разарретирования. Съём сигналов, характеризующих угловые перемещения осей КР относительно ц. м., производится с помощью потенциометрических датчиков. При повороте КР относительно оси, параллельной измерительной оси гироскопа X_1 , щетка 5, связанная с внешней рамкой, перемещается относительно потенциометра 6, укрепленного на корпусе гироскопа и перемещающегося относительно оси X_1 , вместе с ракетой. Напряжение рассогласования, снимаемое с потенциометра, поступает в рулевой тракт.

Если задать принудительное угловое перемещение потенциометра относительно корпуса гироскопа с помощью базового механизма, то и в этом случае рулевые органы будут отклоняться и КР будет изменять свое положение относительно соответствующей оси. После разворота КР на угол, заданный перемещением потенциометра, ракета будет стабилизироваться относительно нового направления. Ориентация гироскопа в пространстве от этого не изменяется, а происходит угловое перемещение системы отсчета, угловых координат.

Рассматриваемые гироскопы не являются свободными от действия внешних моментов. Моменты трения в опорах и моменты, накладываемые потенциометрическими датчиками, не могут быть сведены к нулю. Под влиянием этих моментов ось гироскопа вращается в пространстве (прецессирует) с некоторой скоростью — имеет место «уход» гироскопа. Вместе с осью гироскопа «уходит» и система координат, в которой ведется отсчет, а следовательно, измеряемый угол в пространстве. «Уход» гироскопа приводит к «уходам» внешней и внутренней рамок. Из-за «ухода» внешней измерительной рамки КР изменяет положение относительно соответствующей оси на величину «ухода». «Уход» внутренней рамки опасности не представляет. Применяемые в АП гироскопы характеризуются следующими параметрами:

- значением кинетического момента;
- величиной допустимых «уходов», оказывающих влияние на отклонение ракеты от заданной траектории на автономном участке траектории;
- временем готовности к действию;
- пределами отклонений рамок, определяющими необходимые эволюции КР;
- наличием БМ и их функциями.

4.4.2. Гироскопы с двумя степенями свободы

Гироскопы с двумя степенями свободы применяются в АП для измерения угловых скоростей вращения осей КР относительно ц. м. Угловые перемещения органов управления КР, соответствующие поступающим с них сигналам, демпфируют движение ракеты.

Демпфирующие гироскопы (рис. 4.12), имеют рамку 2, соединенную с корпусом гироскопа пружиной 4. Гироскоп расположен на КР так, что оси вращения гиromотора 1 и рамки перпендикулярны той оси ракеты, вокруг которой измеряют ее угловую скорость вращения (рис. 4.11). Ротор гиromотора вращается с большой угловой скоростью вокруг оси Z_1 (см. рис. 4.12) и, кроме того, преодолевая силы сопротивления пружины 4 и демпфера 6, ротор может поворачиваться вокруг оси X_1 . Если принудительно поворачивать гироскоп вокруг оси Y_1 с некоторой угловой скоростью ω_y , то вокруг оси X_1 возникает момент гироскопической реакции, пропорциональный этой угловой скорости, под действием которого ротор будет поворачиваться вокруг оси X_1 . Этот поворот будет происходить до тех пор, пока момент гироскопической реакции не уравновесится моментом, развиваемым пружиной 4. Угол поворота ротора относительно оси X_1 после затухания возможных колебаний рамки будет пропорционален ω_y . При этом датчик 3 гироскопа выдает в рулевой тракт сигнал, пропорциональный углу поворота рамки. Так как рассматриваемый гироскоп представляет собой колебательную систему, то для демпфирования колебаний гироскопа вводится воздушный демпфер.

4.4.3. Реле и релейные усилители (РУ)

Релейные усилители применяются для суммирования и преобразования сигналов, поступающих на вход БМ и РМ. По принципу работы оба РУ идентичны. Преобразование входных сигналов осуществляется по закону широтной вибрационной линеаризации.

Под вибрационной линеаризацией понимается преобразование непрерывного входного сигнала в пропорциональный ему импульсный сигнал.

Рассматриваемые релейные усилители, воспринимая относительно слабые токи управляющего сигнала, должны обеспечить работу исполнительного электродвигателя таким об-

разом, чтобы скорость его вращения была в определенных пределах пропорциональна величине входного сигнала. Изменение направления вращения электродвигателя производится изменением знака управляющего сигнала. Обычно электродвигатели имеют малые сопротивления обмоток и при непосредственном подключении их к источникам сигналов могут вызвать подсадку и искажение сигнала, а в некоторых случаях перегрузку цепей и выход из строя источника сигнала. Поэтому от релейного усилителя требуется:

- суммировать входные сигналы;
- исключить гальваническую связь между источниками сигналов и электродвигателем;
- обеспечить подачу на электродвигатель управляющих напряжений постоянного тока соответствующей полярности с эффективным значением, пропорциональным суммарному входному сигналу.

Основными элементами релейного усилителя являются поляризованное реле типа РПС и два силовых реле $P2$ и $P3$ (рис. 4.13).

Поляризованное реле обеспечивает суммирование входных сигналов и выдачу $+27$ В на одно из силовых реле в зависимости от знака суммарного сигнала. Схема магнитной цепи реле РПС приведена на рис. 4.14.

Реле имеет три источника магнитодвижущей силы, которые создают в магнитной цепи три потока: два поляризующих Φ_c , создаваемых постоянными магнитами, и управляющий поток Φ_y от электромагнита, создаваемый током, протекающим по обмоткам реле.

Поляризующие потоки обоих постоянных магнитов из северных полюсов проходят в верхние основания магнитопровода, откуда каждый, разветвляясь на две части, попадает в башмаки и через воздушные зазоры в якорь реле. Часть поляризующего потока входит в якорь реле перпендикулярно к его поверхности, а другая часть ответвляется в торец якоря. Вследствие одинаковости обоих магнитных потоков и их противоположной направленности в теле якоря между его торцами магнитный поток не образуется, а поляризующие потоки, пройдя небольшим участком якоря, через рабочий зазор поступают в сердечник и через балластные зазоры, нижнее основание магнитопровода возвращаются в постоянный магнит со стороны южного полюса. Таким образом, на якорь реле не воздействуют никакие возмущения, которые могли бы отклонить его от нейтрального положения. В этом положении

якорь удерживается плоской пружиной, которая одновременно служит опорой якоря.

При наличии управляющего потока он проходит по сердечникам электромагнита, перемычке между ними, двум рабочим зазорам и якорю реле.

Для указанного на рис. 4.14 направления потоков в левом рабочем зазоре управляющий и поляризующий потоки направлены встречно и будут вычитаться, а в правом зазоре направлены согласно и будут складываться. В результате к якорю будет приложен момент M_z , вращающий его по часовой стрелке. Величина этого момента зависит от величины поляризующих потоков и числа ампер-витков электромагнита. Момент, действующий на якорь, поворачивает его, преодолевая противодействующий момент пружины M_n до тех пор, пока M_n не станет меньше момента, вызванного действием электромагнитного потока. Форма верхнего магнитопровода и балластные зазоры обеспечивают линейную зависимость между потоком электромагнита Φ_y и развиваемым им моментом M_z . Благодаря этому угол поворота якоря оказывается пропорциональным магнитному потоку, т. е. ампер-виткам электромагнита.

При повороте якоря на определенный угол замыкаются контакты поляризованного реле. Ампер-витки, соответствующие замыканию реле, называются ампер-витками срабатывания. Они определяют зону нечувствительности реле. При дальнейшем увеличении ампер-витков возрастает контактное давление.

При уменьшении сигнала якорь под действием пружины разомкнет контакты. Ампер-витки сигнала в этом случае будут несколько меньше ампер-витков срабатывания, что является следствием механического и магнитного гистерезиса деталей, изменения магнитного поля, а также состояния контактирующих поверхностей. Ампер-витки, соответствующие моменту размыкания, называются ампер-витками отпускания. При выключении тока в обмотках электромагнита якорь под действием пружины устанавливается в нейтральное положение.

Конструктивно каждая обмотка поляризованного реле выполнена из двух половин, намотанных на отдельные катушки, надетые на стержни сердечника электромагнита. Обе половины каждой из обмоток реле соединяются последовательно таким образом, что создаваемые ими магнитные потоки направлены согласно и образуют общий управляющий поток.

В случае одновременной подачи тока в несколько обмоток управляющий поток равен алгебраической сумме потоков всех обмоток.

Рассмотрим процессы в релейном усилителе при подаче в одну из входных обмоток поляризованного реле постоянно действующего сигнала. При этом для упрощения не будем учитывать времени срабатывания и отпускания поляризованного и силовых реле, так как учет его не изменит качественной картины, а только изменит количественные соотношения в усилителе.

Пусть управляющий сигнал, поданный в обмотку РПС-1 (рис. 4.13), превышает ампер-витки срабатывания поляризованного реле и имеет полярность, указанную на рисунке. Тогда якорь Я поляризованного реле замыкается с правым контактом и срабатывает силовое реле РЗ. При этом +27 В через половину R4 подается на якорь электродвигателя и параллельно на обмотку РПС-VII.

Полярность подключения обмотки РПС-VII такова, что создаваемый этой обмоткой магнитный поток всегда действует навстречу магнитному потоку той из управляющих обмоток РПС, в которой протекает ток, вызвавший срабатывание поляризованного реле. Обмотка РПС-VII представляет собой катушку, намотанную на железный каркас, т. е. для проходящего через нее тока это не только активное, но и индуктивное сопротивление. Вот почему после срабатывания реле РЗ ток в обмотке РПС-VII изменяется не скачком, а плавно, по экспоненциальному закону. Соответственно магнитный поток, противодействующий потоку, вызванному управляющим сигналом, нарастает также по экспоненциальному закону.

Следовательно, уменьшение суммарного магнитного потока до величины, соответствующей ампер-виткам отпускания, произойдет не сразу, а через некоторый промежуток времени. После уменьшения суммарного сигнала ниже ампер-витков отпускания якорь РПС придет в нейтральное положение, реле РЗ обесточится, и его контакт вернется в исходное положение. В результате этого переключения цепи электродвигателя и обмотки РПС-VII будут обесточены, противодействующий сигнал обмотки РПС-VII снимется, и под действием управляющего сигнала в обмотке РПС-1 реле РПС вновь замкнет правый контакт и т. д.

Очевидно, что при воздействии постоянного управляющего сигнала, превышающего ампер-витки срабатывания, якорь РПС и одного из силовых реле работают в вибрационном

режиме. В результате на подключенный к выходу усилителя якорь электродвигателя и на обмотку РПС-VII питание подается импульсами, амплитуда которых равна напряжению источника питания.

В базовых механизмах курса и высоты используются слабомощные малоинерционные двигатели. Поэтому схема релейного усилителя базового механизма (рис. 4.20) отличается введением дросселя ДР1 (ДР2 — в канале высоты) в цепь обратной связи по напряжению. Дроссель препятствует изменению тока в цепи и создает запаздывание в нарастании и убывании сигнала обратной связи по напряжению. Это обеспечивает линейную скоростную характеристику двигателя базового механизма.

4.4.4. Исполнительные устройства

В качестве исполнительных устройств БМ, ИМ и РМ используются ЭД постоянного тока. Отличие ЭД базовых и интегрирующих механизмов от ЭД рулевых машин состоит в том, что в первых используются ЭД с постоянным возбуждением, а в последних — с независимым возбуждением (рис. 4.17). У ЭД с постоянным возбуждением (рис. 4.17, а) обмоткой управления является единственная обмотка — обмотка якоря, а возбуждение осуществляется с помощью постоянного магнита. У ЭД с независимым возбуждением (рис. 4.17, б) имеется две обмотки: обмотка возбуждения (ОВ), на которую подается постоянное напряжение возбуждения U_v , и обмотка управления — обмотка якоря.

На обмотки управления электродвигателей подается управляющий сигнал U_y лишь тогда, когда необходимо вращение якоря. Напряжение U_y не является постоянной величиной. Изменение U_y приводит к изменению скорости вращения ЭД (скорость прямо пропорциональна напряжению управления). При изменении полярности U_y изменяется направление вращения якоря ЭД.

Применение ЭД постоянного тока в качестве исполнительных устройств объясняется линейностью их механических и регулировочных характеристик.

Преимущества ЭД с постоянными магнитами:

— более высокий КПД (до 70%) вследствие отсутствия потерь на возбуждение;

— независимость основного магнитного потока от изменения температуры окружающей среды.

К недостаткам этих ЭД следует отнести малые мощности, старение магнитов, более высокую стоимость из-за большой стоимости постоянных магнитов.

Особенностью построения БМ и рулевых приводов каналов является наличие в них электрической обратной связи. Рассмотрим действие механизма этой связи на примере рулевого агрегата (рис. 4.17, в).

При воздействии на ЭД рулевой машины управляющего сигнала U_y он будет вращаться со скоростью $\omega_{дв} = k_1 \Sigma I \omega_{внеш}$, где $\omega_{дв}$ — угловая скорость ЭД; k_1 — коэффициент пропорциональности между U_y и скоростью ЭД; $\Sigma I \omega_{внеш}$ — суммарный управляющий сигнал в ампер-витках, поступающий на релейный усилитель ЭД.

Вследствие неизбежного запаздывания в канале управления уравнение ЭД имеет вид: $\omega_{дв}(t) = k_1 \Sigma I \omega_{внеш}(t + \Delta t)$, т. е. угловая скорость ЭД в момент времени t пропорциональна U_y в момент времени на Δt более поздний, чем t .

Ввиду того, что рулевой орган КР кинематически жестко связан с ЭД, скорость перемещения руля можно определить с помощью следующего выражения: $\omega_p(t) = \omega_{дв}(t) i_{ред}$, где $\omega_p(t)$ — угловая скорость руля в момент t ; $i_{ред}$ — передаточное число редуктора РА.

Следовательно,

$$\omega_p(t) = k_1 i_{ред} \Sigma I \omega_{внеш}(t + \Delta t) = k_2 I \omega_{внеш}(t + \Delta t),$$

где $k_2 = k_1 i_{ред}$.

Однако при наличии электрической обратной связи

$$\Sigma I \omega(t + \Delta t) = \Sigma I \omega_{внеш}(t + \Delta t) - I \omega_{ос}(t + \Delta t),$$

где $\omega_{ос}$ — сигнал обратной связи.

Щетка ПОС жестко связана с валом РА. Следовательно, угол отклонения относительно средней точки пропорционален углу поворота руля δ , т. е. $I \omega_{ос} = k_3 \delta$, где k_3 — коэффициент пропорциональности между углом поворота руля и сигналом обратной связи.

$$\text{Отсюда } \omega_p = k_2 \Sigma I \omega_{внеш}(t + \Delta t) - k_2 k_3 \delta(t + \Delta t).$$

Но угловая скорость руля есть производная угла отклонения δ , т. е. $\omega_p = d\delta/dt = \dot{\delta}$. Следовательно, уравнение можно переписать так:

$$\dot{\delta}(t) + k_2 k_3 \delta(t + \Delta t) = k_2 \Sigma I \omega_{внеш}(t + \Delta t).$$

$$\text{Обозначив } 1/k_2 k_3 = T, \text{ а } 1/k_3 = k_4, \text{ получим } T \dot{\delta}(t) + \delta(t + \Delta t) = k_4 \Sigma I \omega_{внеш}(t + \Delta t).$$

Это уравнение с достаточной степенью точности описывает работу рулевого привода с отрицательной обратной связью. Практически, принимая во внимание относительно малое время запаздывания привода по сравнению с длиннопериодическими колебаниями ц. м. самой ракеты, можно принять $\Delta t = 0$. Тогда имеем

$$T\dot{\delta} + \delta = k_4 \sum I \omega_{\text{внеш}} \quad (4.1)$$

или $T\dot{\delta}(t) + \delta(t) = k_4 \sum I \omega_{\text{внеш}}(t)$.

Решение этого дифференциального уравнения имеет вид

$$\delta = k_4 \sum J \omega_{\text{внеш}} (1 - e^{-t/T}).$$

Необходимо выяснить физический смысл величины T .

Из решения уравнения видно, что приход рулевого органа из одного положения в другое под действием некоторого постоянного внешнего сигнала имеет форму экспоненты. Для простоты положим, что первоначально руль находится в нулевом положении (рис. 4.17, з).

В установившемся положении $d\delta/dt = 0$ и угол отклонения руля пропорционален суммарному внешнему сигналу $\delta = k_4 \sum I \omega_{\text{внеш}}$.

Как видно из графика, в точке $t = 0$ $\delta = 0$. Тогда, как следует из уравнения (4.1),

$$T\dot{\delta}_{t=0} = k_4 \sum J \omega_{\text{внеш}} \quad \text{или} \quad \dot{\delta}_{t=0} = \frac{k_4 \sum J \omega_{\text{внеш}}}{T}.$$

Но $k_4 \sum I \omega_{\text{внеш}}$ — это величина установившегося значения δ , а производная функции по времени соответствует тангенсу угла наклона кривой, описывающей эту функцию, в данной точке. Проведем в точке $t = 0$ касательную к кривой. Эта касательная пересечет горизонталь $k_4 \sum I \omega_{\text{внеш}}$ в некоторой точке с абсциссой $t_1 = T$. Это значит, что величина T равна отрезку времени, за который рулевой орган ракеты, двигаясь со скоростью, имевшей место в момент подачи внешнего сигнала, достиг бы установившегося значения. Величина T называется постоянной времени.

Физический смысл постоянной времени может быть выявлен непосредственно при анализе решения уравнения (4.1). Положим в этом уравнении $t = T$. Тогда

$$\delta = k_4 \sum I \omega_{\text{внеш}} (1 - e^{-t/T}) = 0,63 k_4 \sum J \omega_{\text{внеш}}.$$

Отсюда следует, что постоянная времени ЭД, охваченного жесткой отрицательной обратной связью, — это время, за ко-

торое регулируемый параметр (угол поворота вала РМ) достигает 63% установившейся величины отклонения.

4.4.5. Преобразователь ПТ-125Ц

Для питания гиromоторов трехфазным переменным напряжением в АП используется преобразователь ПТ-125Ц. Он преобразует постоянный ток 27 В в переменный трехфазный ток напряжением 36 В и частотой 400 Гц.

Преобразователь представляет собой комбинацию ЭД постоянного тока смешанного возбуждения и трехфазного синхронного генератора магнитоэлектрического возбуждения с неподвижной обмоткой якоря (рис. 4.18). Преобразователь снабжен аппаратурой дистанционного управления, регулирования частоты и напряжения.

Рассмотрим работу преобразователя. Включение его осуществляется выключателем В (рис. 4.18). П-образный фильтр, состоящий из конденсаторов $C1$, $C2$ и дросселя ДР предназначен для защиты сети от радиопомех, создаваемых преобразователем при работе.

Автоматическое регулирование частоты сводится к регулированию частоты вращения двигателя. Чувствительными элементами системы регулирования являются последовательные резонансные контуры, состоящие: первый — из дросселя ДК-1 и конденсатора $C3$; второй — из дросселя ДК-2 и конденсатора $C4$.

Резонансная частота первого контура f_{01} больше резонансной частоты второго контура f_{02} . Усилительным элементом является магнитный усилитель МУ, а управляющим — обмотка $W_{у. о. д}$ двигателя.

Ампер-витки подмагничивания $AW_{подм}$ создаются управляющей обмоткой W_{y01} , а размагничивания $AW_{разм}$ — управляющей обмоткой W_{y02} . Токи в управляющих обмотках I_{y01} и I_{y02} зависят от частоты f (рис. 4.19).

Если обозначить причинно-следственную связь горизонтальной черточкой (—), а увеличение или уменьшение какой-либо величины — стрелкой, направленной соответственно вверх (↑) или вниз (↓), то процесс автоматического регулирования частоты выходного напряжения можно представить следующим образом:

$$I_2 \downarrow - M_2 \downarrow - n \uparrow - f \uparrow - I_{y01} \uparrow - AW_{y01} \uparrow | - | - I_{y02} \downarrow - AW_{y02} \downarrow | - \\ - AW_{рез} - I_{р. о} \uparrow - \Phi_{у. о. д} \uparrow - n \downarrow - f \downarrow,$$

где I_2 — уменьшение тока нагрузки; M_2 — уменьшение вращающего момента двигателя; $n \uparrow$ — увеличение скорости вращения двигателя; $f \uparrow$ — увеличение частоты вращения двигателя; $I_{y01} \uparrow$ — увеличение тока в 1-й управляющей обмотке двигателя; $AW_{y01} \uparrow$ — увеличение ампер-витков в 1-й управляющей обмотке двигателя; $I_{p.o} \uparrow$ — увеличение тока начального подмагничивания; $\Phi_{y.o.d} \uparrow$ — увеличение магнитного потока управляющей обмотки двигателя.

При уменьшении f процесс регулирования идет в обратном направлении.

Для повышения устойчивости регулирования МУ имеет демпферную обмотку $W_{д.о}$, являющуюся гибкой отрицательной обратной связью. Ее ампер-витки $AW_{д.о}$ всегда встречны ампер-виткам $AW_{рез}$. Это приводит к уменьшению перерегулирования и времени затухания переходных процессов. Демпферная обмотка получает питание от вторичной обмотки $W2$ стабилизирующего трансформатора ТС, первичная обмотка которого $W1$ включена в цепь якоря двигателя.

4.5. Принцип работы автопилота до старта ракеты и в полете

Рассмотрим работу функциональной схемы АП (рис. 4.9).

За 4—6 мин до старта КР на АП подается напряжение бортсети: ± 27 и ~ 36 В. Осуществляется цикл разгона гироскопов.

Гироскопы находятся в заарретированном состоянии. Базовые механизмы $Б_n$, $Б_v$, $Б_\varepsilon$ и интегрирующие механизмы $ИМ_\varepsilon$, $ИМ_n$, $ИМ_v$ отработывают в исходное (нулевое) положение. Рули и элероны устанавливаются в исходное положение. До разарретирования свободных гироскопов тангажа и крена могут иметь место углы ν_n и γ_n за счет неточного горизонтирования пусковой установки. Величины этих углов измеряются датчиками углов наклона ПУ и с прибора 101Р ПУС вводятся в автопилот с помощью дистанционных следящих систем.

Перед стартом производится цикл автоматического контроля всей бортовой аппаратуры, после чего все механизмы АП вновь обнуляются. Сигнал нулевого положения базовых механизмов является сигналом готовности АП к старту ракеты.

4.5.1. Старт КР и вывод ее на заданную высоту

Задачи АП на этом участке траектории:

- задание требуемого направления полета КР по курсу;
- вывод КР на заданную высоту полета;
- стабилизация осей КР по углам χ , ψ , γ относительно ц. м.;
- переключение передаточных чисел каналов по угловой скорости;
- включение в работу интегрирующих механизмов ИМ_н, ИМ_э.

В момент старта производится разарретирование свободных гироскопов автопилота. После старта сигналы χ_r , ψ_r , γ_r и ω_n , $\omega_э$, $\omega_в$ со свободных и демпфирующих гироскопов поступают на вход РУ рулевых машин.

Старт КР возможен при условиях, если угол между продольной осью КР и линией горизонта лежит в пределах $16 \pm 5^\circ$ вверх, крен пусковой установки лежит в пределах $\pm 6^\circ$ и по курсу продольная ось КР от направления на цель отклонена на угол $\pm 5^\circ$.

В момент разарретирования СГ_н и СГ_э отключаются цепи сигналов углов послестартовых доворотов КР по курсу и крену от входа усилителей базовых механизмов БМ_н и БМ_э, а цепь сигнала послестартового поворота по тангажу отключается от ИМ_в. Углы ϕ_r , χ_p , γ в момент разарретирования «запоминаются» в виде угла между щеткой потенциометра курса СГ_н, крена СГ_э, ИМ_в и средней точкой. Сигналы, пропорциональные этим углам, поступают на вход соответствующего усилителя РМ, и рули отклоняются так, чтобы при старте компенсировать наклоны КР за счет наклона пусковой установки. Это происходит за счет того, что отклонение рулей и элеронов будет приводить к созданию соответствующих моментов, которые будут разворачивать КР так, чтобы совместить средние точки потенциометров со щетками.

Для компенсации начального угла наклона КР по тангажу средняя точка датчика СГ_в смещена относительно щетки на угол 12° . Сигнал, пропорциональный этому углу, после разарретирования гироскопа поступает на РМ_в, и руль высоты закладывается вниз. После старта отклонение руля создает момент, вызывающий поворот продольной оси в вертикальной плоскости относительно оси Z_1 . Корпус потенциометра тангажа вместе с КР повернется на угол 12° вниз, и сред-

ная точка совместится со щеткой: выдача сигнала на РМ_в прекратится, и руль высоты придет в нейтральное положение.

Для обеспечения набора высоты необходимо на РМ_в подавать дополнительный сигнал, вызывающий отклонение руля высоты на 9° вверх. После 9 с полета это отклонение должно линейно уменьшаться во времени, а через 29 с рули высоты должны установиться в положение 2,5° вверх от исходного положения. Чтобы осуществить такой закон отклонения руля высоты, в АП подается программный сигнал $v_{пр}$ от временного механизма ДВМ. Он поступает на вход РУ рулевой машины руля высоты РМ_в.

С момента старта по ком. РВ на вход РУ базового механизма высоты поступают сигналы ΔH и dh/dt с радиовысотомера. Взаимодействие этих сигналов с сигналом $v_{пр}$ обеспечивает программный набор высоты и плавный вывод КР на заданную высоту маршевого участка траектории.

На 5-й с полета на АП с ДВМ поступает ком. 3, по которой уменьшаются передаточные числа по угловой скорости во всех каналах и подключаются ИМ_н, ИМ_э. Это связано с тем, что в первые секунды полета КР не успевает набрать высокой скорости, в результате чего скоростной напор $\rho v^2/2$ невелик и эффективность рулевых органов низкая. Вследствие этого возникающие углы отклонения тангажа, крена и рыскания от заданных значений будут обрабатываться продолжительное время. Наличие углов тангажа и крена, отличных от заданных, создает угрозу падения КР при полете на малой высоте в начале траектории.

Чтобы повысить скорость обработки сигналов, величины передаточных чисел по угловой скорости в момент старта делают максимально большими. Благодаря этому компенсируется низкий скоростной напор.

К 5-й с полета КР приобретает высокую скорость полета, $\rho v^2/2$ становится большим, эффективность рулевых органов становится высокой. В результате отпадает необходимость наличия высоких значений передаточных чисел, так как они создают угрозу перерегулирования. Поэтому происходит переключение передаточных чисел с больших значений на оптимальные (величины передаточных чисел до ком. 3 и после приведены в приложении).

Ком. 3 блокирует также поступление в каналы курса и высоты ком. «Разаррет. ГУК» и «Разаррет. ГУВ», что исключает возможность разарретирования гироскопов упреждения во время предстартовой проверки АП.

4.5.2. Полет на маршевом участке траектории

Задачи АП на этом участке:

- стабилизация осей КР по угловым координатам;
- удержание ц. м. КР на заданной высоте полета;
- включение в работу интегрирующего механизма высоты ИМ_в.

После окончания программы набора высоты $v_{пр}$ и достижения заданной высоты полета ракета переводится в горизонтальный полет. На всем его протяжении (до поступления команд о переходе в режим самонаведения) АП осуществляет стабилизацию осей КР относительно ц. м., поддерживая заданные значения углов тангажа, курса и крена, и совместно с РВ удерживает заданную высоту полета.

Когда КР уже находится в горизонтальном полете и переходные процессы, связанные с выводом на заданную высоту, закончены, на АП с ДВМ поступает ком. 9, по которой включается ИМ_в для уменьшения статической ошибки удержания КР на заданной высоте.

4.5.3. Работа АП в режиме самонаведения на цель

В режиме самонаведения на цель АП решает следующие задачи:

- реализация управляющих напряжений с УСН;
- стабилизация осей КР относительно ц. м.;
- отключение РВ и интегрирующих механизмов ИМ_н и ИМ_в;
- обеспечение ввода упреждения в закон регулирования по курсу и высоте.

После захвата цели УСН с него поступает ком. СК. При этом на вход РУ базового механизма Б_н гироскопа курса подключается выход блока управления УСН по курсу и подготавливается цепь для прохождения сигнала разарретирования ГУК. Интегрирующий механизм канала курса ИМ_н отключается. С УСН в канал курса АП начинают поступать сигналы управляющего напряжения по курсу φ_r . База под его воздействием начинает разворачиваться, и на потенциометре свободного гироскопа курса возникает сигнал рассогласования $\sigma_{ун}$, который поступает на РМ_н, вызывая отклонение руля направления, КР начинает разворот по курсу.

При совмещении продольной оси КР с направлением на цель с УСН поступает ком. «Разаррет. ГУК». По этой коман-

де разарретируется свободный гироскоп упреждения по курсу ГУК. Под воздействием суммы сигналов с УСН (φ_r) и с ГУК (φ) в направлении продольной оси КР по курсу вводится угол упреждения, обеспечивающий наведение ракеты в УМЦ.

После поступления ком. СН по высоте СВ вход РУ базового механизма $БМ_в$ гироскопа тангажа подключается к выходу блока управления УСН по высоте, и подготавливается цепь разарретирования гироскопа упреждения по высоте ГУВ. Происходит отключение сигналов РВ, интегрирующего механизма высоты $ИМ_в$, и рвется обратная связь базы $БМ_в$, переводя его в интегрирующий режим работы. Канал высоты с этого момента начинает реализацию управляющего напряжения γ_y с УСН. Сигнал ν_y поступает на вход усилителя базового механизма, заставляя базу поворачиваться. При этом с потенциометра тангажа на $РМ_в$ поступает сигнал $\sigma_{ув}$, вызывающий отклонение руля высоты. КР начинает отклоняться, совмещая продольную ось в вертикальной плоскости с направлением на цель. Как только это произойдет, с УСН на АП поступает ком. «Разаррет. ГУВ». По этой команде разарретируется гироскоп упреждения по высоте ГУВ. Взаимодействие сигналов с УСН (ν_y) и с ГУВ обеспечивает ввод упреждения по углу места так же, как и в канале курса.

В случае внезапного снятия управляющих сигналов ν_y и φ_r на АП с УСН подается ком. потери цели ЦП, по которой с гироскопов упреждения ГУВ и ГУК прекращается подача сигналов на РУ базовых механизмов высоты и курса. При повторном захвате цели подача этих сигналов на базовые механизмы возобновляется.

По крену АП в этом режиме осуществляется стабилизация относительно ц. м. КР.

4.6. Взаимодействие элементов принципиальной схемы в различных режимах

4.6.1. Работа и взаимодействие элементов схемы АП до старта КР

Принципиальная схема каналов курса и высоты автопилота изображена на рис. 4.20, а канала крена — на рис. 4.21.

Питается АП напряжением $=27$ В от бортовой сети. Переключатель между клеммами 1 и 21 разъемов 4 и 6 (рис. 4.21, справа вверху) обеспечивает дистанционное включение питания АП, находящегося в составе КР. При включении АП на

его элементы подается ± 27 В и запускается преобразователь ПТ-125Ц, с которого фазы А, В, С напряжения 36 В, 400 Гц поступают на гиromотopы свободных и демпфирующих гироскопов.

С контакта 37 разъема 6 на аппаратуру РПК-Б подается -27 В сигнала различения автопилота АПП-25Р для подключения соответствующих цепей контроля.

Если СГ курса, крена и высоты заарретированы, то через последовательно соединенные контакты КП1-2 их арретирующих механизмов на КПА выдается -27 В сигнала «СГ зааррет». Сигнал «СГ разаррет» на КПА выдается с контактов КП2 только после разарретирования этих гироскопов. Сигналы «ГУК зааррет.» и «ГУВ зааррет.» выдаются с контактов КП1-2 ГУК и ГУВ, а сигналы их разарретирования — с контактов КП2.

Если базы СГ курса, высоты, гироскопов упреждения и интегрирующих механизмов находятся в исходном (нулевом) положении, то через последовательно соединенные контакты КП5, ГУК, ГУВ, СГК, СГВ и контакты КП9, КП3, КП6 интегрирующих механизмов высоты, курса и крена на КПА выдается $+27$ В сигнала «Ноль баз КВГУИМ».

Сигнал «Ноль базы крена» выведен отдельно с контакта КП5 базы крена.

Если интегрирующие механизмы, рулевые машины и базы СГ курса, крена и высоты смещены от нулевого положения, то они автоматически приходят в исходное по сигналам обратных связей (самосинхронизация).

Самосинхронизация базы курса осуществляется подключением сигнала с командного потенциометра *R1* курса на обмотку II реле РП11 (поляризованного реле) релейного усилителя базы. Если средняя точка потенциометра курса смещена относительно токоъемника, закрепленного на внешней рамке СГ_н, то поляризованное реле срабатывает и включает одно из силовых реле (13 или 14 в зависимости от стороны рассогласования). Это реле подключает $+27$ В на двигатель базы М2, а -27 В подключен на него через контакты обесточенного силового реле. Двигатель вращает базу вместе с потенциометром *R1* до сведения ошибки рассогласования к нулю. При этом поляризованное и силовое реле отпускают, и двигатель останавливается. В исходном состоянии базы замыкается контакт КП5 сигнала «Ноль базы».

Направление и скорость вращения двигателя базы определяются величиной и полярностью сигналов управления на

входе релейного усилителя. Максимальная скорость двигателя ограничивается регулятором скорости. При определенной скорости вращения контакты регулятора разомкнутся и расшунтируют гасящий резистор Z в цепи питания двигателя. Ток через якорь уменьшается, скорость вращения двигателя падает, и контакты регулятора снова замыкаются, осуществляя таким образом стабилизацию максимальной скорости вращения двигателя. Резистором 18 регулируется максимальный ток через двигатель базы.

Углы разворота базы ограничиваются концевыми контактами КП3, КП4, которые отключают силовые реле 14 и 13 на предельных углах.

Искрогасительные цепочки $R16$, $C1$, $C2$ и $R20$, $C3$, $C4$ предохраняют от выгорания контакты силовых и поляризованного реле соответственно. Когда реле обесточены, конденсаторы заряжаются. При срабатывании реле конденсаторы разряжаются через контакты реле. При размыкании контактов реле ток самоиндукции проходит через заряжающийся конденсатор, минуя контакты реле. Это предохраняет контакты от возникновения электрической дуги. Резисторы 16 и 20 ограничивают разрядный ток конденсаторов.

База высоты самосинхронизируется аналогично по сигналу с потенциометра $R2$ обратной связи на обмотку 1 реле РП12 релейного усилителя базы высоты.

База крена (рис. 4.21) приводится в исходное положение потенциометрической следящей системой крена, потенциометр-приемник $R2$ и исполнительный двигатель $M2$ которой размещены на базе крена, релейный усилитель — в аппаратуре РПК-Б, а потенциометр-задатчик — в ПУС «Коралл-Б». Чувствительным элементом следящей системы является поляризованное реле РП1, обмотка которого включена в диагональ моста, образованного плечами потенциометра-приемника $R2$ базы крена и потенциометра-задатчика ПУС. Питание на двигатель $M2$ подается контактами силовых реле $PC1$, $PC2$.

При отсутствии крена СПУ на местности щетка потенциометра-задатчика ПУС находится в его нулевой точке, а база крена — в исходном положении. С контакта КП5 базы в этом случае выдается сигнал «Ноль базы крена».

При наличии крена СПУ щетка потенциометра-задатчика смещается от нулевой точки, и в диагонали моста (т. е. через обмотку реле РП1) протекает ток.

Реле срабатывает и включает в зависимости от стороны рассогласования силовое реле $PC1$ или $PC2$. Сработавшее

реле подключает на двигатель базы $+27$ В, а -27 В подключено через контакты обесточенного силового реле. Двигатель начинает вращение и смещает базу с потенциометром $R2$ до сведения рассогласования к нулю. В результате база отслеживает крен СПУ, а сигнал «Ноль базы крена» снимается. Если база отклоняется до конца рабочего сектора, то концевой выключатель КП3 или КП4 (в зависимости от стороны отклонения) отключит питание -27 В с обмотки сработавшего силового реле. Оно обесточится и снимет питание с двигателя, исключая поломку базы. Для разворота базы в другую сторону необходимо потенциометром-задатчиком изменить сторону (т. е. полярность) разбаланса. При этом поляризованное реле включит другое силовое реле. Направление тока через якорь двигателя $M2$ изменится, и он будет вращать базу в противоположную сторону. Регулятора скорости двигателя базы крена не имеет.

В гироскопах упреждения ГУК и ГУВ базы служат только для проверки функционирования ГУ, а поэтому релейных усилителей их приводы не имеют. ГУ проверяются только на технической позиции пультом СВ-227Р, в котором и установлен релейный усилитель, аналогичный рассмотренному в канале крена. Ввиду этого базы ГУК и ГУВ могут быть приведены в нулевое положение только на технической позиции.

Потенциометр $R1$ ГУВ имеет два токосъемника на наружной рамке СГ: один — для выдачи сигнала упреждения, а другой — для синхронизации базы ГУВ и проверки ухода гироскопа.

Управление двигателями интегрирующих механизмов производится так же релейными усилителями. Для приведения ИМ курса в нулевое положение его потенциометр $R4$ в режиме самосинхронизации подключен к обмоткам поляризованного реле РП7 усилителя, т. е. привод ИМ работает в этом режиме с отрицательной обратной связью. По аналогичной схеме самосинхронизируются ИМ высоты и крена. Особенностью ИМ высоты является наличие в нем исполнительного двигателя $M4$ следящей системы ввода поправки по высоте, пропорциональной углу тангажа СПУ на местности. Поэтому положение движка потенциометра $R6$ ИМ высоты определяется алгебраической суммой углов разворота выходных валов двигателей $M3$ и $M4$ на выходе механического дифференциала.

Вследствие этого сигнал нулевого положения ИМ высоты контактами КП9 будет выдан только при нулевом сигнале

с потенциометра-задатчика следящей системы ввода поправки и самосинхронизации привода ИМ высоты.

Самосинхронизация рулевых машин производится по сигналам с потенциометров обратных связей R_4 на обмотки II поляризованных реле РПЗ релейных усилителей рулевых машин курса, высоты и крена.

Ограничение углов разворота рулевых машин путем отключения силовых реле 1, 2 обеспечивают концевые выключатели В1, В2.

В состав искрогасительных контуров контактов силовых реле входят резисторы 6, 7, конденсаторы 1, 2, 5, 6, диоды 1, 2, а контактов поляризованного реле — С5, С7, С8.

Датчиками демпфирующих гироскопов являются сдвоенные потенциометры R_1 , R_2 , включенные по мостовой схеме, что увеличивает крутизну и величину снимаемых сигналов.

Регулировка передаточных чисел автопилота по углам, угловым скоростям, скоростям интегрирования и другим параметрам осуществляется регулировочными резисторами, включенными в цепи сигналов с потенциометрических датчиков на обмотки поляризованных реле.

Для контроля работы АП при испытательных пусках ракет на телеметрическую аппаратуру подаются текущие значения сигналов СГ, ДГ, ИМ, ГУ, обратных связей, а также сигналы о прохождении на АП команд 0, 3, СК, СВ, 11, 9, 8.

В процессе предстартовой подготовки КР осуществляется проверка функционирования АП совместно с УСН по командам «Контроль», «Контроль В». После этого все команды с АП снимаются, его элементы снова самосинхронизируются и осуществляется ввод поправок на углы послестартовых доворотов по команде «Ввод сигналов КВ». По этой команде срабатывает реле 23, которое блокируется реле 7 при разарретировании СГ курса и крена.

Для ввода поправки по курсу используется потенциометрическая следящая система, потенциометр-задатчик Φ_T которой находится в ПУС «Коралл-Б», а потенциометр-приемник R_2 — на базе курса. Двигатель М2 и релейный усилитель базы являются исполнительным и чувствительным элементами следящей системы. Следящая система работает так же, как и в канале крена.

При вводе поправки в канале курса реле 23 отключает обмотки II РП11 от командного потенциометра курса R_1 , разрывая цепь обратной связи базы курса.

Одновременно реле 23 подключает последовательно соединенные для повышения чувствительности обмотки III, IV РП11 в диагональ моста, образованного плечами потенциометров задатчика и приемника следящей системы.

Так как база курса работает без отрицательной обратной связи, то при наличии поправки следящая система развернет базу относительно нулевого положения на угол послестартового доворота КР по курсу. Значит, между щеткой и средней точкой потенциометра $R1$ курса появится такой же угол рассогласования. При разарретировании $СГ_n$ этот угол запоминается базой, и КР после старта совершит послестартовый доворот по курсу, скомпенсировав таким образом ошибку наведения блока контейнеров СПУ.

Поправка по высоте на величину наклона продольной оси СПУ на местности вводится следящей системой, исполнительный двигатель М4 и потенциометр-приемник $R6$ которой находятся в ИМ высоты, релейный усилитель — в АПК, а потенциометр-задатчик — в ПУС.

При вводе поправки реле 23 подключает щетку потенциометра-приемника $R6$ к следящей системе, и на двигатель М4 подается питание до тех пор, пока он через дифференциал не развернет потенциометр $R6$ на величину поправки. При разарретировании $СГ$ высоты потенциометр $R6$ подключается контактами реле 24 к обмотке II поляризованного реле РП12 релейного усилителя базы высоты. Так как база высоты работает при этом с отрицательной обратной связью, то угол ее поворота изменяется на величину введенной поправки. Следовательно, после старта угол наклона траектории КР не будет зависеть от наклона продольной оси СПУ на местности.

Ввод поправки, учитывающей крен СПУ на местности, осуществляется следящей системой крена (рис. 4.21), состав и работа которой были рассмотрены выше. При крене СПУ двигатель М2 следящей системы разворачивает базу совместно с командным потенциометром $R1$ на угол крена. Под действием сигнала рассогласования с потенциометра $R1$ электроны уже при предстартовой подготовке КР закладываются так, что после схода КР компенсирует крен СПУ и будет стабилизироваться в горизонтальной плоскости.

Запоминание углов послестартовых доворотов КР по курсу, крену и высоте, а также запоминание плоскости стрельбы осуществляется свободными гироскопами при их разарретировании.

Разарретирование СГ высоты осуществляется по команде «Разаррет. СГВ» на реле 3, а СГ курса и крена — по команде «Разаррет. СГК и КР» на реле 2, 7. Реле 3 и 2, 7 срабатывают и самоблокируются. Реле 2 и 3 включают реле 1. Реле 3 включает реле 24. Реле 7 включает реле 23. Реле 1 подключает обмотки реле 6 и 20 к +27 В, подготавливая их к включению по ком. СВ.

При срабатывании перечисленных реле производятся следующие коммутации:

а) в канале курса:

1. Разарретировается СГ_н, запоминая плоскость стрельбы, реле 2 подключает —27 В через контакты КП1-1 на силовую обмотку электромагнита ЭМ1 арретирующего механизма. Когда при втягивании электромагнитом шток разомкнет контакт КП1-1, то последовательно с силовой включается удерживающая обмотка электромагнита, облегчающая тепловой режим обмотки и надежность удержания СГ_н в разарретированном положении. Через замыкающие контакты КП1-1 электромагнит самоблокируется. Контакты КП1-2 размыкают цепь сигнала «СГ зааррет.», а КП2 — цепь сигнала «СГ разаррет.».

2. Отключается цепь обратной связи базы курса (реле 1 и 23 отключают потенциометр *R1* от обмотки II РП11 РУ базы курса) и замыкается контур стабилизации и управления (потенциометр курса *R* подключается к обмотке I реле РП3 РМ курса).

3. База СГ курса запоминает угол послестартового доворота КР по курсу (реле 7 отключает цепь ввода сигнала поправки курса из ПУС от обмоток III, IV реле РП11 базы курса, и двигатель базы останавливается).

При отсутствии поправки сигнал рассогласования с потенциометра *R1* курса равен нулю, и руль курса находится в среднем положении.

При наличии ошибки в наведении блока контейнеров по курсу вводится поправка, и сигнал рассогласования с потенциометра курса *R1* заставит РМ отклонить руль курса для вывода ракеты в плоскость стрельбы, положение которой определяется выработанным в ПУС курсовым углом боевым.

4. На потенциометрические датчики демпфирующих гироскопов реле 2 и 3 подают +27 В, включая все ДГ в контур стабилизации КР.

б) В канале высоты:

1. Реле 3 разарретировывает СГ высоты (аналогично разарретированию СГ курса).

2. Следящая система поправки по высоте отключается и запоминает введенную поправку (реле 3 разрывает цепь сигнала обратной связи ИМ_в, создаваемой потенциометром R6, и двигатель M4 ИМ_в останавливается).

3. База высоты обрабатывает запомненную поправку по высоте (реле 24 подключает обмотку II реле РП12 РУ базы высоты к потенциометру R6 ИМ_в). В исходном состоянии потенциометр R1 высоты смещен вниз от токосъемника, укрепленного на наружной рамке СГ_в, на угол 12°, необходимый для компенсации фиксированного угла 16° подъема блока контейнеров (и ракеты в нем). При таком смещении, несмотря на запомненный СГ высоты угол 16° относительно плоскости горизонта, ракета на маршевом участке полета уменьшает угол тангажа до требуемого угла атаки: 16° — 12° = 4°. Благодаря вводимой поправке по высоте, требуемый угол атаки 4° будет сохраняться при углах старта КР в пределах 16 ± 5° за счет дополнительного разворота потенциометра высоты на угол поправки.

4. Замыкается контур стабилизации КР по тангажу (потенциометр R1 высоты контактами реле 1 подключается к обмотке I реле РП3 РМ высоты). Так как средняя точка потенциометра высоты смещена от токосъемника вниз на угол 12 ± 5°, то руль высоты отклоняется вниз на угол 10,5 ± 5°.

5. Реле 2 и 24 отключают потенциометр R1 высоты от обмотки II реле РП12 базы высоты.

в) В канале крена:

1. Реле 2 разарретитует СГ крена (аналогично разарретированию СГ курса).

2. База высоты запоминает угол крена СПУ в момент разарретирования (контакт КП1-2 арретирующего механизма отключает —27 В с силовых реле усилителя следящей системы крена, и двигатель базы останавливается).

За счет сигнала рассогласования с потенциометра R1 крена элероны отклоняются для доворота КР в горизонтальную плоскость.

После разарретирования СГ курса, крена и высоты АП готов к старту КР.

4.6.2. Работа АП с момента старта КР

В момент старта запускается программно-временной механизм, на вход канала высоты АП подаются сигналы программы взлета от ПВМ, ΔH и dh/dt от РВ и КР набирает

высоту. В каналах курса и крена КР осуществляет после-стартовые довороты и стабилизацию в плоскости стрельбы.

Сигнал программы взлета подается от ПВМ на обмотку IV реле РПЗ РМ высоты, вызывая закладку руля вверх на 9° . Начиная с 9-й с полета, сигнал программы уменьшается по линейному закону и после 29 с остается постоянным, закладывая руль высоты вверх на $2,5^\circ$ для создания требуемого угла атаки КР (рис. 4.20).

В момент отрыва бортразъемов при старте КР по ком. «0» срабатывает реле 17, которое:

- подключает +27 В команды «0» на РВ и телеметрическую аппаратуру;

- подключает сигнал ΔH с РВ на обмотки III, IV реле РП12 базы высоты;

- подключает на обмотку III реле РПЗ РМ высоты сигнал dh/dt от РВ.

Под действием этих сигналов руль высоты закладывается вверх, и КР набирает высоту. По мере выхода КР на установленную высоту сигналы ΔH и dh/dt уменьшаются до нуля, и угол тангажа КР уменьшается. Средняя точка потенциометра $R1$ высоты, связанная с базой высоты (а следовательно, и с КР), совмещается с токосъемником, и сигнал с потенциометра высоты становится равным нулю при угле тангажа КР, равном 4° , при котором КР летит горизонтально.

На 5-й с полета (когда заканчиваются переходные процессы после отброса СА, и за счет возрастания скорости КР возрастает аэродинамическая эффективность рулей и элеронов) по ком. 3 с ПВМ срабатывают реле 4, 10. При этом:

- уменьшаются передаточные числа АП по угловым скоростям КР (реле 4 вводит добавочные резисторы 5, 15 и 10 в цепь сигналов с датчиков $R1$, $R2$ ДГ курса, высоты и крена соответственно на обмотки VI рулевых машин);

- включаются в контур управления интегрирующие механизмы курса и крена для компенсации статических ошибок наведения (реле 10 подключает к потенциометрам $R1$ курса и крена поляризованные реле РП7, РП8 интегрирующих механизмов курса и крена, а их потенциометры $R4$, $R5$ — к обмоткам III реле РПЗ рулевых машин курса и крена соответственно). Работа ИМ заключается в следующем. Момент сил, вызванный постоянными возмущениями (аэродинамическая асимметрия, асимметрия тяги двигательной установки и т. п.), отклоняет КР от плоскости стабилизации. При этом сигнал стабилизации с потенциометра $R1$ СГ отклоняет руль

до тех пор, пока аэродинамический момент, создаваемый рулем, не уравновесит момент внешних сил: ракета будет лететь новым курсом с заложенным рулем со статической ошибкой, пропорциональной моменту внешних сил. Когда величина ошибки превысит зону нечувствительности $0,5^\circ$ в канале курса и $1,0^\circ$ в канале крена, поляризованное реле ИМ срабатывает и включит силовое реле, подающее питание на двигатель ИМ. Пропорционально времени и скорости интегрирования возрастает сигнал с потенциометра $R4$ или $R5$ ИМ, увеличивая угол закладки РМ курса или крена, что приводит КР к плоскости стабилизации. Когда угол отклонения КР (т. е. статическая ошибка) станет меньше зоны нечувствительности ИМ, реле поляризованное и силовое отпускают и двигатель ИМ останавливается, однако сигнал с интегрирующего потенциометра остается неизменным на входе РМ. В результате КР будет лететь в заданной плоскости с рулем, заложенным по сигналу с интегрирующего механизма.

При выходе ракеты на высоту маршего полета по ком. 9 с ПВМ срабатывают реле 9 и 24, включая ИМ высоты в контур управления. При этом реле 9 подключает на поляризованное реле РП9 ИМ_в сигнал ΔH от РВ, а реле 24 подключает интегрирующий потенциометр $R6$ на обмотку II реле РП12 базы высоты. Когда величина сигнала ΔH превысит 5 м, то, как и в каналах курса и крена, поляризованное реле включает одно из силовых реле и двигатель М3 с постоянной скоростью разворачивает потенциометр $R6$. Сигнал с потенциометра вызывает дополнительный разворот базы высоты на угол, пропорциональный величине сигнала с потенциометра $R6$. Это в свою очередь приводит к изменению угла тангажа КР таким образом, чтобы скомпенсировать статическую ошибку в поддержании высоты полета.

4.6.3. Работа АП при самонаведении КР на цель

По ком. СК с УСН в АП срабатывают реле 5 и 18. Реле 18 выдает на телеметрическую систему подтверждение о приеме команды, а реле 5 обеспечивает:

— от потенциометра $R1$ СГ курса отключает обмотку реле РП7 ИМ курса; ИМ прекращает работу, однако сигнал с его потенциометра $R4$ остается подключенным на вход РМ курса, компенсируя статическую ошибку;

— к обмотке I реле РП11 базы курса подключает потенциометр $R1$ ГУК;

- подготавливает цепь прохождения ком. РГУК;
- к обмоткам *III*, *IV* реле РП11 базы курса подключает УНК от УСН.

Величина УНК определяет угол, а полярность — сторону отклонения строительной оси КР от оптической оси антенны. Под действием УНК база разворачивается. Появившийся с потенциометра *R1* курса сигнал рассогласования вызывает отклонение руля курса для разворота КР в сторону оптической оси антенны (т. е. на цель).

При совмещении строительной оси КР с оптической со средних контактов антенны выдается ком. РГУК. При замкнутых контактах реле 4 и 5 (т. е. при наличии команд 3 и СК) электромагнит ЭМ1 разарретирует ГУК и самоблокируется контактами КП1-1.

Таким образом, ГУК разарретируется и запоминает первоначальное направление на цель только при выполнении нулевых начальных условий самонаведения по методу последовательных упреждений (т. е. при нулевом рассогласовании между строительной и оптической осями КР). С этого момента при повороте КР по курсу за счет движения цели с потенциометра *R1* ГУК на обмотку 1 реле РП11 базы курса будет подаваться сигнал положительной обратной связи, усиливающий сигнал УНК с УСН на обмотки *III*, *IV* для реализации метода последовательных упреждений. Динамика самонаведения показана на рис. 4.5 и описана в разд. 4.2.

При переводе КР в самонаведение по высоте по ком. СВ срабатывают и самоблокируются реле 6 и 20. При этом реле 6 обеспечивает следующие коммутации:

- от обмотки *III*, *IV* реле РП12 базы высоты отключает сигнал ΔH от РВ и подает на них УНВ от УСН;

- отключает сигнал dh/dt от обмотки *III* реле РП3 РМ высоты;

- подготавливает цепь прохождения ком. РГУВ;

- отключает от обмотки *II* реле РП12 базы высоты сигнал с потенциометра *R6* ИМ высоты.

Реле 20 выдает +27 В сигнала подтверждения о приеме ком. СВ на аппаратуру телеконтроля и отключает обратную связь базы высоты (отключает обмотку *II* реле РП12 базы от потенциометра *R2* обратной связи и готовит эту же обмотку к приему сигнала с потенциометра *R1* ГУК).

В результате отработки УНВ строительная ось КР совместится с оптической осью в вертикальной плоскости и со средних контактов антенны (при УНВ, равном нулю) вы-

дается команда РГУВ. В АП при наличии команд З и СВ (через контакты реле 4, 6) срабатывают реле 21 и электромагнит ЭМ1 арретирующего механизма КП1-1. Реле 21 замыкает цепь сигнала с потенциометра R1 ГУВ на обмотку 1 реле РП12 базы высоты для реализации самонаведения по методу последовательных упреждений в вертикальной плоскости. При этом методе необходимо исключить приводнение КР до цели за счет сигнала положительной обратной связи с ГУВ, что возможно только при выпуклой траектории полета КР. С этой целью после выработки нулевых начальных условий (т. е. после совмещения строительной и оптической осей КР, когда УНВ равны нулю и база высоты неподвижна) на базу необходимо первоначально подать дополнительный сигнал для такого ее разворота, при котором начнется увеличение угла тангажа КР ψ . В данном АП такой сигнал получается за счет смещения щетки потенциометра ГУВ на $0,8^\circ$ относительно его средней точки.

Первоначальное увеличение угла тангажа КР еще больше усиливается за счет возрастания сигнала положительной обратной связи с потенциометра R1 ГУВ. При увеличении угла тангажа и, следовательно, высоты полета возрастает сигнал УНВ с датчика УСН, который по знаку противоположен сигналу с ГУВ. Когда эти сигналы скомпенсируются, база остановится, и КР будет лететь с определенным углом тангажа. За счет оближения КР с целью угол наклона антенны, а значит и величина УНВ, будут возрастать. Это приведет к нарушению установившегося равновесия. База начнет движение в обратную сторону, и КР будет уменьшать угол тангажа.

Когда угол тангажа КР станет меньше запомненного ГУВ значения, сигнал с потенциометра ГУВ по знаку станет одинаковым с сигналом УНВ и в дальнейшем самонаведение в вертикальной плоскости будет осуществляться так же, как и в канале курса. Высота «горки» для КР «Термит-Т» составляет 70...100 м.

При потере цели УСН снимает ком. СК, СВ и выдает ком. ЦП. При снятии ком. СК реле 5 и 18 отпускают, так как они не блокируются. При этом в канале курса от базы отключаются сигналы УНК и ГУВ, а подключается к потенциометру R1 курса реле РП7 ИМ курса. База курса останавливается, и КР летит этим курсом. Снятие ком. СВ не приводит к изменению коммутации в канале высоты, так как

реле 6 и 20 самоблокировались, однако УНВ с УСН перестает выдаваться.

По ком. ЦП срабатывает реле 22, которое отключает потенциометр *R1* ГУВ от обмотки 1 реле РП12 базы высоты. Так как от базы отключены все управляющие сигналы, то она останавливается, и КР летит по запомненной траектории. При повторном захвате цели УСН снова выдает ком. СК, СВ, отключает ком. ЦП и выдает на АП УНК и УНВ. На базу курса реле 5, 18 снова подключают УНК и сигнал ГУК, а на базу высоты подаются сигнал ГУВ, так как реле 22 обесточилось, и УНВ. Таким образом, в каналах курса и высоты осуществляется снова самонаведение по методу последовательных упреждений, однако выработка нулевых начальных условий не производится.

По ком. 11 срабатывает и самоблокируется реле 8, которое отключает от обмотки IV реле РПЗ рулевой машины высоты сигнал «программы взлета» и подает на нее напряжение, закладывающее руль высоты вниз примерно на 2° для понижения КР.

Для самоликвидации КР по цепи ком. 11 срабатывает и самоблокируется реле 8, а на обмотку IV реле РПЗ РМ высоты выдается +27 В для закладки руля вниз на максимальный угол.

При автономных проверках АП в составе КР включается реле 19, которое отключает сигнал программы взлета от обмотки IV реле РПЗ рулевой машины высоты, что обеспечивает установку руля высоты в исходное. Кроме того, реле 19 разрывает цепь подачи ком. «0» от ПВМ на АП.

4.6.4. Работа АП в период предстартовой подготовки

Для проверки следящих систем (СС) ввода поправок по курсу, высоте и крену на АП выдаются с АПК команды «Контроль», «Контроль В» и «Ввод поправок КВ» соответственно на реле 1, 24 и 25, 23. При этом в качестве задатчиков следящих систем подключаются имитаторы сигналов поправок ПУС.

В АП обеспечиваются следующие коммутации. Реле 1 команды «Контроль»:

— подключает потенциометры *R1* курса и высоты к обмоткам 1 реле РПЗ РМ курса и высоты;

— отключает +27 В питания потенциометрических датчиков ДГ, что исключает влияние ДГ на углы отклонения рулей и повышает точность проверки;

— подает +27 В на обмотки реле 6 и 20, подготавливая их к срабатыванию по ком. СВ.

Реле 24 команды «Контроль В»:

— отключает обмотку II реле РП12 базы высоты от потенциометра высоты R1 и подключает ее к потенциометру R6 ИМ высоты (при включении реле 23).

Реле 25 команды «Контроль В»:

— отключает цепь выдачи ком. СВ на реле 6 и 20;

— отключает цепь обратной связи базы высоты, разорвав цепь сигнала, с потенциометра R2 на обмотку I реле РП12 базы высоты, что увеличивает углы отклонения базы и руля высоты при проверках.

Реле 23 команды «Ввод сигналов КВ»:

— в канале курса подключает к обмотке III реле РП11 базы курса сигнал поправки по курсу с датчика ПУС;

— в канале высоты подключает потенциометр R6 ИМ высоты к обмотке II реле РП12 базы высоты.

В результате базы курса и высоты работают без обратных связей, а их командные потенциометры подключены к рулевым машинам. При вводе поправок на обмотки III, IV реле РП11 базы курса, а также на двигатель М4 ИМ базы курса и высоты будут отклоняться, вызывая разворот рулей курса и высоты. При проверке СС крена на двигатель М2 базы подается питание с релейного усилителя АПК, вызывая разворот базы и элеронов.

По величине и стороне отклонения рулей курса, высоты и элеронов в АПК фиксируется факт исправности следящих систем.

После проверки СС команды «Контроль» и «Контроль В» снимаются, реле 1, 24 и 25 отпускают, а АП самосинхронизируется и обрабатывает «нулевые поправки», подготавливаясь к автоконтролю.

По сигналу «Ноль баз КВГУ ИМ» снимается ком. «Ввод сигналов КВ» (реле 23 обесточивается) и выдается ком. «Контроль» на реле 1. Начинается этап автоматического контроля функционирования АП совместно с УСН, в ходе которого с УСН выдаются ком. СВ, СК, а также УНВ и УНК.

Реле 1 отключает +27 В питания потенциометров ДГ. В канале курса реле 1 отключает потенциометр курса R1 от обмотки II реле РП11 базы и подключает его к РМ курса.

В канале высоты реле *I* подключает потенциометр *R1* как к РМ высоты, так и к обмотке *II* реле *РП12* базы. Так как щетка потенциометра *R1* смещена от его средней точки на угол 12° , то за счет рассогласования руль высоты первоначально отработывает вниз на 12° . Одновременно база разворачивается до компенсации сигнала с потенциометра *R1* сигналом обратной связи с потенциометра *R2* на обмотку *I* реле *РП12*. При этом угол закладки руля высоты уменьшается до 6° .

По ком. СВ срабатывают и самоблокируются реле *6*, *20*, осуществляя те же коммутации, что и при самонаведении КР. Так как при этом отключается отрицательная обратная связь базы высоты, то под действием сигнала с потенциометра *R1* на обмотку *II* реле *РП12* база разворачивается до совмещения средней точки потенциометра *R1* со щеткой. В результате руль высоты устанавливается в нулевое положение.

По ком. СК срабатывают реле *5*, *18*, подключая на обмотки *III*, *IV* реле *РП11* базы курса УНК с УСН. База разворачивается, и рули КР отклоняются.

При подаче УНВ с УСН на обмотки *III*, *IV* реле *РП12* базы высоты разворот базы приводит к развороту рулей высоты.

Полярность УНК и УНВ выдается такой, что рули первоначально отработывают вправо-вверх, а затем влево-вниз.

После автоконтроля команды СК, СВ, «Контроль» снимаются, и АП приводится в исходное положение. По сигналу «Ноль баз КВГУ ИМ» выдается команда «Ввод сигналов КВ» для ввода поправок от рабочих датчиков ПУС.

5. УСТРОЙСТВО РАДИОВЫСОТОМЕРА

5.1. Состав и основные параметры РВ

Радиовысотомер малых высот РВ-МБ предназначен для измерения текущей высоты полета $H_{п}$ и вертикальной скорости dh/dt ракеты и выработки сигналов на автопилот КР, пропорциональных скорости изменения высоты полета dh/dt и отклонению высоты полета КР от заданной высоты стабилизации $\Delta H = H_{п} - H_{ст}$.

В состав РВ входят: блок ЗА-81-13 — приемопередатчик ПП-М; блок ЗА-81-2 — антенна передающая; блок ЗА-81-3 — антенна приемная; блок связи ЗА-81-5; блок ЗА-81-6 — переключатель СВЧ-тракта.

Приемопередатчик ПП-М измеряет H_n и dh/dt , а блок связи вырабатывает на автопилот сигналы ΔH и dh/dt .

Основные характеристики РВ:

1. Диапазон измерения высот — от H_{\min} до H_{\max} при скоростях КР до 900 м/с и углах крена и тангажа не более $\pm 40^\circ$.
2. Высоты стабилизации — H_1, H_2 .
3. Погрешность измерения высоты на высотах до 50 м при отклонении оси антенны от вертикали не более 10° равна $\pm (2 \text{ м} + 8\% H_n)$.
4. Постоянная времени по каналу ΔH — не более 0,3 с.
5. Диапазон измерения dh/dt равен 1...25 м/с.
6. Постоянная времени по каналу dh/dt — не более 1,0 с.
7. Мощность передатчика — не менее 70 мВт.
8. Чувствительность приемника — более 110 дБ.
9. Средняя частота передатчика $f_0 \pm 30$ кГц.
10. Полоса модуляции Δf .
11. Питание РВ = 27 В; 115 В, 400 Гц.
12. Масса — 13 кг.

5.2. Структурная схема РВ

Принцип действия РВ (рис. 5.1) основан на измерении времени распространения высокочастотной энергии радиовысотомера с непрерывным излучением до подстилающей поверхности и обратно. С этой целью несущая частота передатчика ТГВ-М f_0 модулируется напряжением модулятора БМ-М по закону несимметричной пилы (рис. 5.4, а, б) в пределах $f_0 \pm \Delta f/2$ и непрерывно излучается. Полоса модуляции Δf поддерживается строго постоянной блоком резонаторов БР-М путем фиксации амплитуды напряжения модуляции U_m при достижении ПРД частот $f_0 + \Delta f/2$ и $f_0 - \Delta f/2$.

Отраженная от подстилающей поверхности энергия принимается антенной РВ и смешивается с текущим сигналом ПРД в блоке смесителей СМ-М (рис. 5.4, в). За время распространения излученной ВЧ-энергии к подстилающей поверхности и обратно со скоростью c ($\tau = 2H_n/c$) частота передатчика изменяется на некоторую величину, зависящую от крутизны модуляционной характеристики передатчика $\Delta f/T_m$, где T_m — время модуляции частоты передатчика от f_{\min} до f_{\max} . Из-за разности частот отраженного и текущего сигнала

лов в смесителе образуется частота биений $F_6 = f_r - f_c$ (рис. 5.4, з), которая определяется высотой полета и крутизной модуляционной характеристики передатчика: $F_6 = (2H) / (\Delta f) / c' / T_m$.

Из этой формулы следует, что высота полета при постоянной полосе модуляции может быть определена двумя методами: 1) измерением частоты биений при неизменном периоде и полосе модуляции: $H_T = F_6 c T_m / 2 \Delta f = \varphi(F_6)$; 2) измерением периода модуляции при неизменной частоте биений и полосе модуляции: $H_T = T_m c F_6 / 2 \Delta f = \varphi(T_m)$.

В радиовысотомере РВ-МБ используется второй метод измерения текущей высоты. При таком методе измерения осуществляется стабилизация частоты биений изменением периода модулирующего напряжения блока БМ-М (т. е. изменением крутизны модуляционной характеристики передатчика). В результате на любой высоте полета частота биений постоянна, а период модуляции T_m изменяется и содержит информацию о высоте полета. С этой целью напряжение частоты биений усиливается и подается в блок дискриминатора БД-М-1 на частотный детектор (дискриминатор), характеристика которого показана на рис. 5.2. Если частота биений F_6 отличается от переходной частоты дискриминатора $F_0 = 30$ кГц, то на его выходе появляется управляющее напряжение, амплитуда которого пропорциональна величине этого отклонения, а полярность определяется знаком отклонения: $U_{упр} = k(F_0 - F_6)$. Управляющее напряжение изменяет период модулирующего напряжения блока модуляции БМ-М таким образом, чтобы свести ошибку рассогласования к нулю, т. е. стабилизировать частоту биений на уровне 30 кГц при любом изменении высоты полета КР.

Примечание. Стабилизация частоты биений в РВ осуществляется аналогично стабилизации промежуточной частоты системой автоматической подстройки частоты клистрона супергетеродинного приемника.

Если частота биений F_6 значительно отличается от F_0 (30 кГц), то в блоке БД-М-1 вырабатывается отрицательное напряжение поиска пилообразной формы. Напряжение поиска изменяет период модулирующего напряжения на выходе блока БМ-М, а следовательно и крутизну модуляционной характеристики ПРД $\Delta f / T_m$. Частота биений изменится, и, когда разность $F_0 - F_6$ уменьшится до некоторой величины, в блоке БД-М-1 начнет вырабатываться сигнал захвата. При этом генератор напряжения поиска (интегратор) переводится

в режим усилителя постоянного тока, и начинается режим автоподстройки частоты биений при изменении высоты полета КР.

В момент достижения максимальной частоты передатчика $F_0 + \Delta f/2$ по сигналу с блока резонаторов БР-М модулирующее напряжение резко уменьшается (обратный ход) до минимального значения и удерживается таким в течение некоторого времени импульсом паузы (рис. 5.4, д). Период следования импульсов паузы строго соответствует периоду модуляции T_m , несущему информацию о высоте полета H_n . Во время импульсов паузы модулирующее напряжение, достигнув минимального значения, остается неизменным, и одновременно запирается блок дискриминаторов, предотвращая его работу по всплеску частоты биений при обратном ходе U_m (рис. 5.4, з), когда крутизна модуляционной характеристики передатчика резко возрастает.

Из импульсов паузы в блоке БМ-М формируются импульсы передачи (рис. 5.4, ж). Импульсы паузы и передачи подаются в блок измерения высоты БИ-М. В блоке измерения вырабатывается напряжение, пропорциональное периоду модуляции (т. е. пропорциональное измеренной высоте H_n , рис. 5.4, к).

Напряжение текущей высоты H_n поступает в блок связи. В блоке связи вырабатываются напряжения, пропорциональные отклонению текущей высоты полета КР от установленной высоты полета (сигнал ΔH) и скорости изменения высоты полета (сигнал dh/dt).

5.3. Функциональная схема РВ

5.3.1. Приемопередающий тракт

Несущая частота генератора высокой частоты ГВЧ-М передатчика ТГВ-М $f_0/8$ модулируется напряжением с блока БМ-М по закону несимметричной пилы в пределах $\Delta f/2 \cdot 8$, умножается в восемь раз, фильтруется и с частотой $f_0 \pm \Delta f/2$ через ферритовый циркулятор ФЦП2, обеспечивающий развязку между ПРД и антенной передатчика, поступает на антенну ПРД, на блок смесителей СМ-М и резонаторов БР-М (рис. 5.5).

На кольцевой балансный смеситель блока СМ-М с приемной антенны поступает отраженный сигнал f_c и сигнал ПРД в текущий момент времени с частотой f_r .

В смесителе выделяется $F_6 = f_r - f_c$, фильтруется и поступает на усилитель низкой частоты УНЧ-М, пропускающий сигналы с частотами менее 36 кГц. После усиления F_6 фильтруется, ограничивается и поступает на блок дискриминаторов БД-М-1.

Усилитель УНЧ-М имеет цепь АРУ. Схема управления АРУ преобразует управляющие напряжения с БД-М-1 в ток и регулирует коэффициент усиления УНЧ-М пропорционально измеренной высоте полета.

Модуляция частоты ПРД осуществляется блоком БМ-М, который вырабатывает напряжение модуляции несимметричной пилообразной формы постоянной амплитуды и переменной длительности T_m .

Напряжение модуляции вырабатывается интегратором. Период (крутизна) модулирующего напряжения U_m определяется собственными параметрами интегратора и управляющим напряжением с блока дискриминаторов БД-М-1: $U_{упр} = k(F_0 - F_6)$.

Для обеспечения постоянного значения полосы модуляции ПРД Δf максимальная и минимальная амплитуды модулирующего напряжения должны иметь постоянные значения. Стабилизация полосы модуляции Δf относительно среднего значения несущей частоты ПРД f_0 обеспечивается блоком резонаторов БР-М совместно с блоком модуляции БМ-М. БР-М имеет две резонаторные камеры с детекторами. Один резонатор настроен на максимальное значение частоты ПРД $f_0 + \Delta f/2$, а второй — на минимальное значение частоты $f_0 - \Delta f/2$.

Когда в процессе изменения модулирующего напряжения частота передатчика достигает максимального значения, то на выходе детектора резонатора 1 вырабатывается импульс порога верхнего $U_{п.в}$. От импульса $U_{п.в}$ в блоке модуляции срабатывает пороговая схема 2, запускается триггер и вырабатывается положительный импульс паузы длительностью 0,5 мс (рис. 5.4, б).

Импульсом паузы от интегратора отключается управляющее напряжение с блока дискриминаторов. Положительный импульс триггера осуществляет быстрый разряд конденсатора интегратора, формируя обратный ход напряжения модуляции U_m (рис. 5.4, а).

Когда по мере уменьшения U_m частота ПРД достигнет нижнего порога, на выходе детектора 2 блока резонаторов появляется импульс порога нижнего $U_{п.н}$. От импульса $U_{п.н}$

в блоке БМ-М срабатывает пороговая схема 1, опрокидывая триггер. Разряд конденсатора интегратора прекращается, и на время действия импульса паузы на выходе интегратора напряжение U_m изменяться не будет (формируется «полочка» U_m , при которой частота передатчика также не изменяется).

После окончания импульса паузы на вход интегратора подключается напряжение управления с блока дискриминатора и на его выходе формируется следующий прямой ход модулирующего напряжения U_m . Таким образом, цикл повторяется.

5.3.2. Работа блока дискриминаторов БД-М-1

Блок БД-М-1 формирует отрицательное управляющее напряжение $U_{упр} = k(F_0 - F_6)$, пропорциональное отклонению частоты биений от частоты стабилизации, и обеспечивает изменение длительности прямого хода модулирующего напряжения и коэффициент усиления УНЧ-М при изменении высоты полета КР. В состав блока входят частотный дискриминатор, схема захвата, управляющий каскад. Режим работы управляющего каскада определяется схемой захвата. В режиме поиска интегратор управляющего каскада вырабатывает положительное пилообразное напряжение с периодом 150 мс, которое преобразуется в отрицательное и подается на выход блока.

Частота биений на входе блока БД-М-1 определяется высотой полета и крутизной перестройки частоты ПРД (т. е. периодом U_m).

За счет изменения крутизны U_m наступает момент, когда разность $F_0 - F_6$ становится менее ± 10 кГц.

Если при этом амплитуда сигналов частоты биений достигает требуемого порогового значения, то вырабатывается сигнал захвата в виде сигнала «Испр.». Интегратор переводится из режима генератора пилообразного напряжения в режим усилителя постоянного тока, поступающего с частотного дискриминатора и пропорционального $U_d = k_d(F_0 - F_6)$.

На схему захвата и частотный дискриминатор блока БД-М-1 частота биений поступает через ключ 1. Ключ закрывается импульсом паузы с блока БМ-М для предотвращения «пролезания» ложной частоты биений во время обратного хода модулирующего напряжения (рис. 5.4, з).

Фильтры дискриминатора, настроенные на 25 и 35 кГц, встречно включенные детекторы и сумматор формируют характеристику дискриминатора, т. е. зависимость $U_d = k_d(F_0 - F_6)$, где $F_0 = 30$ кГц — переходная частота характеристики (см. рис. 5.2).

Одновременно после фильтров напряжение частоты биений поступает на детектор-сумматор, формирующий характеристику схемы «захвата». Когда напряжение с выхода детектора-сумматора окажется выше порогового, то с пороговой схемы выдается отрицательное напряжение на схему совпадения. Отрицательное напряжение $U_{испр}$ со схемы совпадения и есть сигнал «захвата». При этом открывается ключ 2, релейный каскад выдает сигнал «Исправно», а схема поиска переводит интегратор в режим УПГ. Через ключ 2 на вход интегратора (УНТ) подается напряжение рассогласования с дискриминатора $U_d = k_d(F_0 - F_6)$, которое изменяет напряжение на выходе УПГ, зафиксированное в момент захвата, для сведения ошибки рассогласования к нулю. При этом изменяется крутизна (период) модулирующего напряжения блока БМ-М. За счет изменения крутизны $\Delta f/T_m$ модуляционной характеристики передатчика частота биений приближается к 30 кГц, а измеренная высота полета — к истинному значению H_n .

Примечание. Принцип работы управляющего каскада блока БД-М-1 и автоселектора дальности блока ДС-8СА РГС ДСМ-А аналогичны. В режиме поиска управляющий каскад вырабатывает пилообразное напряжение поиска, а в режиме сопровождения напряжение на его выходе пропорционально измеренной дальности (высоте). Напряжение на выходе частотного дискриминатора блока БД-М-1 пропорционально ошибке измерения, высоты, так же как и напряжение на выходе временного дискриминатора блока ДС-8СА пропорционально ошибке измерения дальности.

5.3.3. Работа блоков измерения высоты и скорости

Напряжение текущей высоты полета КР H_n формируется периодомером блока измерения высоты БИ-М. Величина этого напряжения пропорциональна периоду T_m модулирующего напряжения U_m блока БМ-М.

С блока БМ-М на блок БИ-М подаются импульсы паузы длительностью 0,5 мс и импульсы передачи длительностью 0,2 мс. Период следования импульсов паузы и передачи равен периоду модулирующего напряжения блока БМ-М и несет, таким образом, информацию о высоте полета КР. Схема совпадения блока измерения формирует разрядный импульс,

равный разности длительностей импульсов паузы и передачи 0,3 мс (рис. 5.4, д—з).

В интервалах между разрядными импульсами интегрирующий конденсатор-накопитель C_5 интегратора, собранного на усилителе 1, заряжается постоянным током от источника опорного напряжения через потенциометр R_1 автомата калибровки АК-8, так как ключ 1 открыт (рис. 5.4, и). При контроле РВ оператор с помощью АК-8 устанавливает ток заряда конденсатора 5, чтобы получить требуемую крутизну H_n . Величина напряжения заряда конденсатора пропорциональна времени его заряда. Во время действия импульса передачи замыкается ключ 3 и происходит передача максимального напряжения конденсатора 5 на запоминающий конденсатор 7. После окончания импульса передачи ключ 3 размыкается, и конденсатор 7 отключается от конденсатора 5. Большое входное сопротивление УПТ и малый ток утечки конденсатора 7 обеспечивают «запоминание» напряжения до прихода следующего импульса передачи. Это позволяет уменьшить величину пульсации сигнала H_n на выходе блока, вызванных периодическим зарядом и разрядом конденсатора 5 (рис. 5.4, к).

Следующий за импульсом передачи разрядный импульс открывает ключ 2 и происходит частичный разряд конденсатора 5. После окончания разрядного импульса конденсатор 5 снова заряжается до прихода следующего импульса разряда (рис. 5.4, и). Цикл повторяется.

Напряжение с конденсатора 7 через УПТ подается на выход блока в виде сигнала H_n .

При пропадании сигнала $U_{испр}$ на схему переключения режимов со схемы совпадения блока БД-М-1 поступает положительное напряжение сигнала «Неисправно». При этом ключи 3 и 4 размыкаются, и блок переходит в режим памяти, во время которого напряжение конденсатора 7 остается практически постоянным и равным последнему измеренному значению текущей высоты.

Измерение вертикальной скорости КР dh/dt осуществляется в субблоке скорости БВС-М блока связи. Выходное устройство блока сглаживает пульсации сигнала H_n , а дифференцирующий усилитель выдает сигнал, пропорциональный вертикальной скорости КР dh/dt .

В субблоке БВВ-М блока связи вырабатывается сигнал ΔH отклонения H_n от заданной высоты стабилизации. Для

этого напряжение H_n сравнивается с напряжением, уровень которого определяется заданной высотой стабилизации H_1 , H_2 или H_3 . Переключение уровней напряжения происходит по командам t_{H_2} , t_{H_3} и, кроме того, определяется наличием команд «Запрет H_2 » и «Запрет H_3 ».

Коммутация цепей контроля РВ осуществляется субблоком БПС-М блока связи.

По команде «Контроль» двухканальный полупроводниковый СВЧ-переключатель ЗА-81-6 подключает СВЧ-сигнал с АПРД на бортовую твердотельную линию задержки (М34921-1). На входе ЛЗ СВЧ сигнал преобразуется в ультразвуковые колебания, которые задерживаются рубиновым стержнем и затем снова преобразуются в СВЧ-сигнал, поступающий на АПРН. Задержка СВЧ-сигнала на 1,66 мкс эквивалентна $H_n = 250$ м. Ослабление сигнала в ЛЗ равно 50... 80 дБ.

Во время контроля по команде «Вкл. имитации H » на схеме переключения режимов блока БИ-М ключ 3 размыкается, а ключ 4 замыкается. С пульта контроля напряжение имитируемой H_n через замкнутый ключ 4 подается на вход УПТ и далее на выход блока.

Для имитации скорости изменения H_n подается команда «Включение имитации dh/dt ». При этом имитируемое напряжение H_n с пульта контроля изменяется с крутизной 1,6 В/с, что соответствует вертикальной скорости ± 10 м/с.

ОСНОВНЫЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АВТОПИЛОТА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

1. Передаточные числа по углу, гр: руля/гр: ракеты: по курсу — 1,4; по тангажу — 1,3; по крену — 0,4.

2. Передаточные числа по угловой скорости, гр: руля/гр: с ракеты:

	До ком. З	После ком. З
По курсу	1,5	0,175
По тангажу	0,75	0,13
По крену	0,3	0,04

3. Свободный гироскоп курса (блок ДП2-1).

В качестве СГ_к используется гиromотор ГМ-1500:

— напряжение питания трехфазного тока — 36 В, 400 Гц;

— ток в каждой фазе не превышает 0,4 А;

— кинематический момент ротора — 1500 Г·см·с;

— скорость вращения — 23 000 об./мин;

— время набора ротором числа оборотов — не более 3 мин;

— уход наружной рамки гироскопа не превышает 2,5° за 5 мин;

— углы поворота базы — ±50°;

— максимальная скорость базы — 3 град/с;

— сопротивление потенциометра курса равно 300 ± 50 Ом.

4. Свободный гироскоп тангажа (блок ДП2-2).

В качестве СГ_т используется аналогичный гиromотор. Отличия:

— на базе гироскопа укреплены потенциометр тангажа, щетка которого связана с наружной рамкой гироскопа, и потенциометр обратной связи, щетка которого укреплена на корпусе;

— поворот базы гироскопа лежит в пределах +38 ... -50°.

5. Свободный гироскоп крена (блока М2-3А).

В качестве СГ_{кр} используется гиromотор, конструкция которого подобна блокам ДП2-1 и ДП2-2. Особенности:

— внутренняя рамка (кожух гироскопа) наклонена вперед на угол 15° для уменьшения карданных ошибок;

— скорость поворота базы — 60 град/с;

— поворот базы гироскопа лежит в пределах ±42°.

6. Гироскопы упреждения по курсу (блок ДП2-4) и высоте (блок ДП-3) конструктивно соответствуют гироскопам курса и высоты. Отличия:

— скорость базы — 2,5 град/с;

— поворот базы — в пределах ±16°.

7. Блок демпфирующих гироскопов ДП-5.

В качестве ДГ используются гироскопы с двумя степенями свободы на базе гиromотора СГ-1500. ДГ_н и ДГ_в измеряют угловые скорости колебаний КР до 20 град/с, а ДГ_ф — до 50 град/с.

8. Блок интегрирующих механизмов ДП-6А состоит из ИМ_н, ИМ_в и ИМ_ф. ИМ_н и ИМ_{кр} начинают работать, если угол отклонения КР превышает по курсу 0,5°, по крену 1°. ИМ_в начинает работать, если центр масс КР отклонился от заданной высоты на 5 м.

9. Основные характеристики электродвигателя типа 368:

- напряжение питания = 27 В; напряжение трогания = 2,5 В;
- пусковой ток — не более 0,55 А; сопротивление якоря — 55 Ом;
- скорость вращения — 5750 об/мин;
- масса — 120 г.

10. Рулевые машины (блоки ДП-4А).

В качестве двигателя в блоках ДП-4А используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением типа 600, имеющего следующие технические данные:

- напряжение питания = 27 В; максимальная мощность — 53 Вт;
- скорость вращения холостого хода — 2130 об/мин;
- постоянная времени равна 15 мс;
- передаточное число редуктора — 1 : 238;
- масса — 2700 г;
- скорость поворота рулевого органа составляет не менее 27 град/с;
- максимальный момент — 30 кг·м;
- рабочий угол отклонения выходного вала равен $\pm 14,5^\circ$.

11. Поляризованные реле РПС-15 и РПС-5:

- напряжение питания — 27 В; ток срабатывания — 0,51 мА;
- чувствительность срабатывания — 0,85 ... 1,65 ВА;
- время срабатывания — 3,5 мс;
- ток, проходящий через контакты, равен 0,2 А;
- масса — не более 250 г.

12. Малогабаритные силовые реле:

- напряжение питания — 27 В; ток срабатывания — 60 мА;
- ток отпускания — 25 мА; время срабатывания — 6 мс;
- время отпускания составляет не более 2,5 мс;
- ток, проходящий через контакты, — до 15 А.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общая характеристика комплекса «Термит»	5
1.1. Назначение, состав и основные ТТД КРВ «Термит»	5
1.1.1. Крылатая ракета «Термит»	6
1.2. Траектория полета КР «Термит» с РГС	6
1.3. Траектория полета КР «Термит» с ТГС	9
2. Устройство типовой РГС	10
2.1. Принципы самонаведения	10
2.2. Структурная схема активной РГС	12
2.3. Основные параметры РГС	14
2.4. Функциональная схема РГС	20
2.4.1. Синхронизация работы РГС	20
2.4.2. Высокочастотная часть антенны	24
2.4.3. Передающий канал РГС	26
2.4.4. Система АСН РГС	27
2.4.5. Канал дальности РГС	38
2.4.6. Работа РГС в режиме автоконтроля	46
2.5. Функциональные схемы блоков активной РГС	48
2.5.1. Антенное устройство (блок ДС-1СА)	48
2.5.2. Передатчик (блок ДС-2С)	52
2.5.3. Высокочастотная часть приемника (блок ДС-3С)	57
2.5.4. Функциональная схема блока ДС-4С	67
2.5.5. Блок управления по угловым координатам ДС-5С	72
2.5.6. Блок управляющих токов ДС-6С	80
2.5.7. Синхронизатор (блок ДС-7СА)	86
2.5.8. Автоселектор дальности (блок ДС-8СА)	89
2.5.9. Блок питания ДС-9С	95
2.5.10. Распределительное устройство (блок ДС-10СА)	96
3. Устройство типовой ТГС	100
3.1. Основные законы теплового излучения целей и фонов	100
3.2. Принципы построения ТГС	104
3.3. Основные параметры и структурная схема ТГС	106
3.3.1. Основные характеристики ТГС «Снегирь»	106
3.3.2. Структурная схема ТГС «Снегирь»	108
3.4. Режимы работы ТГС	110
3.4.1. Работа ТГС в режиме поиска	110
3.4.2. Работа ТГС при захвате цели	113
3.4.3. Режим сопровождения цели	115
3.5. Функциональные схемы	119
3.5.1. Анализатор поля зрения ТГС	119

3.5.2. Оптическое и приемное устройство (блок СН-1)	124
3.5.3. Усилитель фототоков (блок СН-2)	129
3.5.4. Блок селекции, захвата и выделения ошибки СН-3	130
3.5.5. Блок автоматики СН-4	135
3.5.6. Блок усилителей мощности СН-5	138
3.5.7. Блок питания СН-6	142
3.5.8. Распределительное устройство (блок СН-7)	142
4. Принцип построения и работа автопилота КР	145
4.1. Структурная схема автопилота и решаемые им задачи. Параметры автопилота	145
4.2. Принцип построения автоматов. Законы регулирования	146
4.3. Функциональная схема автопилота	153
4.4. Назначение и принцип действия устройств и отдельных элементов автопилота	155
4.4.1. Гироскопы с тремя степенями свободы	155
4.4.2. Гироскопы с двумя степенями свободы	158
4.4.3. Реле и релейные усилители (РУ)	158
4.4.4. Исполнительные устройства	162
4.4.5. Преобразователь ПТ-125Ц	165
4.5. Принцип работы автопилота до старта ракеты и в полете	166
4.5.1. Старт КР и вывод ее на заданную высоту	167
4.5.2. Полет на маршевом участке траектории	169
4.5.3. Работа АП в режиме самонаведения на цель	169
4.6. Взаимодействие элементов принципиальной схемы в различных режимах	170
4.6.1. Работа и взаимодействие элементов схемы АП до старта КР	170
4.6.2. Работа АП с момента старта КР	177
4.6.3. Работа АП при самонаведении КР на цель	179
4.6.4. Работа АП в период предстартовой подготовки	182
5. Устройство радиовысотомера	184
5.1. Состав и основные параметры РВ	184
5.2. Структурная схема РВ	185
5.3. Функциональная схема РВ	187
5.3.1. Приемопередающий тракт	187
5.3.2. Работа блока дискриминаторов БД-М-1	189
5.3.3. Работа блоков измерения высоты и скорости	190
Приложение	193

Виктор Валентинович Миронов, Сергей Викторович Васильев

**Устройство бортовой аппаратуры
системы управления комплекса ракетного вооружения
«Термит»**

Редактор *Е. В. Шорикова*

Корректор *А. А. Баутдинова*

Сдано в набор 22.03.2001. Подписано в печать 15.05.2001. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага газетная. Печать высокая. Гарнитура литерат. Уч.-изд. л. 12,25.
Тираж 100 экз. Заказ № 19

Балтийский государственный технический университет
Типография БГТУ
198005, С.-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1